

## **СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ**

УДК 625.7

**Т. В. Скрыпник, канд. техн. наук, А. Ю. Кушнир**

**Автомобильно-дорожный институт**

**ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка**

### **СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СОСТАВА УКАТЫВАЕМОЙ ЦЕМЕНТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Рассматривается область применения укатываемых цементобетонных смесей (Roller-Compacted Concrete) при строительстве жесткой дорожной одежды автомобильных дорог, связанная с повышением межремонтного срока эксплуатации дорожных покрытий. Определены ключевые факторы, влияющие на физико-механические свойства состава смеси и особенности технологических приемов производства укладочных работ.*

**Ключевые слова:** *укатываемая цементобетонная смесь, жесткая дорожная одежда, межремонтный срок эксплуатации дорог, технологические приемы, укладочные работы*

#### **Введение**

Укатываемое цементобетонное покрытие – это слой жесткой дорожной одежды, устраиваемой асфальтоукладчиком с последующим уплотнением вибрационными катками.

Для увеличения срока службы цементобетонного дорожного покрытия в условиях интенсивной эксплуатации необходимо применение новых составов смеси. Повышение прочности и продление срока эксплуатации цементобетонного покрытия в условиях интенсивного автомобильного движения возможно за счет использования в его составе минеральных заполнителей более высоких марок, изменения процентного содержания компонентов или их замены на другие, за счет оптимизации состава смеси модифицирующими добавками.

#### **Цель исследования**

Целью исследования является обеспечение межремонтного срока эксплуатации жесткой дорожной одежды с покрытием из укатываемых цементобетонных смесей или Roller-Compacted Concrete (RCC). Для достижения поставленной цели необходимо проанализировать методики подбора состава укатываемой цементобетонной смеси для устройства покрытия жесткой дорожной одежды на основании отечественного и зарубежного опыта.

#### **Основная часть**

Укатываемый бетон, или Roller-Compacted Concrete [1], получил свое название от метода строительства, использованного для его изготовления. Он укладывается с использованием асфальтоукладчиков, а затем уплотняется катками.

Первая информация об укатываемых цементобетонных покрытиях (RCC) появилась в 1876 году в Шотландии. Широкое распространение они получили лишь 50 лет спустя. Так, до и после Первой мировой войны во многих странах цементобетон уплотнялся катками. В 1930 году воздействие вибрированием на бетон было распространено в инженерном строительстве и использовании строительных материалов. В связи с тем, что в 1970-е годы наблюдался рост стоимости битума, что само по себе привело к увеличению затрат на асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог, использование цементобетонного покрытия стало более привлекательным. Канадские инженеры были своего рода пионерами в использовании RCC в 1970 году.

Укатываемые цементобетонные смеси имеют состав аналогичный с асфальтобетонными, а именно:

- вяжущее (цемент 70–280 кг/м<sup>3</sup>);
- крупный заполнитель (щебень 1200–1440 кг/м<sup>3</sup>);
- мелкий заполнитель (песок 620–840 кг/м<sup>3</sup>);
- вода.

Но в отличие от асфальтобетонных смесей, эта смесь достаточно жесткая, чтобы уплотнять ее с помощью вибрационных катков. Как правило, покрытия из такой смеси устраиваются без стыков. Они не нуждаются ни в формах, ни в отделке, не требуются также дюбели или стальная арматура.

Эти характеристики делают покрытия из укатываемых бетонных смесей простым, быстрым и экономичным решением при устройстве слоев дорожной одежды [1]. Это привело к тому, что покрытия из укатываемой цементобетонной смеси перешли от специализированных применений к устройству основного типа покрытий. Их используют поверх любого типа покрытия. Покрытия из укатываемой цементобетонной смеси обладают прочностью и характеристиками обычного бетона с экономичностью и простотой устройства асфальтобетона. В сочетании с длительным сроком службы и минимальным техническим обслуживанием низкие первоначальные затраты на устройство покрытия из укатываемой цементобетонной смеси повышают экономичность и стоимость укладки, а также дальнейшей эксплуатации.

Первые покрытия из укатываемой цементобетонной смеси были построены в 70-х годах в США. Это был этап в истории, когда канадская лесозаготовительная промышленность перешла на экологически более чистые методы сортировки бревен на суше. Появилась необходимость в недорогом прочном асфальтобетонном покрытии, способном выдерживать большие нагрузки и специальное оборудование, которое доставлялось для больших сортировочных площадок (которые могли занимать площади в 40 га и более). Покрытие из укатываемой цементобетонной смеси идеально подходило для решения этой задачи и с тех пор используется для устройства покрытий, испытывающих большие нагрузки. Покрытия из укатываемых цементобетонных смесей достаточно быстро устраиваются, что сокращает сроки строительства, а конструкция дорожной одежды выдерживает тяжелые и специализированные нагрузки. Данный вид покрытий долговечен в условиях замораживания-оттаивания и обладает универсальностью для применения в самых разных областях строительства [2–3].

В России и республиках бывшего СССР накоплен значительный положительный опыт строительства и эксплуатации дорог с цементобетонным покрытием. С 1961 года и особенно в период с 1973 года по 2019 год было построено более 6 тыс. км автомобильных дорог, таких как Москва – Волгоград, Минск – Брест, Мерефа – Красноград, Екатеринбург – Челябинск, МКАД, МКАД – Тула, Омск – Новосибирск, МКАД – Кашира и других, которые до сих пор успешно работают. Фактический срок службы покрытий на ряде крупных автомагистралей составлял 20 лет и более. Также цементобетон, как основной материал, используется в аэродромных покрытиях [4].

Во время тридцатых годов XX века были разработаны первые, далеко не совершенные с современной точки зрения, цементобетонные составы для дорожных покрытий, которые имели прочность на сжатие около 20 МПа, а предел прочности при изгибе – самая важная характеристика – не был стандартизирован вовсе.

В СССР жесткий железобетон широко использовался только для строительства тротуарных оснований с 1984 по 1985 годы. Практически отсутствует опыт по строительству покрытий из укатываемых цементобетонных смесей [4].

Для приготовления использовались бетонные заводы непрерывного или циклического действия. Циклические установки подходят для небольших объемов работ, когда смесь транспортируется на площадку крытыми автосамосвалами. Мешалка должна быть полностью опорожнена после каждого цикла перемешивания, перед смешиванием в следующей

партии [3]. Непрерывное смешивание для больших проектов позволяет производить цементную бетонную смесь постоянного качества. Правильно подобранная однородная цементобетонная смесь необходимого количества и качества должна поступать на асфальтоукладчик. Из-за сухости смесей РСС надлежащее перемешивание при серийном производстве требует большего энергопотребления, снижающего производительность смесительной установки. Для РСС должны использоваться те же допуски по дозировке, что и для традиционного бетона; однако здесь важно применять измеритель влажности, чтобы избежать сегрегации.

Для достижения поставленной цели используют смесители большой емкости. Обычно укатываемые цементобетонные смеси смешивают в смесителях непрерывного действия. Эти высокопроизводительные механизмы обладают эффективностью смешивания, необходимой для равномерного распределения относительно небольшого количества используемой воды.

Самосвалы транспортируют смесь и посредством перегружателя перемещают ее в асфальтоукладчик, который укладывает материал слоями толщиной до 25 сантиметров и шириной 7–13 метров [3].

После распределения укатываемой бетонной смеси процесс уплотнения должен продолжаться до тех пор, пока бетонное покрытие не будет соответствовать требованиям плотности. Для удержания цементобетона во влажном состоянии и обеспечения гладкой поверхности необходимо использовать системы водяного полива. Полив должен строго контролироваться, ведь для надлежащей обрабатываемости бетонная смесь должна быть достаточно сухой, чтобы предотвратить опускание вибрационного катка.

Необходимо придерживаться следующих правил уплотнения РСС [2–3]:

- уплотнение должно начинаться сразу после заливки бетона;
- первичное уплотнение должно выполняться с использованием 10-тонного двухвальцового вибрационного катка;
- вторичное уплотнение должно быть выполнено с помощью гладковальцовых катков, в исключительных случаях ровная поверхность может быть достигнута с помощью пневматических катков;
- в труднодоступных местах, где пространство для тяжелых катков ограничено, можно использовать трамбовку.
- уплотнение должно быть завершено через 15 минут после укладки и через 60 минут после окончания смешивания бетона;
- скорость уплотнения укатанного уплотненного цементобетонного покрытия может быть легко оценена путем тщательного изучения поведения бетонной смеси под статическими катками;
- однородная деформация при уплотнении доказывает соответствующую конкретную последовательность;
- если бетон слишком влажный для уплотнения, поверхность слоя становится пастообразной и блестящей после прокатки, и она ведет себя пластично даже при движении пешеходов;
- если бетон слишком сухой – поверхность зернистая и пыльная, даже видны трещины;
- содержание воды в смеси должно быть изменено, должно быть проверено соответствие материала требованиям или откалиброван весовой баланс;
- компоненты свежееуложенных бетонных слоев могут быть сравнительно быстро уплотнены, однако необходимо соблюдать некоторые специальные правила;
- в обоих случаях наиболее важным правилом является использование непрерывно низкой (около 3 км/ч) скорости движения, постепенное изменение направления и постепенное ускорение после изменения направления;
- смена полосы уплотнения, начало новой полосы движения или повороты должны ложиться только сзади, на уже уплотненном и затвердевшем участке покрытия;
- в случае рсс-слоев толщиной 151–250 мм может быть достигнута необходимая

плотность 98 % за 4–6 проходов 10-тонного вибрационного катка;

– при избыточном уплотнении плотность верхнего слоя или краев может уменьшиться [4].

Процесс уплотнения цементобетонной смеси способствует увеличению скорости протекания химической реакции, которая повышает жесткость и прочность уплотненного слоя. Уплотнение также обеспечивает плотность, ровность и текстуру поверхности. Процесс начинается сразу после укладки и продолжается до тех пор, пока покрытие не будет соответствовать предъявленным требованиям.

После завершения твердения цементобетонной смеси покрытие готово к использованию. Иногда на литую цементобетонную смесь наносится дополнительный слой из асфальтобетонной смеси для большей ровности при скоростном движении транспортного потока. Твердение смеси обеспечивает прочное и долговечное покрытие [5]. Как и для любого типа бетона, застыванию способствует гидратация – химическая реакция, которая приводит к затвердеванию и увеличению прочности бетона.

Распыление воды над будущим покрытием поливочной машиной или автогудронатором позволяет сохранить его поверхность во влажном состоянии. Для герметизации влаги внутри цементобетонного слоя можно использовать распыляющую мембрану.

В процессе приготовления смеси и устройства слоя покрытия дорожной одежды необходимо придерживаться нескольких правил [4–5]:

– количество воды должно тщательно контролироваться (при расходе цемента 300–400 кг/м<sup>3</sup> требуется 45–60 л воды);

– самосвалы обычно используются для транспортировки смеси к месту укладки;

– укатываемая бетонная смесь должна быть распределена в течение 60 минут, иначе у состава может возникнуть расслоение структуры;

– наибольшая толщина слоя уплотнения 12–30 см;

– бетонная смесь должна быть укатана виброкатком.

Укладка цементобетонной смеси выполняется из сплошных слоев с уплотнением виброкатками.

Другие преимущества использования укатываемой цементобетонной смеси:

– сокращение расхода цемента, так как можно использовать более жидкую смесь (за счет добавления воды или битумной эмульсии);

– затраты на опалубку сводятся к минимуму или исключаются благодаря методике размещения слоя;

– низкое тепловыделение во время высыхания;

– затраты на транспортировку, укладку и уплотнение цементобетонной смеси сводятся к минимуму, поскольку машинно-дорожный отряд состоит всего из нескольких механизмов;

– арматура не требуется, поскольку прочность укатываемой цементобетонной смеси удовлетворяет необходимым требованиям;

– высокая производительность асфальтоукладчика при устройстве слоя покрытия из укатываемой бетонной смеси;

– некоторые составы, содержащие ускорители твердения, можно использовать в качестве проезжей части уже через 24 часа после устройства;

– покрытия из цементобетонной смеси не поддаются влиянию разлива масел, топлива и/или гидравлических жидкостей.

Существуют несколько методик подбора состава [2–3, 4, 5].

Метод консистенции. Этот метод включает фиксацию двух параметров смеси при варьировании третьего параметра смеси. Например, количество заполнителя и вяжущего смеси может быть двумя параметрами, которые остаются постоянными, пока изменяется содержа-

ние воды. Для каждой комбинации параметров консистенция измеряется с помощью консиометра Вебе ASTM–C1170. Этот процесс повторяется до тех пор, пока не будет достигнута требуемая степень связности смеси. Прочностные свойства также должны быть проверены на соответствие требуемым. Этот метод в основном использовался для проектирования цементобетонных смесей для гидротехнических сооружений.

Модель твердой суспензии. Этот метод является более теоретическим и фундаментальным подходом к проектированию укатываемой бетонной смеси (RCC). Зная такие свойства, как удельный вес и плотность различных компонентов (т. е. заполнителя и вяжущих материалов), метод позволяет рассчитать плотность сухого уплотнения смеси. Этот метод может быть использован для повышения плотности сухого уплотнения смеси достаточно быстро, поскольку он требует только ранее упомянутых свойств каждого компонента и не требует тестирования каждой пробы смеси в лаборатории. После выбора процентного содержания компонентов, который дает максимальную плотность (или желаемую плотность), рассчитывается количество воды, которое полностью заполняет пустые пространства между сухими ингредиентами (то есть заполнителем и цементными материалами). Прочностные свойства должны быть проверены на соответствие требуемым.

Метод оптимального объема смеси. Этот метод аналогичен модели твердой суспензии в том, что его цель состоит в заполнении пустот агрегатной структуры достаточным количеством смеси, чтобы после уплотнения они отсутствовали вовсе. Таким образом, этот метод минимизирует содержание смеси, необходимое для заполнения пустот, присутствующих в структуре.

В случае применения природного заполнителя (природного гравия) требуется меньшее количество воды для приготовления укатываемой смеси, такая смесь лучше и легче уплотняется, редко возникает опасность ее расслоения (поскольку смесь на основе гравия расслаивается достаточно редко).

Способность массива наполнения деформироваться под воздействием нагрузки определяется ее упругими, деформационными и компрессионными свойствами, которые характеризуются количественными показателями: модуль упругости  $E$ , модуль деформации  $D$ , модуль сдвига  $G$ , коэффициент Пуассона  $m$  и коэффициент сжимаемости  $e$  [5–6].

Наиболее распространенным способом получения информации о прочностных и деформационных свойствах массива наполнения является испытание образцов, изготовленных в лабораторных условиях или пробуренных из искусственных массивов, в количестве, представляющем массив и тип испытания [6–7].

Прочность и деформационные свойства закладки измеряются в стандартных испытательных периодах с учетом интенсивности отверждения материала закладки (через 1, 3, 7, 14, 28, 60, 90, 130 и 360 дней). Чтобы получить достоверные результаты, 3 образца закладок тестируются в каждый запланированный момент времени. Прочностные характеристики закладки зависят от влажности и объемной массы сформированного искусственного массива, которые также подлежат определению.

### *Заключение*

Совершенствование состава укатываемой цементобетонной смеси (Roller-Compacted Concrete) является необходимым условием для расширения области ее применения в качестве основного материала покрытий жесткой дорожной одежды в условиях дефицита основных строительных материалов и увеличении межремонтного срока.

Основными преимуществами использования укатываемой цементобетонной смеси являются: возможность совершенствования составов применяемой смеси; упрощение технологии устройства и уплотнения слоя.

На основании анализа существующих методик подбора состава укатываемой цементобетонной смеси (метод консистенции, метод твердой суспензии и метод оптимального

объема смеси) можно рекомендовать последний для широкого использования в строительстве, поскольку он позволяет получать оптимальные показатели прочностных и деформационных свойств устраиваемого слоя без потери качества конечной товарной продукции.

### **Список литературы**

1. Roller-Compacted Concrete (RCC) Mixture Proportioning. – Текст : электронный // АСРА : Wiki Home. – 2015. – URL: [https://wikipave.org/index.php?title=Roller-Compacted\\_Concrete\\_\(RCC\)\\_Mixture\\_Proportioning#Mixture\\_Proportioning\\_Methods](https://wikipave.org/index.php?title=Roller-Compacted_Concrete_(RCC)_Mixture_Proportioning#Mixture_Proportioning_Methods) (дата обращения: 26.12.2019).
2. WHAT IS RCC? – Текст : электронный // Portland Cement Association : [сайт]. – URL: [https://www.cement.org/cement-concrete-applications/paving/roller-compacted-concrete-\(rcc\)](https://www.cement.org/cement-concrete-applications/paving/roller-compacted-concrete-(rcc)) (дата обращения: 26.12.2019).
3. Mix Design of Roller Compacted Concrete. – Текст : электронный // The Constructor – Civil Engineering Home : [сайт]. – URL: <https://theconstructor.org/concrete/mix-design-of-roller-compacted-concrete/7647/> (дата обращения: 26.12.2019).
4. Современное состояние и перспективы применения технологии укатываемого бетона. Обзорная информация. Автомобильные дороги и мосты. 6-2004. – 87 с.
5. Балабанов, В. Б. Применение зольных отходов в дорожном строительстве / В. Б. Балабанов, В. Л. Николаенко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – С. 5.
6. Левицкий, Е. Ф. Бетонные покрытия автомобильных дорог / Е. Ф. Левицкий, В. А. Чернигов. – Москва : Транспорт, 1980. – 288 с.
7. Патент № 2463271 Российская Федерация. Бетонная смесь : № 20111111955/03 : заявл. 29.03.2011 : опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28 / Николаенко В. Л., Балабанов В. Б. – 6 с.

***Т. В. Скрыпник, А. Ю. Кушнир***

***Автомобильно-дорожный институт***

***ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка***

#### **Существующие подходы к совершенствованию состава укатываемой цементобетонной смеси для покрытий автомобильных дорог**

Рассматриваются методики подбора состава укатываемых цементобетонных смесей при устройстве слоев покрытия автомобильных дорог, а также отечественный и зарубежный опыт применения в строительстве.

Укатываемое цементобетонное покрытие (RCC) – это слой жесткой дорожной одежды, устраиваемой асфальтоукладчиком с последующим уплотнением вибрационными катками.

Для увеличения срока службы дорожного покрытия в условиях интенсивной эксплуатации необходимо применение новых составов смеси. Повышение прочности возможно при использовании минеральных заполнителей более высоких марок, а также различных модифицирующих добавок. Продление срока эксплуатации цементобетонного покрытия в условиях интенсивного автомобильного движения возможно за счет оптимизации состава смеси модифицирующими добавками, изменения процентного содержания компонентов или их замены на другие.

Проанализированы методики подбора состава укатываемой цементобетонной смеси для устройства покрытия жесткой дорожной одежды на основании отечественного и зарубежного опыта.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение укатываемых покрытий вместо асфальтобетонных, дает экономический эффект, увеличивает гарантийный межремонтный срок и не требует масштабной замены машин и механизмов.

**УКАТЫВАЕМАЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННАЯ СМЕСЬ, ЖЕСТКАЯ ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА, МЕЖРЕМОНТНЫЙ СРОК ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОГ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ, УКЛАДОЧНЫЕ РАБОТЫ**

*T. V. Skrypnik, A. Y. Kushnir*  
*Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka*  
**Existing Approaches to Improving the Composition of the Rolled Cement and Concrete Mix for Road Coatings**

This article considers the methods for selecting the composition of rolled cement-concrete mixtures when arranging the layers of the road surface, as well as domestic and foreign experience in construction.

Rolled Concrete Coating (RCC) is a layer of tough pavement arranged by an asphalt paver followed by compaction with vibratory rollers.

To increase the service life of the pavement in conditions of intensive operation, it is necessary to use new mixture compositions. Strength increase is possible when using mineral aggregates of higher grades, as well as various modifying additives. Extending the life of the cement concrete pavement in conditions of heavy traffic is possible by optimizing the composition of the mixture with modifying additives, changing the percentage of components, or replacing them with others.

The methods of selecting the rolled cement-concrete mixture composition for arranging the coating of the hard pavement on the basis of domestic and foreign experience are analyzed.

Thus, we can conclude that the use of rolled coatings instead of asphalt concrete ones gives an economic effect, increases the warranty overhaul time and it does not require large-scale replacement of machines and mechanisms.

ROLLED CEMENT AND CONCRETE MIX, TOUGH PAVEMENT, OVERHAUL TIME OF ROAD MAINTENANCE, PROCESS TECHNOLOGY, PAVING WORKS

**Сведения об авторах:**

**Т. В. Скрыпник**

SPIN-код: 2966-5060

Телефон: +38 (06242) 4-40-39

Researcher ID: G-5121-2016

Эл. почта: skrypnik\_tv@rambler.ru

**А. Ю. Кушнир**

Телефон: +38 (071) 480-48-82

Эл. почта: anton.kushnir.312@gmail.com

*Статья поступила 07.04.2020*

© Т. В. Скрыпник, А. Ю. Кушнир, 2020

*Рецензент: И. В. Шилин, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»*