



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,**  
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

## ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА КОНГЛОМЕРАТОВ

Анна Зеленкова

*Национальный авиационный университет, Киев, Украина  
Эл. почта: Zelenkova-Anna@ukr.net*

**Аннотация.** В статье приведен ряд основных факторов, обеспечивающих долговечность покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Рассмотрены асфальтобетонные смеси и асфальтобетон (конгломерат) как высококонцентрированные дисперсные системы, свойства которых зависят от свойств составляющих, от физико-химических процессов, происходящих при формировании структуры конгломерата. Определены основные факторы, которые определяют долговечность покрытий. Уделено достаточное внимание выбору основных минеральных заполнителей и битумных вяжущих веществ. Даются рекомендации соотношений песчаных фракций и минерального порошка, обоснованы влияние природы, размера и формы крупных фракций минеральных заполнителей, условность методов оценки качества битумов и конгломератов, изготовленных на их основе. Отсутствие связи между ними и эксплуатационными режимами работы конструкций ограничивает возможность прогнозирования работоспособности в различных условиях и осложняют выбор рациональных технологических решений в дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** конгломераты, крупные и мелкие заполнители, битумные вяжущие, физические и механические свойства, состав, структура.

### Введение

Расчет оптимальных составов конгломератов с применением битумных вяжущих веществ представляет собой сложный комплексный процесс, в котором необходимо учитывать не только свойства отдельных компонентов, но и ряд технологических, физических, практических и экономических факторов, которые влияют на долговечность битумных конгломератов, применяемых в дорожном и аэродромном строительстве включает ряд основных факторов, обеспечивают долговечность покрытий автомобильных дорог и аэродромов.

Нормативные документы и рекомендации, в которых регламентированы методики проектирования и технология изготовления асфальтобетонных смесей не учитывают принципы структурообразования на всех технологических этапах, не отражают особенности и многообразие применяемых местных строительных материалов, их свойства, а также

эксплуатационное назначение конструктивных слоев дорожной одежды, включая грунтовые основания.

**Цель работы:** обосновать значимость влияния основных свойств составляющих на качество и долговечность конгломератов покрытий и конструктивных слоев дорожной одежды. Следует рассматривать асфальтобетонные смеси и асфальтобетон как высококонцентрированные дисперсные системы, свойства которых зависят не только от свойств составляющих, но и от физико-химических процессов, происходящих при формировании конгломерата по всей высоте конструктивного элемента (Братчун и др. 2006).

### 1. Решение проблемы

Основными факторами, которые определяют долговечность покрытий могут быть:

- подготовка грунтового основания;
- условия работы конгломерата в конструкции;

- выбор исходных материалов битумных вяжущих веществ в зависимости от условий работы конгломерата;
- природа и размер фракций крупных минеральных заполнителей с учетом их стоимости и дефицита;
- соотношение крупных и мелких фракций заполнителей в единицах объема;
- природа гранулометрии и содержание тонкодисперсного наполнителя (минерального порошка и крупных фракций);
- полидисперсность и полиминеральность минерального порошка;
- условия климатической зоны и воздействие агрессивной среды;
- качество уплотнения смесей конгломератов в покрытия;
- интенсивность дорожного движения и нагрузка на ось транспортных средств;
- природа грунтового основания и качество изготовления слоев основания дорожного полотна и многие другие.

## 2. Подготовка грунтового основания

Перед тем, как завозить и укладывать щебеночный или гравийный материал в основание, последнее должно быть тщательно спланировано в соответствии с проектными отметками, выровнено и уплотнено. Если проектом предусматривается осушение, то необходимо выполнить все работы по водоотводу.

Песчаный подстилающий слой отсыпают из песков крупной и средней крупности, имеющих достаточную водопроницаемость. Это необходимо для обеспечения быстрой отдачи проникающей в основание воды и обеспечение достаточной устойчивости в сухом и влажном состоянии песка.

Необходимо производить уплотнение песка легкими катками (2–3 т), площадочными вибраторами или обильным увлажнением. Уплотнение водой желательнее применять только в сухой и теплый период года.

На подготовленном основании каменные материалы необходимо распределять строго конструктивным слоем с последующим его уплотнением.

Основания из гравийных и щебеночных материалов (кроме грунтощебеночных и грунтогравийных), а также из шлаков можно сооружать в зимнее время.

До наступления отрицательных температур грунтовое основание должно быть сухим и очищенным от снега и льда к началу укладки материалов следующих слоев.

Качество подготовки грунтового основания необходимо проверять по ровности и степени уплотнения.

Разрабатываемые теории, объясняющие структурообразование конгломератов и деструктивные процессы, происходящие при эксплуатации покрытий при всей их правильности и математической обоснованности, не смогут обеспечить долговечность автомобильных дорог и аэродромов, если не будут учтены один или несколько приведенных выше факторов «достаточной долговечности».

Условия работы конгломерата в конструкции включает:

- интенсивность дорожного движения;
- нагрузки на ось транспортных средств;
- максимальные уклоны на трассе;
- экспозицию отдельных участков;
- геолого-климатические условия на трассе;
- средства механизации по производству, укладке и уплотнению смесей и многие другие факторы, влияющие на обеспечение плотности конгломератов.

Машины и механизмы, в том числе ведущих зарубежных фирм, часто не доуплотняют асфальтобетонные смеси в покрытиях, что отражается на качестве конструктивных слоев дорожной одежды.

## 3. Выбор исходных минеральных материалов и битумных вяжущих веществ

Выбор исходных минеральных материалов и битумных вяжущих веществ производится в соответствии с наличием местного кремнеземистого сырья или отходов промышленности, их соответствия требованиям, предъявляемых для данного вида и типа конгломерата. Исключение расходов на транспортирование минеральной части конгломератов к месту их изготовления значительно уменьшит стоимость строительства и ремонта дорог.

Битумные вяжущие вещества представляют собой смесь жидких, полутвердых или твердых химических соединений углерода (С) и водорода (Н), с которыми связаны (в небольшом количестве) кислород (O<sub>2</sub>), сера (S), азот (N), а также большое количество асфальтосмолистых веществ (мальтены, карбены

и карбоиды, асфальтогенные кислоты и их ангидриды, парафин и др.). Они хорошо растворимы в хлороформе, сероуглероде, керосине и других органических растворителях. Битумы относят к коллоидным системам, в которых дисперсной фазой есть асфальтены. Они представляют сложную смесь низко- и высокомолекулярных углеводородов нефти и их гетеропроизводных, в которых есть кислород, сера, азот, некоторые металлы (ванадий, железо, натрий, никель и др.). Элементарный состав может быть таким (%): углерод, (С) 80...85; водород (Н) 8...11; кислород (О<sub>2</sub>) 1.8...4; Сера (S) 0.5...7; азот (N) 0.2...4.5. Групповой состав битума может быть таким (%): масла – 40...62; смолы – 20...38; асфальтены – 10...25; карбены и карбоиды – 1...5; асфальтовые кислоты и ангидриды – до 1%.

Асфальтеновые кислоты и их ангидриды могут быть в маслянистой или смолистой консистенции, плотностью больше 1000 кг/м<sup>3</sup>. Они хорошо растворимы в спирте, хлороформе и хуже – в бензине. Содержание этих веществ в битуме определяет его адгезионную активность.

Парафин уменьшает растяжимость битуму и его содержание ограничивают до 5%. Структура битумов зависит от химического состава и влияет на механические свойства, погодоустойчивость и надежность конгломератов (Руденская, Руденский 1984).

Плотность битума  $\rho$ , (кг/м<sup>3</sup>), зависит от химического состава и позволяет судить о его происхождении. Плотность дорожных битумов разных марок находится в пределах: 0,990...1,07 при 20°C. В некоторых видах битумов могут быть водорастворимые соединения в количестве до 0,5 %.

Перечисленные некоторые свойства битумов частично изменяются в процессе их производства заводом-изготовителем. Потребители (строители) – могут только констатировать свойства, а улучшать необходимо технологическими приемами в процессе изготовления смесей. Асфальтобетонные заводы Украины используют битумы, изготовленные в России и Белоруссии.

Автором выполнено улучшение связующих свойств битума посредством добавки в заполнители полимерных бытовых отходов в виде короткомерной стружки длиной до 20 мм (табл. 1).

Полимерные добавки для разных битумов дают существенное повышение прочности конгломерата (экспериментальные исследования продолжаются).

**Таблица 1.** Влияние полимерных бытовых добавок на прочность конгломерата

Название битума	Количество добавки, %	Прочность конгломерата, МПа/см <sup>2</sup> , (20 °С)
БНД60/90 (г. Мозырь, Беларусь)	0	2,8
	2,5	3,5
	5	4,5
БНД60/90 (г. Саратов, Россия)	0	2,5
	2,5	3,2
	5	4,0

#### 4. Природа, содержание и гранулометрия тонкодисперсного наполнителя

Минеральный порошок (требуемого минералогического состава) является одним из основных структурообразующих элементов в конгломератной смеси (Рыбьев 1969).

От минералогического состава тонкодисперсной минеральной части зависит связанность конгломерата. Тонкодисперсные вещества с достаточным количеством активного кальция и магния, покрытых тонкой битумной пленкой образуют асфальтное вяжущее. Зерна песка, добавленные в асфальтное вяжущее, формируют основную структуру смеси, которая определяет её физико-механические свойства: прочность, плотность, деформативность и др. Важно учитывать соотношение между песчаной фракцией и минеральным порошком, а также их взаимодействие с асфальтным вяжущим.

Полидисперсность и полиминеральность минерального порошка влияют на выбор битумного вяжущего и качество изготовленных покрытий. Установлено, что содержание в составах зерен размером меньше 0,07 мм должно быть не менее 4 % поэтому необходимо присутствие минерального порошка.

Зерна песка, добавленные в асфальтовое вяжущее, формируют основную структуру смеси, что обеспечивает физико-механические свойства: прочность, плотность, деформативность и долговечность конгломерата. Соотношения песчаной фракции с минеральным порошком должно находится в пределах 1:1,5 при условии максимального покрытия зерен песка асфальтовым вяжущим.

Насыщение смеси мелким песком может снизить модуль упругости конгломерата, повысить его эластичность, а замена крупнозернистым песком или

мелким щебеним – уменьшает эластичность, но увеличивает прочность. Максимальный модуль упругости достигается при оптимальном соотношении асфальтового вяжущего с максимальной крупностью зерен и минимальной вязкостью битума (Рыбьев 1969).

Смачиваемость битумом минеральной поверхности зависит от краевого угла смачивания, равного 20...30° при температуре ниже 100 °С на гладкой и чистой поверхности. На загрязненной и шероховатой поверхности этот угол может превышать 90°. Растекание битума по увлажненной поверхности дисперсных минеральных материалов значительно лучше. Толщина битумной пленки на поверхности минерального заполнителя зависит от природы заполнителя, вязкости битума, размера и поверхности отдельных зерен, которые участвуют в процессах адсорбции и абсорбции. Это свойство необходимо учитывать в процессе перемешивания смеси минерального порошка с битумом для изготовления конгломератов высокого качества (Братчун и др. 2006). К сожалению, существующие требования государственных норм включают только часть перечисленных свойств битумных вяжущих, влияющих на прочность и деформационные свойства конгломератов при расчете их составов и рекомендаций для применения в покрытиях автомобильных дорог и аэродромов.

Пористый минеральный заполнитель (например, известняковый) может избирательно адсорбировать компоненты битума, нарушая его структуру. Пленка битума на зернах заполнителя теряет масляные компоненты, а асфальтены и смолы твердеют и упрочняются.

Водостойкость битумной пленки, образованной на поверхности крупных и мелких заполнителей конгломератов в процессе перемешивания смеси и ее уплотнения обеспечивает долговечность покрытия дорожной одежды.

Для получения материалов с повышенной водонепроницаемостью необходимо увеличивать на 1,5...2% количество асфальтового вяжущего по сравнению с дорожными смесями согласно требований стандарта (ДСТУ Б В. 2.7-119-2011). Вязкость битума определяет водонепроницаемость битумной пленки. Если пенетрация битума при 25 °С превышает величину 40...60 мм, тогда водостойкость, морозостойкость и трещиностойкость покрытий будут значительно снижены (Котлярский, Военко 2007).

## 5. Природа, размер и форма минеральных заполнителей

Природа, размер и форма зерен крупных фракций минеральных заполнителей оказывают особое влияние на прочностные и деформационные свойства конгломератов. Выбор заполнителей и технические требования к ним обусловлены назначением конгломерата в дорожной конструкции.

Марка щебня по прочности колеблется в пределах 600...1200. Показатель прочности при износе в полочном барабане для щебня, изготовленном из изверженных горных пород установлен не более 25...35%, а из шлаков – 35%.

Форма зерен крупного щебня должна приближаться к кубической, иметь шероховатую поверхность и выдерживать не менее 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

При незначительном содержании щебня (до 20 %) свойства конгломерата определяются свойствами асфальтового вяжущего, а при более высоком – прочностью щебня и битумной пленкой, которая покрывает поверхность крупных и мелких заполнителей (Котлярский, Военко 2007).

Рациональное соотношение между минеральными компонентами смеси (щебнем, песком и минеральным порошком) является важнейшим фактором качества конгломерата – прочности, деформативности и долговечности.

Расчет состава минеральной части можно выполнять несколькими методами: по кривым плотных смесей (табличный или аналитический), графически, графоаналитически и др.

Минеральную часть крупно- и мелко-зернистых смесей при наличии крупного или среднего природного песка лучше подбирать по непрерывным зерновым составам, а при наличии мелкого песка – по прерывистым составам, в которых пустоты щебня заполнены смесью, не содержащей зерен размером 5...0,63 мм.

Прерывистые зерновые составы минеральных заполнителей рекомендованы для смесей верхних слоев покрытий (Котлярский, Военко 2007).

При применении в составах отсевов, полученных при дроблении изверженных и карбонатных горных пород, необходимо учитывать наличие высокого содержания тонкодисперсных зерен размером меньше 0,07 мм, Рационально в составы не добавлять минеральный порошок или частично заменять его измельченными карбонатными породами в соответ-

ствии с требованием стандарта (ДСТУ Б В. 2.7-119-2011).

В каждом отдельном случае расчета составов конгломератов с применением различных видов заполнителей, полученных дроблением горных пород различного происхождения, необходимо дополнительные исследования по обеспечению минимальной пористости минерального остова конгломерата для данной дорожно-климатической зоны.

В соответствии с действующим стандартом Украины минеральные порошки изготавливают из основных и кислых горных пород. Они могут быть не активированными и активированными. Используют карбонатные горные породы: известняки, доломиты, доломитизированные известняки, с дробимостью от 300 до 1000. Используют также отходы, полученные при переработке кислых гранитов, андезитов, сиенитов и др. В минеральном порошке карбонатных минералов должно быть не менее 50%. Используют порошкоподобные отходы промышленности: каменноугольные порошки, шлакопортландцемент низкой марки, золу-унос, хвосты флотации, в которых присутствует сера. Считаем, что минеральные порошки с максимальным количеством серы будут способствовать повышению физико-механических свойств конгломератов. Для активации поверхности минеральных зерен используют анионные поверхностно-активные вещества типа высших карбоновых кислот (жировой гудрон, синтетические жирные кислоты C17-H20, кубовые остатки синтетических жирных кислот, окисленный петролатум) и катионные: высшие алифатические амины или их соли, а также четвертинные соли амониевых соединений, мазут дизельное топливо, битумы нефтяные дорожные вязкие и др. Практика показывает, что не всегда возможны варианты применения активированных материалов, что приводит к ухудшению качества конгломератов.

Для смесей, в которых содержание щебня более 20 % конечная прочность конгломерата максимально зависит от характера взаимодействия вяжущего с поверхностью крупного заполнителя. Оптимальное качество щебня рационально определять по предельным кривым для плотных смесей и проверять методом лабораторного подбора.

При использовании маловязких битумов необходимо увеличить долю минерального порошка, который является основным структурообразующим элементом в смеси, и позволяет регулировать прочностные характеристики конгломерата при измене-

нии соотношения песка и щебня в единице объема. Важным условием конгломерата является признак оптимальности по наибольшей плотности упаковки твердых частиц в микро и макроструктуре. Состав и структура тонких контактных моно- и полимолекулярных слоев отличаются от основного вяжущего вещества, а также их качества. В случае отсутствия в материале вяжущей прослойки между зернами, тогда условием оптимальности структуры служит наибольшая поверхность контакта и взаимосвязи частиц твердой фазы (Зеленкова 2012).

Определение показателей качества конгломератов включает ряд условных методов испытания, которые часто не идентичны условиям работы в процессе эксплуатации покрытий дорог. Например, прочность асфальтобетона при сжатии определяют при скорости нагружения три мм/мин, а критериями прочности покрытия является прогиб и растяжение при изгибе под действием расчетной нагрузки. Скорость деформирования покрытия при проезде автомобиля находится в пределах 240...480 мм/мин. Свойства вяжущих оценивают в одних условных показателях, а свойства конгломератов – в других.

Условность методов оценки качества битумов и конгломератов, изготовленных на их основе, а также отсутствие связи между ними и эксплуатационными режимами работы конструкции, ограничивает возможность прогнозирования работоспособности их в различных условиях и осложняется выбор рациональных технологичных решений в дорожном строительстве. Условные методы оценки качества вяжущих веществ не могут правильно оценить параметры, необходимые для расчета конструкции дорожных одежд. Необходима единая система оценки качества.

Влияние климатических и эксплуатационных условий на качество конгломерата в дорожной конструкции может быть не постоянным. Для каждого административного района страны необходимо применять местные минеральные материалы и требуемые вяжущие вещества. Особое значение имеет интервал пластичности битумного вяжущего, который зависит от района расположения дороги и назначения конструктивного слоя – покрытия или основания. Битумы, в которых малый интервал пластичности, можно рекомендовать для устройства оснований, и их неэффективно применять для устройства верхних слоев покрытий, особенно в районах с континентальным климатом. Для оснований можно рекомендовать вяжущие материалы, имеющие ограниченное применение, исходя из условий охраны окружающей среды.

Для верхних слоев покрытий необходимо применять нефтяные битумы улучшенных марок, которые обеспечивают максимальную адгезию с мелким и крупным наполнителем.

В областях с повышенным количеством осадков, особое внимание необходимо уделять обеспечению водостойкости, морозостойкости и биостойкости конгломератов.

## Выводы

1) Для обеспечения долговечности конгломератов покрытий необходимо учитывать многообразие основных факторов, начиная с подготовки грунтового основания.

2) Определять условия работы конгломерата в конструкции необходимо при различных нагрузках: статических и динамических.

3) Выбор исходных минеральных материалов необходимо производить в соответствии с наличием местного кремнеземистого сырья или отходов промышленности для удешевления строительства и ремонта.

4) Используемые битумы желательно улучшать технологическими приемами в процессе изготовления смесей конгломератов.

5) Для получения конгломератов с повышенной водонепроницаемостью необходимо увеличить на 1,5...2 % количество вяжущего, улучшенного полимерными связующими веществами.

6) Для верхних слоев покрытий рационально применять прерывистые зерновые составы минеральных наполнителей, в которых необходимо присутствие добавок, полученных из бытовых полимерных отходов.

## Литература

- Братчун, В. И.; Золотарев, В. О. и др. 2006. *Физико-химическая механика строительных материалов*. Макеевка–Харьков, 302 с.
- Руденская, И. М.; Руденский, А. В. 1984. *Органические вяжущие для дорожного строительства*. М.: Транспорт, 229 с.
- Рыбьев, И. А. 1969. *Асфальтовые бетоны*. М.: Высш. шк. 396 с.
- Котлярский, Э. В.; Военко, О. А. 2007. *Долговечность дорожных асфальтобетонных покрытий и факторы способствующие разрушению структуры асфальтобетона в процессе эксплуатации*. Технополиграфцентр, М. 136 с.
- ДСТУ Б В. 2.7-119-2011. Смесей асфальтобетонные и асфальтобетон дорожный и аэродромный.
- Зеленкова, Г. Ф. 2012. Покрашення структури штучних будівельних конгломератів (ШБК), *Містобудування та територіальне планування*. Науково-технічний збірник 45(3): 41–47.