**Снижение шума от дорожно-транспортного движения**

ВВЕДЕНИЕ

1. Измерение уровня шума и существующие правила

1.1 Шум, производимый транспортным средством

1.2 Взаимодействие покрышка/дорога

1.3 Дорожное покрытие и слои износа

2. ИЗУЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

3. ОБЗОР I: ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА

3.1 Окружающая среда

3.2 Возможности дальнейшего снижения шума

3.3 Меры, направленные на уменьшение дискомфорта, вызываемого шумом:

3.4 Стандартизация испытаний на треке

4. ОБЗОР II: ПРОИЗВОДСТВО ПОКРЫШЕК

4.1 Шум качения в общем контексте дискомфорта от транспортного шума

4.2 Оптимальное проектирование покрышки: случай шума и сцепление шин с мокрым покрытием дороги

4.3 Определение и оценка шума качения при взаимодействии покрышки и покрытия дороги

4.4 Базовый исследовательский подход к снижению шума качения

4.5 Механизм генерации шума качения

4.5.1 Механизмы генерации

4.5.2 Механизмы распространения

5. ОБЗОР III. ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ И МЕХАНИЗМЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ШУМА

5.1 Основные принципы

5.2 Экспериментальное изучение акустических свойств дорожного покрытия

5.2.1 Условия эксперимента

5.2.2 Принцип эксперимента

5.2.3 Математическая модель

5.3 Результаты и последствия снижения шума контакта покрышка/дорога

6. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ : ПОКРЫТИЕ - ПОКРЫШКА - АВТОМОБИЛЬ

6.1 Слои износа

6.1.1 Роль слоя износа

6.1.2 Типы слоя износа

6.1.3 Покрытие дороги и генерация шума качения

6.1.4 Пористый асфальтобетон

6.1.5 Содержание пористого асфальтобетона

7. ОБЗОР IV. ВКЛАД НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В СНИЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА

7.1 Основные проблемы

7.1.1 Уплотнение

7.1.2 Загрязнение пор

7.1.3 Старение

7.1.4 Дренирование вяжущего

7.1.5 Расслоение

7.2 Эксплуатационные свойства пористого асфальтобетона

7.2.1 Основные важные характеристики вяжущего для пористого асфальтобетона

7.2.2 Спецификации

# Введение

Забота современного общества об улучшении качества жизни подразумевает улучшение окружающей среды и шум, вызываемый транспортом - одно из направлений работы.

Шум от дорожного движения является суммарным результатом:

1. шума работающего двигателя транспортного средства,
2. шума от контакта покрышек и поверхности дорожного покрытия.

Следовательно, вопрос о возможностях снижения шума должен рассматриваться в рамках работы экспертов, представляющих:

1. производителей транспортных средств,
2. производителей покрышек,
3. дорожных строителей,
4. нефтяную промышленность (производителей дорожных битумов и горючего).

Совместная работа экспертов разных отраслей по решению проблем снижения шума ставит целью:

1. Расширение сотрудничества производителей покрышек и транспортных средств для обеспечения более комплексного подхода в работе по снижению транспортного шума
2. Гармонизация различных методов измерений шума в Европейском масштабе.

Определение:

*Комплексный подход* - использование методов, позволяющих рассматривать предметы и явления во взаимной связи и в сочетаниях для получения более точного и верного представления о проблеме.

Задача нового комплексного подхода - подготовка технических норм и единых законодательных актов по:

1. современным методам определения шума, вызываемого взаимодействием дорожного покрытия и покрышки, а также, транспортным средством.
2. правилам, адресованным соответствующим участникам
3. рекомендациям по использованию соответствующих типов покрытия, таких как пористые асфальтобетоны, которые могли бы внести вклад в снижение шума от движения транспортных средств.

**1. Измерение уровня шума и существующие правила**

Взаимодействие покрышки и дороги производит шум, который воспринимается в различной степени внутри и снаружи автомобиля.

С точки зрения окружающей среды интерес вызывает шум снаружи автомобиля, который может определяться:

1. измерением общего показателя шума
2. измерением шума от движения отдельного автомобиля.

Общий показатель шума - постоянный шумовой уровень для определенного периода времени, который равен результату от реального процесса выделения шума.

Существует несколько основных методов измерения шума при движении автомобиля, но ни один из этих методов пока еще не стандартизирован.

Производители автомобилей измеряют общие уровни шума при ускорении движения автомобиля путем различных тестов.

Измерения шума двигателя необходимы для утверждения типа автомобиля, поскольку этого требует европейский стандарт для допуска продукции автомобилестроения на европейский рынок и жестокая конкуренция в отрасли.

Производители покрышек измеряют уровень шума от контакта покрышки и поверхности дороги для своих целей, проверяя общие эксплуатационные характеристики покрышки при различных условиях.

Дорожные строители определяют акустические свойства поверхностей дорожных покрытий, но своими методами, не дающими сопоставимых результатов, которые можно было бы увязать с шумом, производимым движущимся транспортным средством (с учетом типа покрышки и работы двигателей).

Таким образом, в рамках этих трех групп, результаты, выражаемые в физических единицах - децибелах (дБ), не могут быть использованы в одной общей математической модели, которая могла бы стать основой принятия решений.

## Шум, производимый транспортным средством

До сих пор для оценки шума, производимого таким источником как транспортное средство, использовался слишком обобщенный подход.

Фактически этот общий шум можно разложить между двумя основными источниками:

1. тяговой энергией транспортного средства (двигатель, карданный вал, зубчатые передачи),
2. контактом покрышки и покрытия.

У последних моделей тяжелых транспортных средств доминирующей частью общего шума является шум от контакта покрышки и покрытия. С 60-х годов производители двигателей грузовиков добились снижения в 15 раз шума тяговой энергии путем введения проектных усовершенствований.

Однако, если общий шум автотранспортного средства определяется стандартизированными методами, то стандарт, который подходил бы для измерения шума контакта покрышки и покрытия дороги как части общего шума, еще не существует.

## Взаимодействие покрышка/дорога

Контакт движущейся покрышки и покрытия производит целый спектр звуковых волн, более или менее различимых, происходящих из-за эффекта качения колеса. Знание механизма возникновения и распространения этих звуковых волн позволяет снизить степень их воздействия на окружение.

Разработаны специальные методы измерения шума для сочетания: покрышка-автомобиль-покрытие.

Были идентифицированы составляющие источники шума и изучено влияние каждого из них на различных параметры, участвующие в генерировании и распространении шума.

Снижение уровня шума качения состоит в контроле процессов его генерирования, распространения и поглощения, которые зависят:

1. от транспортного средства (веса, количества колес, вибрации, формы кузова),
2. от покрышки (давление/распространение воздуха под поверхностью протектора, его рисунок, контактная площадь и сцепление поверхности покрышки с поверхностью дороги),
3. от условия качения (скорость, вращающий момент, температура окружающего воздуха),
4. от дороги (поверхностные характеристики покрытия, конструкция дорожной одежды, поперечный профиль).

При изучении различных уровней шума от контакта покрышка/покрытие выявлено, что шум качения:

1. значительно возрастает при увеличении скорости (3 дБ + 0.2/0.5 дБ для каждых 15 км/час),
2. при движении с постоянной скоростью около 60 км/час шум качения преобладает над шумом двигателя,
3. при измерении на границе покрытия варьируется от 3 дБ в зависимости от того, используются ли гладкие покрышки или средние (европейских типов) протекторные покрышки,
4. при измерении на поверхности покрышки, шум варьируется с 6 дБ в зависимости от проектных характеристик дороги (измерения проводились на типичных Европейских главных дорогах).

Для ограничения шума требуется изучить комплексную модель контакта покрышка/покрытие, принимая в расчет характеристики покрытия и покрышки.

## Дорожное покрытие и слои износа

Цель покрытия - обеспечение движения транспортных средств с максимальной безопасностью, а именно покрытие должно:

1. выдерживать перемещающиеся нагрузки,
2. обеспечивать пользователям безопасность и комфорт при любой погоде, как в дневное, так и в ночное время.

Эта последняя двойная функция достигается в основном с помощью слоя износа, поскольку:

1. Безопасность пользователя определяется степенью противостояния заносу и шероховатостью поверхности покрытия, особенно важной в дождливую погоду.
2. Комфорт водителя определяется ровностью покрытия и шумом качения, который также создает неудобства жителям домов, находящихся вблизи дороги.

Пористый асфальтобетон представляет один из наиболее современных и экономичных материалов для покрытий. Это единственный тип слоя износа, который дает хороший результат по снижению шума, одновременно улучшая дорожную безопасность.

# Изучение проблемы

Рабочая группа Международной Дорожной Федерации провела исследование и сбор фактов с подготовкой обзора под названием: "Взаимодействие дороги, покрышек и транспортных средств" по четырем областям, имеющим отношение к шумовому загрязнению окружающей среды:

1. Автотранспортные средства
2. Покрышки
3. Автомобильные дороги
4. Нефтяная промышленность

Сегодня проектирование транспортных средств и их производство достигли того состояния, где дальнейший прогресс достижим только при систематизированном подходе и координированных действиях в таких областях как:

1. методология
2. совместимость результатов измерений шумовых уровней
3. политическая оценка

Для этого специалисты по транспортным средствам, покрышкам и дорожному проектированию и строительству должны прийти к некой общей системе, которая станет политическим инструментом с целью совершенствования окружающей среды путем снижения шумовых эмиссий.

Определение:

***Эмиссия*** - выделение, излучение, выбросы отходов, побочных результатов или загрязняющих веществ в окружающую атмосферу.

# ОБЗОР I: Транспортные средства

## Окружающая среда

Первая Директива в рамках Общего Европейского рынка по Системе утверждения типа транспортного средства была принята в сентябре 1970 года.

Целью ее принятия стало снижение шума и стимулирование технического прогресса таким образом, чтобы грузовые транспортные средства и автобусы снизили уровень шумовой эмиссии на 10 дБ.

*Таблица 1*. Динамика введения лимитов на шумы от работы двигателей транспортных средств

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Введение лимита, директива** | **70/157/****ЕЕС** | **(-)** | **77/212/ЕЕС** | **(-)** | **84/424/ЕЕС** | **Общее улучшение** |
| **Категории тр. средств** | **Уровень шума дБ** | **дБ** | **дБ** | **дБ** | **дБ** | **дБ** |
| 1 Тр. средства, предназначенные для перевозки пассажиров и оборудованные не более чем 9 посадочными местами, включая водительское | 82 | 2 | 80 | 3 | 77 | 5 |
| 1. Тр. средства, предназначенные для перевозки пассажиров и оборудованные более чем 9 посадочными местами, включая водительское и имеющие разрешенную массу более 3.5 тонн:

2.1 - с мощностью двигателя менее 150 кВт- с мощностью двигателя более 150 кВт | 8991 | 76 | 8285 | 22 | 8083 | 98 |
| 1. Тр. средства, предназначенные для перевозки пассажиров и оборудованные более чем 9 посадочными местами, включая водительское; транспортные средства, для перевозки грузов:

3.1 - с разрешенной массой не превышающей 2 тонны3.2 - с разрешенной массой от 2 до 3.5 тонн | 8484 | 33 | 8181 | 32 | 7879 | 65 |
| 4 Тр. средства, предназначенные для перевозки грузов и имеющие разрешенную массу свыше 3.5 тонн:4.1 - с двигателем мощностью более 75 кВт4.2 - с двигателем мощностью от 75 до 150 кВт4.3 - с двигателем мощностью свыше 150 кВт | 898991 | 333 | 868688 | 534 | 818384 | 867 |

## Возможности дальнейшего снижения шума

Комиссией Европейского Сообщества сформирована специальная рабочая группа с целью рассмотрения вопроса с точки зрения технического прогресса. Из отчета, подготовленного Рабочей группой следует следующее:

1. Группа рассмотрела категории дорожных транспортных средств, одну за другой, а также методы оценки уровней дискомфорта, который шум городского транспортного движения доставляет жителям.
2. Группа пришла к заключению, что применение Директивы от 1984 года способствовало тому, что использованы все возможные, на сегодняшний день, технические усовершенствования для снижения шумовой эмиссии всеми источниками, возникающими в процессе дорожного транспортного движения, за исключением одного - взаимодействия покрышки и поверхности дорожного покрытия.

Было выявлено следующее стартовое положение для начала решения проблемы:

1. Испытания и методы оценки уровней шума не установлены никакими правилами (т.е. трудно оценить объективно и сравнить уровни шума).
2. В ряде случаев, снижение уровней общего объема шума невозможно достичь путем технических решений (например, если увеличение шумовой эмиссии происходит в результате резкого торможения).
3. Различия между методами оценки уровней шума и условиями испытаний и реальными условиями транспортного движения не гарантируют эффекта от принятия мер по снижению дискомфорта от шума (меры, разработанные в условиях испытательного трека, могут не дать должного эффекта в реальной обстановке).
4. У тех, кто несет ответственность за состояние окружающей среды, отсутствуют соответствующие технологические и экономические инструменты, способствующие контролю и принятию мер для снижения шума (например, установленные законодательством уровни ограничений для шума от контакта покрышка/покрытие, достоверные замеры уровней для наложения штрафа за их превышение).

Группа рекомендовала действия в два этапа для дальнейшего снижения дискомфорта, вызываемого шумом городского транспортного движения.

**Первый этап** - выделить категории транспортных средств, где можно не учитывать шум от контакта покрышка/покрытие.

**Второй этап** - проводить дальнейшее исследование для разработки воспроизводимых методов определения результатов взаимодействия характеристик покрышки и дороги, имеющих отношение к появлению шума, для подготовки правил и требований для транспортных средств, покрышек и дорог.

Определение

***Воспроизводимый метод*** - способ решения конкретных задач в некой области (установление уровней шумовой эмиссии от контакта покрышка/покрытие) путем определенной последовательности практических операций.

Четкое определение степеней влияния покрышки и дороги позволило бы распределить обязательства и ответственность между соответствующими отраслями (производители покрышек и дорожные организации).

Существующая система утверждения типа транспортного средства по шумовым характеристикам сейчас основывается на общем уровне шума транспортного средства. За него и несет ответственность производитель транспортных средств.

Однако производитель не должен нести ответственность за ту часть шумовой эмиссии, что от него не зависит. Еще в недалеком прошлом эта логичная связь не имела под собой технического обоснования.

Раздражение общественности, вызываемое шумом городского транспортного движения, связано с общим шумом. Общий шум составляется из шумовых эмиссий, производимых отдельными генераторами шумов. Поэтому для успеха решения проблемы в целом, должны быть разработаны условия испытаний и методы измерений для определения как общего шума, так и измерения отдельных его составляющих.

Определение:

***Генератор шума*** - устройство, аппарат, машина, производящие звуковые сигналы (волновые колебания, импульсы).

В случае современных, с акустической точки зрения транспортных средств, шум контакта покрышка/покрытие постепенно выходит на передний план.

## Меры, направленные на уменьшение дискомфорта, вызываемого шумом:

**а. технологии**

1. автотранспортных средств
2. трейлеров
3. покрышек
4. поверхности дорожного покрытия
5. дорожного проектирования (шумовые барьеры, тоннели, мосты, выемки...)

**б. управление транспортным движением**

1. снижение скоростей
2. установка знаков, сигналов, закрытие проездов
3. контроль транспортного движения
4. временное введение одностороннего движения
5. меры благоприятствования, стимулирующие использование определенных видов транспортных средств (например, общественного транспорта, велосипеда)

**в. политические вопросы**

1. осуществление глобального и комплексного подхода к проблеме через интернациональные органы (Комиссия Европейского Союза, различные директораты DG, рабочие группы из представителей различных отраслей)
2. информативное сотрудничество в рамках международных органов (Международная Дорожная Федерация)
3. решения на национальном, региональном, муниципальном уровне

## Стандартизация испытаний на треке

Равнозначная и достоверная трактовка результатов испытаний может быть достигнута только в том случае, если все испытания автомобилей проведены на одном и том же или на эквивалентных испытательных треках. Поэтому испытательные треки должны быть стандартизированы.

Устранение дискомфорта, вызываемого транспортным шумом, не может быть достигнуто принимая во внимание только транспортные средства.

# ОБЗОР II: Производство покрышек

## Шум качения в общем контексте дискомфорта от транспортного шума

В течение последних 10 лет в европейских странах отмечается повышение интереса к окружающей среде. И как часть этой общей тенденции, предпринимаются усилия по снижению шума от транспортного движения, особенно в зонах жилой застройки.

Индустрия автомобильных покрышек также вовлечена в процесс снижения уровня транспортного шума, поскольку шум качения, возникающий при взаимодействии покрышки и покрытия дороги, особенно при постоянной скорости свыше 60 км/час, не может игнорироваться.

Первые шаги по снижению уровня шума вызываемые взаимодействием покрышки и дороги были самыми легкими. В результате, дизайн покрышек достиг такого уровня, что сейчас нужны титанические усилия, чтобы добиться снижения шума качения до 1 дБ.

Почему?

Потому что шум - только одна из характеристик, принимаемых в расчет при дизайне качественной покрышки и снижение шума не должно сказываться на других эксплуатационных характеристиках покрышек (например, долговечность, сцепление с дорогой).

## Оптимальное проектирование покрышки: случай шума и сцепление шин с мокрым покрытием дороги

С одной стороны, покрышка должна обеспечивать безопасную эксплуатацию транспортного средства, для которого эта покрышка была запроектирована.

С другой стороны, пользователи ожидают от этой продукции экологичности, комфорта и длительного срока службы при небольших затратах.

Для оправдания ожидания потребителя проводятся испытания.

Пример 1: Испытания покрышек грузовика

Задача испытания: Определение тормозного пути на мокром покрытии при снижении скорости от 90 км/час до полной остановки.

Материалы эксперимента: Тр. средство 19 тонн

Покрышка 295/80 R 22.5

Покрытие трека ц/бетон +1.5 мм воды

Используемые

расчетные методы: Определение на каждом заезде

коэффициента сцепления как функции скорости

Расчеты тормозного пути на математических моделях

Результаты: покрышка с продольным ребром - 240 м

гладкая покрышка - 1200 м

тяговая покрышка с повышенным

сцеплением - 200 м

Проектирование более "тихой" покрышки представляет собой оптимизационное решение проблемы со многими ограничениями.

Пример 2: Покрышка грузовика

Процент вероятности трогания с места грузовика в условиях снегопада на перевале Бреннер (Австрия)

покрышка с продольным ребром - 30 - 50 %

гладкая покрышка - 0 %

тяговая покрышка с повышенным

сцеплением - 95 %

## Определение и оценка шума качения при взаимодействии покрышки и покрытия дороги

Шум качения можно подразделить на два составляющих шума - внутренний и внешний шум.

Внутренний шум создает дискомфорт для водителя и пассажиров внутри транспортного средства. Существует взаимодействие между транспортным средством и покрышкой, поэтому требуется понять как воздушную, так и структурную передачу звуковых волн через кузов транспортного средства.

В контексте окружающей среды мы рассматриваем проблемы внешнего шума как части общего дискомфорта, вызываемого шумом транспортного движения.

Оценка внешнего шума в настоящее время основывается на измерениях на обочине дороги общего уровня шума в дБ (стандарт ISO 362 European regulation).

При проведении исследований по снижению шума качения используются измерения на обочине для определения улучшений в общем.

Используется микрофон, устанавливаемый в 7.5 м от оси дороги на высоте 1.2 м.

Шум качения должен определяться следующим образом: транспортное средство скатывается под уклон на заданной скорости с выключенным двигателем и сцеплением.

Скорость качения задается точной установкой условий качения (масса транспортного средства, угол скатывания).

Основные параметры, влияющие на уровень шума по результатам испытаний:

1. **дорога:** дорога играет роль в:

1. процессе генерации шума (гранулометрия поверхности покрытия)

2. его распространении (свойств акустического поглощения)

1. **транспортное средство:**

1. покрышки (масса транспортного средства, давление воздуха в камере, размеры). Размеры покрышки значительно влияют на генерацию шума (чем больше покрышка, тем она "шумнее")

2. количество "источников шума от покрышки"

3. эффекты дифракции (рассеивания звуковых волн) происходящие из-за формы кузова транспортного средства

1. **условия качения:**
2. шум возрастает с увеличением скорости
3. шум снижается с ростом температуры
4. шум изменяется при заданной скорости под воздействием вращающего момента

Пример:

На испытательном треке при использовании метода скатывания транспортного средства под уклон для сравнения разных типов покрышек, устанавливаемых на то же транспортное средство, использовали два микрофона, установленных с каждой стороны дороги. По четыре замера проводилось на скоростях: 45 км/час, 60 км/час, 80 км/час.

Из 24 полученных результатов строилась линейная регрессия (зависимость среднего значения какой-либо величины от некоторой другой величины или нескольких величин) для выведения изменения силы звукового давления как функции скорости. Учитывалась температурная коррекция.

В таких условиях было доказано, что измерения уровня звука таким методом дает погрешность +/- 0.2 дБ при скорости 60 км/час и +/- 0.5 дБ при скорости 45 км/час и 80км/час.

**Метод скатывания транспортного средства под уклон для количественного определения шума качения**

**A**

**A**

**B**

**B**

**Условия:**

1. задана скорость

дБ

1. отключен двигатель
2. отключено сцепление
3. один испытательный трек

log **V**

1. температурная коррекция

**Результат:**

1. линейная регрессия

## Базовый исследовательский подход к снижению шума качения

Снижение шума качения для производителей покрышек - трудная задача.

Поэтому, для получения ясного понимания различных физических явлений, участвующих в генерации и распространении шума, требуется фундаментальный исследовательский подход.

Одновременно с долгосрочным научным подходом, необходимо иметь быстрые результаты от исследований, чтобы обеспечить проведение, шаг за шагом, совершенствование дизайна покрышек с коммерческой целью.

Для снижения шума качения необходимо установить контроль над источниками и осознать комплексно окружающую среду, включая: дорогу, транспортное средство, условия качения.

Для этого надо изучить акустический механизм как генерации, так и распространения шума от движущегося источника в сторону от дороги и затем использовать полученные результаты для определения шумовых критериев.

Процесс имеет три фазы:

**фаза 1** - Выяснение:

Проблема анализируется экспериментально и теоретически для того, чтобы понять генерацию и распространение.

**фаза 2** - Прогноз:

После того, как проблема понята, надо суметь смоделировать ситуацию для того, чтобы прогнозировать дискомфорт в заданной ситуации, т.е. от глобального уровня шума вдоль дороги подойти к определимой комбинации шумов "покрышка+дорога+транспортное средство" при определенных условиях качения.

**фаза 3** - Поправка:

После того, как дискомфорт становится прогнозируемым, полученные знания могут быть использованы для достижения цели - улучшить концепцию покрышки для получения оптимального варианта желаемых эксплуатационных характеристик.

## Механизм генерации шума качения

Принципиальный фактор генерации шума - рисунок протектора покрышки.

**Шумовые механизмы:**

 Эффект рупора

ИСТОЧНИКИ

 Резонанс органной трубы

Генерация шума: Распространение шума:

Удары и вибрации Ближнее

Нагнетание воздуха Дальнее

### **Механизмы генерации:**

**Размещение источников выделения шума**

Размещение потенциальных источников шума на покрышке можно определить, используя акустическую фонограмму. Для этих целей используется плоская антенна с двойным микрофоном для изучения качения покрышки с постоянной скоростью по барабану в резонаторной камере.

При этом главные шумовые источники обнаруживаются на входе и выходе контактного следа.

**Явление механической вибрации**

В результате внезапного взаимодействия между неровностями дорожного покрытия и рисунка протектора генерируются ударные волны, создающие вибрационное возбуждение в протекторе покрышки.

**Явление внезапной релаксации на выходе**

На выходе контактного следа внезапная релаксация и вибрация блоков рисунка резинового протектора может также генерировать шум.

Определение:

*Релаксация* - ослабление, процесс установления динамического равновесия, полного или частичного, в физической системе, состоящего из большого числа частиц.

**Явление нагнетания воздуха**

На входе и выходе зоны контактного следа, воздух резко нагнетается под и выбрасывается из-под борозд рисунка протектора покрышки. Однако шум генерируется также и гладкой покрышкой, за счет нагнетания воздуха в неровности дорожного покрытия.

Более того, воздух, сдавленный в бороздах протектора в контактном следе умножает отраженные волны, что приводит к появлению резонанса подобно резонансу, возникающему в органной трубе.

### **Механизмы распространения**

**Ближнее распространение, эффект рупора**

Акустические волны, выделяемые на входе и выходе зоны контактного следа распространяются так называемым эффектом рупора по геометрии громкоговорителя, определяемой кривизной поверхности покрышки и поверхностью качения.

**Дальнее распространение**

Направленность источника, эффекты дифракции и характеристики акустического поглощения дороги должны также учитываться при прогнозировании видоизменения акустических волн при распространении в сторону от дороги.

# ОБЗОР III. Дорожное покрытие и механизмы распространения шума

## Основные принципы

Из детального изучения распространения можно сделать вывод, что, зная свойства дороги по акустическому поглощению, можно улучшить свойства покрышки и снизить шум качения. Контролируя только источник шума, можно получить неполную картину, если не учитывать, как генерированная акустическая волна распространяется от этого источника.

Предполагаем, что нам известно все об источнике шума и мы можем условно заменить его аналитическим эквивалентом, чтобы сконцентрировать внимание только на прогнозе изменения уровня шумового давления при распространении его в сторону от дороги.

Для прогнозирования необходимо характеризовать акустическое сопротивление дороги при различных типах дорожных покрытий.

Знание акустического сопротивления позволит разработать метод прогнозирования на основе быстрых, простых и не разрушающих дорогу измерениях.

Проведено много изучений по акустическим свойствам дороги.

Принцип, использованный при этих изучениях, прост:

1. получение данных измерений при испытаниях
2. обработка данных в соответствии с математической моделью
3. выведение результата по акустическому сопротивлению дороги как функции частоты.

## Экспериментальное изучение акустических свойств дорожного покрытия

### **Условия эксперимента**

Источник звука и микрофон помещаются на одинаковой высоте, 1.42 м от поверхности дорожного покрытия. Источник звука - точечный, имеющий широкий спектр частоты от 600 до 4000 Гц. Получатель не должен подвергаться постороннему акустическому излучению.

Измерения проводились для трех различных расстояний между источником и микрофоном: 4м, 6м, 8м.

### **Принцип эксперимента**

S1

(прямой источник)

(поверхность)

S2

(отраженный источник)

R

(микрофон)

Y1 - прямая волна

Y2 - отраженная волна

Зафиксированный результат в точке R включает как воздействие прямой звуковой волны в точке S1 в свободных условиях, так и воздействие отраженной волны, которая может рассматриваться как генерируемая источником отражения S2. Отраженная волна видоизменяется под воздействием звукопоглощающих свойств дороги.

Использовалась акустическое возбуждение в виде синусоидального колебания (колебание с монотонно изменяющейся частотой и постоянной амплитудой).

Зафиксированный результат представляет собой соотношение между звуковым давлением и напряжением возбуждения звука.

### **Математическая модель:**

Предполагается, что условия, влияющие на распространение поверхностных волн, незначительны.

Y = Y1 + v(G) Y2

Полное значение Y (акустический потенциал) представляет из себя сумму свободного значения Y1 и отраженного значения Y2. Потенциал Y2 корректируется значением v(G) которое выражено с учетом акустического сопротивления дорожного покрытия Z(w).

Y1 = exp ( jkR1 ) / R1

Y2 = exp ( jkR2 ) / R2

v(G) = [ cos (G) - 1 \ Z(w)] / {cos(G) + 1 / Z(w)]

Где, R1 (соответственно R2) является расстоянием между получателем R и прямым источником S1 (соответственно, отраженным источником S2) и k - номер волны.

Измеренный результат подставляется в вычисления частотной области в соответствии с теоретической зависимостью. Рассчитываются акустическое сопротивление дороги и коэффициенты поглощения и отражения.

##

## Результаты и последствия снижения шума контакта покрышка/дорога:

Метод применялся для ряда поверхностей, включая бетонное, травяное, пористый асфальт и битум.

Полученные результаты (с допустимой погрешностью 10%), позволили ранжировать поверхности дорожного покрытия и оценить их влияние на распространение шума контакта покрытие/покрышка.

Для четырех типичных поверхностей ранжирование по коэффициенту поглощения звука выглядит следующим образом:

коэф.поглощения

1.0

0.9

0.8

0.7

0.6

0.5

0.4

0.3

0.2

0.1

0

 40 80 120 160 200 240 280 320 360 400

- бетонная поверхность

- битумная поверхность

- травяная поверхность

- глинистая поверхность

Наиболее поглощающей звук поверхностью является глинистая, а наиболее отражающей - бетонная поверхность.

Влияние покрытия дороги на уровни шума качения при скорости 80 км/час.

дБ

80

75

70

80 км/ч

рыхлый песок

пористый

асфальт

асфальто-бетон

шерохова-тый слой

износа

# Взаимодействие: Покрытие - Покрышка - Автомобиль

## Слои износа

### **Роль слоя износа**

Функция дороги - обеспечивать проезд транспортных средств с максимальной безопасностью, а именно:

1. выдерживать нагрузки качения, соответственно, те вертикально направленные силы, которые при этом возникают. Эта функция обеспечивается слоями дорожной конструкции, роль которых - распределение вертикальных нагрузок на основание.
2. обеспечивать безопасность пользователя и комфорт при любой погоде и времени суток.

Эта функция обеспечивается слоем износа дорожного покрытия, который должен противостоять:

1. вертикальному напряжению и сдвигу от транспортного движения
2. осадкам (дождь, снег, лед)
3. воздействию противогололедных материалов
4. ультрафиолетовым лучам.

Таким образом, качественный слой износа должен выполнять тройную функцию:

1. защиту нижележащих слоев дорожного покрытия, от повреждения и особенно от проникновения воды и химических веществ.
2. обеспечение безопасности пользователя, создавая достаточное сопротивление заносу, независимо от типа покрышек, особенно на мокром покрытии.
3. комфорт водителя, предотвращая:
4. механическое напряжение колес транспортного средства,
5. вертикальное ускорение корпуса транспортного средства, вызывающее износ подвесок, покрышек, повышенное потребление горючего,
6. подбрасывание водителя на сиденье, что создает угрозу безопасности,
7. повышенный шум от движения транспортного средства и его распространение в сторону от дороги, создавая неудобства проживающим вблизи дороги.

### **Типы слоя износа**

Для того чтобы соответствовать всем требованиям с 50-х годов внедрялись различные технологии, и сегодня можно сказать какие преимущества и недостатки имеют эти технологии. На протяжении длительного времени слой износа был неотъемлемой частью дорожного покрытия и выполнял структурную функцию. Поэтому, он имел достаточную плотность и толщину до 8-10 см. Постепенно слой становился все более специфическим и улучшался специальными технологическими приемами.

#### **Поверхностная обработка**

Поверхностные обработки были разработаны и широко использовались для второстепенных дорог, используемых легким транспортом. Использование модифицированных битумов позволило расширить применение поверхностных обработок на главные дороги и автомагистрали с тяжелым движением, включая дороги с цементобетонными покрытиями.

Поверхностная обработки предусматривает розлив горячего вяжущего или вяжущего на основе битумных эмульсий, распределение поверх одного или нескольких слоев отсева (мелкозернистого щебня, каменной крошки) и укатки.

Преимущества, которые дает поверхностная обработка :

1. невысокие затраты и скорость обработки позволяют улучшать протяженные участки дорог
2. обеспечивается хорошая водонепроницаемость для защиты нижележащих слоев покрытия
3. достигается высокая степень сопротивления заносу

Недостатки, которые имеет поверхностная обработка:

1. комплексность метода требует от подрядчика знания ноу-хау
2. ограниченность сезона выполнения работ
3. риск выбивания частиц каменного отсева колесами из недавно выполненной обработки
4. ограничение потенциальных возможностей восстановить форму покрытия (устранения колеи)
5. макротекстура генерирует высокий уровень шума качения и относит поверхностную обработку к наиболее шумным типам поверхности дорожного покрытия.

Определение:

***Макротекстура***- особенности строения, обусловленные характером расположения составных частей (каменных зерен, вяжущего), видимых невооруженным глазом.

Были испробованы различные типы поверхностных обработок, включая:

1. Однослойную поверхностную обработку с одиночным или двойным распределением каменного материала
2. Двойную поверхностную обработку (два наложенных друг на друга слоя однослойной обработки)
3. Обработку по принципу "сандвич"
4. Утолщенная поверхностная обработка с каменным материалом, предварительно обработанным вяжущим в установке.

Устройство слоя износа из асфальтобетонной смеси - все еще наиболее распространенный процесс при содержании и строительстве покрытия.

Усовершенствования в методах устройства слоев износа, сделанные за последние 20 лет, создали возможность:

1. уменьшить толщину слоев
2. использовать модифицированные вяжущие и добавки для повышения экономичности и соответствия растущим нагрузкам от тяжелого транспорта.

*Толщина* - базовый параметр для классификации слоев износа из асфальтобетона, которая подразделяется следующим образом:

1. 4 см - тонкий слой износа
2. 2-3 см - очень тонкие слои износа
3. 1.5-2 см- ультратонкий слой износа, появившиеся недавно как промежуточная стадия между поверхностной обработкой и очень тонким слоем износа.

Слои износа из асфальтобетона различаются:

1. по типу вяжущего (модификации вяжущего с добавлением резины или полимер-модифицированные вяжущие и т.д.)
2. по типу добавок (волокна)
3. по гранулометрическому составу: их размеры обычно от 0-6, 0-10 или 0-14 мм.

Преимущества, которые дают тонкие и очень тонкие асфальтобетонные слои износа:

1. хорошая макротекстура (0.8 - 1.5 мм песчаная смесь)
2. стойкость к агрессивному внешнему влиянию (климат и транспортное движение)
3. удовлетворительная водонепроницаемость для защиты нижележащих слоев
4. способность к улучшению ровности
5. пониженный шум качения по сравнению с поверхностной обработкой

Если защиту нижних слоев обеспечить мембраной, которая действует еще и как связывающая прослойка, то может быть предусмотрено использование слоя износа из пористого асфальтобетона для усиления сопротивляемости заносу на мокром покрытии и для отвода воды не по поверхности покрытия, а внутри пористого слоя.

Уменьшение размеров выступающих зерен каменного материала значительно снижает шум качения, который поглощается взаимосвязанными воздушными пустотами внутри слоя.

Могут использоваться и другие типы слоев износа, среди которых:

1. Слой износа с каменной крошкой: втапливание мелкозернистого дробленого каменного материала в разлитое по поверхности вяжущее обеспечивает хорошие характеристики сопротивления заносу, но в то же время, усиливает шум качения.
2. Битумные эмульгированные гидроизоляционные мастики (смесь битума, заполнителя, песка и воды), смесь песка и битумной мастики, используемые в городских зонах, где скорости невысоки. Их уменьшенная толщина и размеры зерен заполнителя позволяют решать проблемы превышения пороговых значений шума транспортного движения.
3. Холодные микро асфальтобетонные смеси: чистая или модифицированная битумная эмульсия требует применения специального оборудования. Очень тонкие слои этого типа слоя износа обеспечивают сопротивление заносу, водонепроницаемость и снижение шума качения.

В случае покрытий из цементобетона, сборное покрытие из плит толщиной 18 - 25 см: работает одновременно как основание и слой износа.

Для улучшения поверхностных характеристик этих покрытий, разработаны несколько методов, среди которых:

1. обработка поверхности свежеуложенного бетона секущей щеткой или грубой джутовой тканью
2. устройство продольных или поперечных полос на схватившемся бетоне
3. втапливание каменной крошки во вновь уложенный бетон

Эти методы нацелены на обеспечение макротекстуры поверхности покрытия достаточной для сопротивляемости заносу. Одновременно увеличивается шум качения.

Совсем недавно очень тонкие слои износа из асфальтобетона и даже пористого асфальтобетона стали применяться на автомагистралях с цементобетонным покрытием как элемент работ по содержанию дорог для одновременного достижения сопротивляемости заносу и снижения шума качения.

### **Покрытие дороги и генерация шума качения**

Шум движения, генерируемый двигателями и трансмиссиями транспортного средства, в последние несколько лет был значительно сокращен за счет технологического прогресса. Шум качения, т.е. шум от контакта покрышки и покрытия, стал иметь большее значение в общем шуме от транспортного движения, особенно при скоростях свыше 50 км/час, что в городских зонах случается обычно ночью, когда дороги становятся более свободными.

Шум контакта покрышка-покрытие зависит от типа покрышки (рисунка протектора и т.д.) и типа слоя износа покрытия. Шум производится следующими явлениями:

1. "шум удара": генерируется от удара блоков рисунка протектора о поверхность слоя износа. Сила удара зависит как от геометрии рисунка протектора и каменного заполнителя слоя износа, так и макротекстуры слоя износа.
2. "закачивание воздуха": генерируется вибрацией воздуха в бороздах рисунка протектора от сжатия, происходящего из-за деформации покрышки.
3. "пробуксовка и прилипание": генерируется подобно шуму от "эффекта присоски" из-за захвата резиной покрышки зерен каменного заполнителя поверхности слоя износа.

Поэтому шум, генерируемый контактом покрытие/покрышка, очень значительно зависит от размеров зерен каменного заполнителя слоя износа.

Снижение шума от контакта покрытие/покрышка - задача непростая, потому что снижение шума от одного из явлений, может усилить шумовое влияние двух других.

Например, очень гладкий слой износа снижает явление "шума удара", но увеличивает шум от явления "пробуксовка и прилипание" и имеет слабое сопротивление заносу.

Дискомфорт, создаваемый окружающей среде шумом транспортного движения может оцениваться как общим индексом, так и замером шума от движения единичного транспортного средства.

В международной практике общий индекс обозначается LАeg и подразумевает постоянный шумовой уровень для определенного периода времени, который равен результату от реального процесса выделения шума.

Существует несколько методов измерения шума от катящейся покрышки, из которых основными являются:

1. ISO 362 - единственный стандартизированный метод измерения полного шума от разгоняющегося транспортного средства;
2. измерение внутри изолированного одноколесного прицепа, закрытого чехлом (Германия, Польша);
3. измерение с помощью микрофона около колеса транспортного средства;
4. метод спуска транспортного средства под уклон, когда скорость транспортного средства постоянна 60 или 80 км/час (двигатель выключен), а микрофон устанавливается сбоку от дороги;
5. Франко-Германский метод: шум качения измеряется с помощью микрофона, расположенного сбоку от дороги. Двигатель работает, и замеры делаются на разных скоростях в диапазоне от 70 до 110 км/час.

Наилучший результат - воспроизведение замеров с точностью плюс/минус 1 дБ. Сопоставимыми являются результаты, полученные в один и тот же период времени.

Замеры различных категорий уровней шума на основных типах слоев износа методом "спуска под уклон" показывают следующее:

1. Ц / б с а / б слоем износа

2. Ц / б и слой износа : отсев и битум

3. Холодные а / б смеси

4. Слои износа из пористого а / б

5. Однослойная пов. обработка

6. Двойная пов. обработка

7. Зубчатая поверхностная обработка

8. Цементобетон

дБ

80

75

70

График показывает, что различие между максимальным и минимальным значением довольно значительны, от 3 до 10 дБ.

В целом отмечается:

1. общий спектр шумовых уровней для всех типов слоев износа находится между 75 и 77 дБ
2. пористый асфальт является наименее шумным слоем износа.

### **Пористый асфальтобетон**

С учетом безопасности движения и комфорта, идеальный слой износа с хорошими эксплуатационными характеристиками означает компромисс между следующими параметрами:

1. сопротивляемость заносу
2. ровность
3. уровень шума
4. комфорт водителя (видимость разметки в дождливое время, ночью и т.д.)

**Сопротивляемость заносу**

При контакте покрышки и поверхности сухого покрытия возникают два типа силы трения, которые создают сопротивляемость заносу:

1. трение от деформации покрышки, увеличивающееся с увеличением скорости
2. трение от контакта покрытие-покрышка, снижающееся с увеличением скорости

Существует взаимосвязь между общей сопротивляемостью заносу и скоростью транспортного средства.

Измерения, проведенные на мокром покрытии, показывают, что присутствие воды на поверхности делает проблему более комплексной:

На тонких, очень тонких и ультратонких слоях износа из плотных смесей или на поверхностной обработке, поведение поверхности протектора при дожде может быть подразделено на три фазы в соответствии со спецификой зоны контакта покрытие - слой воды - след контакта покрышки:

1-ая зона: покрышка должна нарушить слой воды на покрытии и уменьшить его толщину. Большая часть воды разбрызгивается в стороны вдоль поперечных борозд рисунка протектора, а продольные борозды протектора и макротекстура слоя износа покрытия облегчают отвод воды.

2-ая зона: торможение, вызываемое оставшимся на поверхности слоем воды превышающим возможности макротекстуры и микротекстуры слоя износа покрытия. Торможение измеряется коэффициент усилия продольного торможения (CFL - Coefficient Force Longitudinal).

3-ая зона: контактная зона между покрышкой и слоем износа, чья результативность зависит от микротекстуры.

Определение:

***Микротекстура*** - особенности строения, обусловленные характеристиками использованного материала (прочностью каменных зерен, свойствами вяжущего), невидимые невооруженным глазом.

Для плотного слоя износа с низким содержанием пор, поддержание высокой степени сопротивляемости заносу требует соответствующей макро- и микротекстуры (твердого каменного заполнителя).

 1

 2

 3

 **3 ЗОНЫ**

**Зона эвакуации**

Макротекстура

К-т усилия продольного торможения

**Зона торможения**

Макротекстура/

микротекстура

К-т бокового усилия

К-т усилия продольного торможения

**Зона контакта**

Микротекстура

К-т ускорения полирования

В случае пористого асфальтобетона проблема сопротивляемости заносу меняется, поскольку вода на поверхности покрытия отсутствует.

Пористый асфальтобетон является удачным компромиссом между характеристиками сопротивляемости заносу и шумом качения.

Зона 3 становится наиболее важной зоной, предъявляя требование к микротекстуре по содержанию каменного заполнителя с высокой стойкостью против полирования колесами транспортных средств.

Зависимость между коэффициентом усилия продольного торможения и скоростью транспортного средства также демонстрирует лучшие характеристики покрытия из пористого асфальтобетона при высоких скоростях движения, чем другие типы слоев износа.

#### **Эксплуатационный принцип**

Подобно другим битумосодержащим слоям износа, пористый асфальтобетон состоит из трех компонентов:

1. каменного заполнителя
2. вяжущего
3. воздуха

По сравнению с обычной плотностью асфальтобетонных смесей, пористый асфальтобетон имеет на 20 и более процентов больше воздуха в своем составе за счет пор в толще слоя.

Поры подразделяются на три вида:

1. "Производительные" пустоты, сообщающиеся друг с другом и по которым просачивается вода.
2. "Полупроизводительные" пустоты, имеющие только единственную функцию впитывать и удерживать воду.
3. "Непроизводительные" пустоты внутри слоя, не имеющие сообщения с другими пустотами.

Для хорошего функционирования пористый асфальт должен иметь:

1. высокое содержание производительных пустот (не ниже 20%),
2. достаточную толщину слоя
3. способность продолжительное время сохранять свои свойства

Во время дождя, пористый асфальтобетон действует:

1. сначала как губка, впитывая дождевую воду и препятствуя образованию луж на поверхности дороги;
2. затем по капиллярам в толще асфальта вода просачивается в боковую дренажную систему.

Таким образом, слой износа из пористого асфальта снижает:

1. разбрызгивание воды из-под колес автомобиля
2. эффект гидропланирования, одновременно улучшая сопротивление заносу
3. эффект отражения света фар от поверхности мокрого покрытия
4. шум качения на 2 - 3 дБ по сравнению с асфальтобетонными смесями классической плотности, используемых для слоев износа.

Переход от а/б смесей обычной плотности к пористым асфальтобетонам не вызывает значительного увеличения затрат, если:

1. оба типа готовятся из тех же исходных материалов
2. на той же установке для приготовления смеси
3. используется одинаковое оборудование для укладки смеси
4. структура нижележащих слоев не меняется.

Из-за содержания воздушных пустот в пористых а/б смесях наблюдалось ускорение процесса окисления вяжущего, что снижало сопротивляемость смеси усталости и через определенный период делало ее хрупкой.

Благодаря использованию модифицированных вяжущих такие изменения удалось устранить.

#### **Состав смеси**

**Каменный заполнитель**

Для обеспечения содержания воздушных пустот не ниже 20% после открытия дорог для транспортного движения асфальтобетонная смесь должна иметь высокое содержание каменных зерен (6-10 или 10-14 мм), но небольшое содержание песка. Как правило, кривая гранулометрического состава находится между 2-6, 4-6 и даже 2-10. При задании подобного распределения по фракциям, важно осознавать риск расслаивания заполнителей в составе смеси.

**Вяжущие**

В последние годы производители вяжущих и дорожные строители провели ряд исследований по улучшению характеристик вяжущих для пористого асфальтобетона.

В результате на рынке вяжущих появился целый спектр продуктов, от традиционных битумов до модифицированных систем с высокими эксплуатационными качествами.

Определение:

***Модификация*** - видоизменение, характеризующееся появлением новых свойств путем регулирования молекулярной структуры (термической обработкой, введением химических добавок и т.д.).

Модифицированные вяжущие с полимерными добавками улучшают а/б смесь и придают ей:

1. меньшую уплотняемость под воздействием транспортного движения
2. уменьшение старения вяжущего в течение срока службы
3. большую вязкость для увеличения толщины обволакивающего слоя на поверхности каменного заполнителя.

Использование модифицированных битумов в Европе быстро растет и применяется для всех типов асфальтобетонных смесей.

**Разновидности пористого асфальтобетона в зависимости от типа вяжущего**

а) Пористый асфальтобетон на основе чистого битума

Кривая гранулометрического состава смеси обычно находится между 2 и 10 мм, но небольшое количество частиц (13-15%) может быть менее 2 мм.

Содержание битума 4.2 - 4.8 %. Это максимум, который может быть использован без риска текучести вяжущего и подвижности смеси при укладке и под действием транспортного движения.

В большинстве европейских стран, в основном, используется битум с пенетрацией 60/70. При исключительных обстоятельствах, могут допускаться битумы с пенетрацией 40/50, 80/100.

б) Пористый асфальтобетон на основе чистого битума с добавкой волокон

Эта смесь для слоев износа характеризуется содержанием битума 6% и более из-за добавления волокон, что позволяет увеличить ее вязкость. В случае, когда целью является увеличение толщины пленки вяжущего для увеличения долговечности и снижения разрушений, вызываемых водой и риск образования колеи.

Кривая гранулометрического состава каменного заполнителя находится между фракциями 0-14 и 0-10 с низким содержанием песка для обеспечения образования большого содержания воздушных пустот.

в) Пористый асфальтобетон на основе полимер-модифицированного битума

Вяжущее производится в заводских условиях и подразделяется на два основных типа в зависимости от типа добавок:

1. на основе термопластика SBS (styrene-butadene-sturene) эластомера
2. на основе EVA (ethylene-vinyl acetate) сополимера

Цель этих добавок - увеличение долговечности пористого асфальтобетона.

По сравнению с обычными битумами, битумы SBS и EVA имеют меньшую чувствительность к низким температурам, большую когезию и ряд других свойств. Содержание полимер-модифицированных битумов немного выше, чем обычных, от 4.5 до 5.6 %.

г) Пористый асфальтобетон на основе битума с добавкой порошка резины.

Вяжущее готовится в передвижной установке путем смешения порошка резины с битумом. Повышенная вязкость вяжущего позволяет увеличить его содержание до 6.5 %, в результате чего, тонкая пленка обволакивает большую площадь поверхности каменного заполнителя, улучшая долговечность и предотвращая расслоение смеси. Используется каменный материал фракции 0-10 мм с пониженным содержанием песка для получения необходимого количества воздушных пустот.

#### **Поведение пористого асфальта при эксплуатации**

Впервые пористые асфальтобетоны были предложены в 60-х годах, но только в 1977 был уложен первый опытный участок дороги. Начал широко применяться с 1985 года.

Только во Франции до конца 1990 года было уложено более чем 10 млн. м2 пористого асфальтобетона (около 200 км).

На практике, пористость снижается из-за грязи.

Загрязнению менее подвержены покрытия, по которым движется с высокой скоростью тяжелый транспорт, где очищающий эффект дает "явление присоски", возникающее на мокром покрытии под покрышками тяжелых автомобилей.

Практика показывает, что на автодороге с интенсивностью движения 6000 авт/сут и преобладающим тяжелым движением через 7 лет механическое поведение (сопротивляемость образованию колейности и расслоение) слоя износа все еще удовлетворительное.

На участках с интенсивным тяжелым движением и самоочищающим эффектом за счет высасывания воды и грязи из пор покрытия под действием покрышек, снижение пористости наблюдается 1 20% до 16% в первые 28 месяцев эксплуатации покрытия.

В последующий период содержание пустот стабилизируется на уровне 15%.

Соответственную эволюцию претерпевает и звукопоглощение покрытием.

В любом случае, звукопоглощающие свойства пористого асфальтобетона являются выше по сравнению с обычным за счет наличия внутри смеси "непроизводительных" воздушных пустот, куда не может попасть грязь, и которые продолжают выполнять свою функцию.

### **Содержание пористого асфальтобетона**

Практика показывает, чем менее интенсивно движение, чем оно легче, чем ниже скорости движения, тем быстрее засоряется пористый асфальтобетон.

Существуют два типа содержания пористого асфальтобетона:

1. промывка пористого асфальта водой под давлением чтобы сохранить высокую всасывающую способность асфальта. Требуется специальная техники и расчетные интервалы для проведения промывки.
2. проведение регенерации слоя износа для восстановления первоначальных свойств.

Метод регенерации может применяться к концу эксплуатационного периода пористого асфальтобетона

#### **Зимнее содержание покрытия из пористого асфальтобетона**

Из-за присутствия воздушных пустот слой пористого асфальта имеет более низкую теплопроводность, чем слой из классического асфальтобетона. В результате поведение поверхности покрытия имеет отличия при погодных условиях с резкой сменой температур. Мороз и образование льда не особенно увеличивается, но лед появляется раньше и остается дольше, чем на поверхности слоя из классического асфальтобетона. Разница в температуре покрытия по сравнению с обычными асфальтобетонами составляет +/- 2 ОС.

На сухом покрытии при температуре около 0 замерзание, в первую очередь, наблюдается по следу колес транспортного движения.

На мокром покрытии, лед формируется в виде более тонких пленок, чем на обычных покрытиях.

Снег проникает в поры и уплотняется колесами транспорта. Покрытие будет дольше оставаться белым, но это не обязательно означает снижение сопротивляемости заносу, поскольку контакт осуществляется между покрышкой и выступающим каменным заполнителем.

Поэтому график зимнего содержания и использования химических противогололедных продуктов требует учета специфики поведения пористых асфальтобетонов зимой.

В этом случае следует помнить, что преимущества пористых асфальтобетонов при дождливой погоде и шумопоглощающие свойства перевешивают незначительные изменения в привычках зимнего содержания дорог.

Статистика: 2% ДТП со смертельным исходом случаются из-за гололеда и 20% из-за мокрого покрытия.

# ОБЗОР IV. Вклад нефтяной промышленности в снижение транспортного шума

Вклад нефтяной промышленности в снижение транспортного шума заключается в разработке подходящего состава вяжущего для пористого асфальтобетона.

Производители битумов, в последние годы, сфокусировали свои исследования на изучении взаимодействия между частицами каменного заполнителя и вяжущим с целью получения подходящего материала, удовлетворяющего повышенным требованиям.

## Основные проблемы

Главными областями исследований являются следующие:

1. как предотвратить уплотнение асфальтобетона под воздействием движения тяжелых транспортных средств
2. как уменьшить засорение пор, связанное с износом дорожного покрытия
3. как предотвратить отслаивание вяжущего от поверхности каменного заполнителя при транспортировке смеси от места приготовления смеси до строительной площадки
4. как предотвратить отслаивание вяжущего от поверхности каменного заполнителя при эксплуатации покрытия.

Проверка каждого из этих факторов обусловливает основные свойства вяжущего и его оптимального содержания в смеси.

### **Уплотнение**

Для пористых асфальтобетонов, проектный состав имеет критическое значение для обеспечения высоких эксплуатационных качеств. Однако, даже при хороших проектных характеристиках, уплотнение под воздействием нагрузок от движения тяжелых транспортных средств неизбежно и приводит к увеличению деформации вяжущего.

Если нагрузку убрать, деформированный участок восстанавливается как следствие эластичности вяжущего. Для обычных вяжущих (чистый битум с недостаточной эластичностью), чем выше интенсивность движения тяжелых транспортных средств, тем быстрее происходит уплотнение слоя износа.

Эластичность битума снижается с повышением температуры (практически для всех битумов), поэтому, уплотнение увеличивается с повышением температуры.

Использование высокоэластичного вяжущего уменьшает чувствительность пористого асфальтобетона к уплотняющему воздействию транспортного движения, увеличивая долговечность покрытия.

Способность к уплотнению пористого асфальтобетона снижают добавкой полимер-модифицированных битумов, увеличивающих жесткость вяжущего и тем самым снижающих его текучесть при высоких температурах.

### **Загрязнение пор**

Наиболее общей проблемой пористого асфальтобетона является очень быстрое загрязнение пор транспортным мусором, таким как:

1. резина от покрышек,
2. листья, пыль, почва,
3. выкрашивающиеся частицы каменного заполнителя и другие продукты износа дорожного покрытия.

По мнению некоторых дорожных властей, наиболее эффективным решением является проектирование смеси с очень высокой пористостью, обеспеченной еще большим количеством пустот, чем 20%. Смесь такого состава менее подвержена проникновению транспортного мусора.

Однако, чем больше пористость смеси, тем больше требований предъявляется к вяжущему в отношении поверхностного обволакивания каменного заполнителя и сопротивления уплотнению. Большее количество воздуха в смеси также способствует старению вяжущего. Необходимо, чтобы скорость старения вяжущего была сведена до минимума.

На дорогах с высокой интенсивностью движения тяжелого транспорта, воздействие покрышек вызывает эффект самоочищения слоя износа от транспортного мусора, тем самым сохраняя дренирующую способность асфальтобетона.

Пористая асфальтобетонная смесь подходящего состава, уложенная на главных дорогах или автомагистралях, будет сохранять дренирующую способность, по крайней мере, 7-8 лет до критического уплотнения и загрязнения пустот. Следует также заметить, что на обеспечение шумопоглощающего эффекта потеря водоотводящих свойств из-за загрязнения пустот не оказывает особого влияния.

Пример

Некоторые покрытия во Франции из пористого асфальтобетона имеют пористость 10-12 % (имея неудовлетворительную дренирующую способность), но при этом обеспечивают удовлетворительное снижение шума от контакта покрытие/покрышка.

### **Старение**

Старение пористого асфальтобетона связано с окислением вяжущего. Поскольку пористый асфальтобетон имеет высокое содержание пустот, большая поверхность подвержена воздействию воздуха. Следствием этого является быстрое старение вяжущего. Когезия стареющего битума уменьшается, что приводит к потере сцепления вяжущего и зерен каменного заполнителя. Существует два потенциальных решения этой проблемы:

1. использовать вяжущее, мало подверженное окислению
2. обеспечить большую толщину битумной пленки вокруг каменного заполнителя для уменьшения площади контакта с воздухом. Однако, увеличение толщины пленки влечет за собой другие проблемы:
3. чрезмерное дренирование (стекание) вяжущего от каменного заполнителя во время транспортировки асфальтобетона до места укладки (когда смесь теряет однородность)
4. более быстрое уплотнение под действием транспорта, поскольку толстая пленка является более текучей в вязком состоянии. Особенно это касается вяжущих, в которых отсутствуют эластомерные добавки.

Таким образом, для избежания этих проблем, большое значение имеет правильный подбор вяжущего.

### **Дренирование вяжущего**

Дренирование вяжущего - наиболее распространенная проблема пористого асфальтобетона. Во время транспортировки, если количество вяжущего в смеси превышает норму (в зависимости от вязкости вяжущего), некоторое его количество будет дренироваться (стекать) от каменного заполнителя, сверху вниз, на дно грузовика (этот процесс носит название "сегрегация" (разделение)).

Вследствие этого, когда уложенная на месте смесь остынет, окажется, что содержание вяжущего в некоторых областях объема смеси очень низкое.

В результате - быстрое старение вяжущего в этих областях и, недостаточная когезия из-за уменьшения толщины слоя обволакивания каменного заполнителя.

Некоторые лаборатории (например, лаборатория TRRL в Великобритании) разработали тесты по дренированию вяжущего с целью оптимизации содержания вяжущего в смеси. Очень эффективной мерой по снижению дренирования вяжущего является повышение его вязкости при температуре транспортировки за счет использования модифицирующих добавок, таких как: эластомеры, полимеры или растительные волокна. Чистым эффектом от увеличения вязкости битума при высоких температурах будет:

1. уменьшение дренирования вяжущего от каменного заполнителя
2. обеспечение требуемой толщины битумной пленки и высокой когезии с каменным заполнителем

Оба эти результата приводят к увеличению продолжительности срока службы пористого асфальтобетона.

### **Расслоение**

Вследствие увеличения площади контакта обработанного вяжущим каменного заполнителя с водой (в пористом асфальтобетоне), происходит отслоение вяжущего от поверхности каменного заполнителя. Эта проблема особенно характерна для районов с повышенной влажностью. Очень важно обеспечивать долговременную адгезию вяжущего с каменным заполнителем. В этой связи эффективным решением является применение специальных добавок, увеличивающих адгезию и, тем самым, повышающих эксплуатационный срок службы. Для увеличения адгезии чаще всего используют гашеную известь (минеральный порошок).

## Эксплуатационные свойства пористого асфальтобетона

Большое внимание уделяется таким специфическим свойствам вяжущего для пористого асфальтобетона как реология, старение и адгезия.

Многие решения по вышеуказанным проблемам предложены нефтяной промышленностью и включают в себя: использование битумов обычного состава, полимер-модифицированных битумов и битумов, содержащих органические и минеральные добавки. Но ни одно из предложенных решений не является универсальным. Это может быть связано с комплексностью проблемы, включающей в себя два главных фактора:

1. Во-первых, широкая область применения таких покрытий (от городских дорог с преобладающей интенсивностью движения легкого транспорта до европейских автомагистралей с движением тяжелых контейнеровозов)
2. Во-вторых, широкий спектр климатических условий Европы

### **Основные важные характеристики вяжущего для пористого асфальтобетона**

Для обеспечения удовлетворительного срока службы пористого асфальтобетона, вяжущее должно полностью удовлетворять определенным критериям.

#### **Реология**

Очевидно, что реология вяжущего представляет собой первостепенную важность. Требуется вяжущее, которое не будет дренироваться от каменного заполнителя при транспортировке, обеспечит удобоукладываемость смеси и эксплуатационные свойства в широком диапазоне температур окружающей среды.

Очевидно, что эти реологические требования более актуальны в странах и регионах, где диапазон температур очень широк.

В этом случае вяжущее должно обладать:

1. высокой сопротивляемостью уплотнению при высоких температурах летом
2. низкой хрупкостью при низких температурах зимой.

В районах, где диапазон колебания температур широк, хорошо зарекомендовали себя вяжущие на основе модифицированных битумов, обладающих хорошими пластичными свойствами и пониженной восприимчивостью к перепадам температур.

Реологические свойства обычных битумов определяются следующими измерениями:

1. Пенетрация при 25 ОС
2. Точка размягчения, определяемая по методу “кольцо и шар”
3. Вязкость при различных температурах

Хотя эти тесты довольно точно позволяют определить реологические свойства обычных битумов, они не могут с абсолютной точностью определить свойства пластичных битумов (с эластомерными добавками).

Реологические характеристики этих вяжущих при температуре окружающей среды не могут быть описаны с помощью традиционных тестов по определению пенетрации и точки размягчения.

#### **Адгезия**

Вяжущее в пористом асфальтобетоне должно обеспечивать хорошую адгезию с каменным заполнителем в течение всего срока службы покрытия, для сохранения его эксплуатационных качеств при любых условиях (влажности, перепадах температур).

Для обеспечения лучшей адгезии необходимо использовать специальные добавки для улучшения влагостойкости, поверхностно-активные вещества (ПАВ), полимер-модифицированные добавки.

Существует много тестов для измерения адгезии вяжущего по отношению к каменному заполнителю. При воспроизведении результатов тестов важным фактором является характеристика поверхности каменного заполнителя. Поэтому при проведении испытаний необходимо подобрать “стандартный” каменный материал. Выбор “стандартного” каменного материала затруднен из-за большого разнообразия образцов с различными поверхностными характеристиками, даже из одного карьера. В качестве решения предложено провести серию тестов с использованием стандартного вяжущего но разных образцов каменного заполнителя, с последующей корреляцией результатов.

#### **Старение**

Быстрое старение вяжущего является специфической для пористого асфальтобетона проблемой. Для решения этой проблемы предлагается использовать анти-окислители. По мнению некоторых специалистов, использование утилизированных автомобильных покрышек в качестве добавок к вяжущему обеспечиваем замедление процесса старения, поскольку резина сама по себе является анти-окислителем. Кроме того, срок службы покрытия можно увеличить за счет увеличения толщины битумной пленки, обволакивающей каменный заполнитель.

В США существует иное мнение по поводу использования резиновой крошки от отработанных покрышек, сформировавшееся по данным наблюдений за участками дорог с добавкой резины.

Наличие резины в составе смеси не позволяет повторно использовать (регенерировать) уложенную асфальтобетонную смесь и поэтому приводит к дополнительным издержкам в процессе содержания дорог.

Степень старения битума обычно оценивается по изменениям их свойств проведением специальных тестов: RTFOT , TFOT, DIN.

Все эти методы позволяют определить изменения в свойствах битума для случаев, когда битум добавляется к очень горячему каменному заполнителю в асфальтобетонной установке, но не для случая, когда он пролежит уже несколько лет в покрытии.

Учитывая, что в пористом асфальтобетона очень большая часть поверхности открыта для проникновения воздуха, очень важное значение имеет феномен старения в процессе эксплуатации. К сожалению, для изучения этого процесса пока еще не существует подходящих тестов.

### **Спецификации**

В настоящее время не существует универсального соглашения на спецификации вяжущего для пористого асфальтобетона. В большинстве стран, где используется пористый асфальтобетон, применяются традиционные тесты по испытанию битумов, которые, к сожалению, не позволяют адекватно определить важные эксплуатационные критерии, необходимые для выбора вяжущего для пористого асфальтобетона. Однако установлено, что любые спецификации для вяжущего в пористом асфальтобетоне должны включать в себя тесты на измерение реологических свойств, адгезии и старения, а также тест по сохранению стабильности. Для вяжущих, пластичные свойства которых имеют большое значение для характеристики способности к уплотнению, обязательным должен быть тест на определение пластичности (испытание проводиться на дуктилометре).

В настоящее время, вопрос спецификации для битумных вяжущих, включая вяжущие, используемые в пористом асфальтобетоне, решается Комитетом TC19 SCI. Ожидается, что будут даны конкретные рекомендации для Европейских спецификаций битумов, и некоторые из них окажутся подходящими для использования с пористыми асфальтобетонами.