



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
**РОСДОРНИИ**

# Асфальтобетон и направления его совершенствования (обзор мировых исследований)

**Игнатъев Алексей Александрович**

Доктор технических наук,

Директор департамента развития отраслевого образования

ФАУ «РОСДОРНИИ»



Рынок современных композиционных материалов развивается бурными темпами с учетом высокой потребности со стороны пользователей.

Композиционные материалы распространены во всех отраслях промышленности, включая дорожное хозяйство

По данным **Fortune business insights** мировая строительная отрасль является крупнейшим в мире потребителем композиционного сырья с темпом расширения **4,2% в год**

## Рынок графита

В 2023 году размер рынка графита составил 13,60 млрд. долларов

К 2028 году планируется увеличение рынка **более чем в два раза до 30 млрд. долларов**

Графит эффективно внедряется в композиционные материалы, в том числе и в асфальтобетон

## Рынок Углеродного волокна

В 2023 году размер рынка углеродного волокна составил 2,97 млрд. долларов

К 2028 году планируется увеличение рынка не менее чем в два раза

Стоимость углеродного волокна пока препятствует его широкому эффективному распространению

## Базальтовое и стекловолокно

К 2026 году рынок вырастет в 1,5 раза

Волокно активно внедряется в композиционные материалы

Активно применяется для уменьшения огнестойкости строительных материалов и для армирования композитов

# СОСТАВ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

## Классический состав асфальтобетонной смеси:

1 Вяжущее – Битум (Б)

2 Минеральные компоненты:

Крупный заполнитель - Щебень (Щ)

Мелкий заполнитель - Песок (П)

Минеральный порошок (МП)

## Современные многощебенистые асфальтобетонные смеси:

1 Модифицированное вяжущее – Битум (БМ)

2 Минеральные компоненты:

Крупный заполнитель - Щебень (Щ)

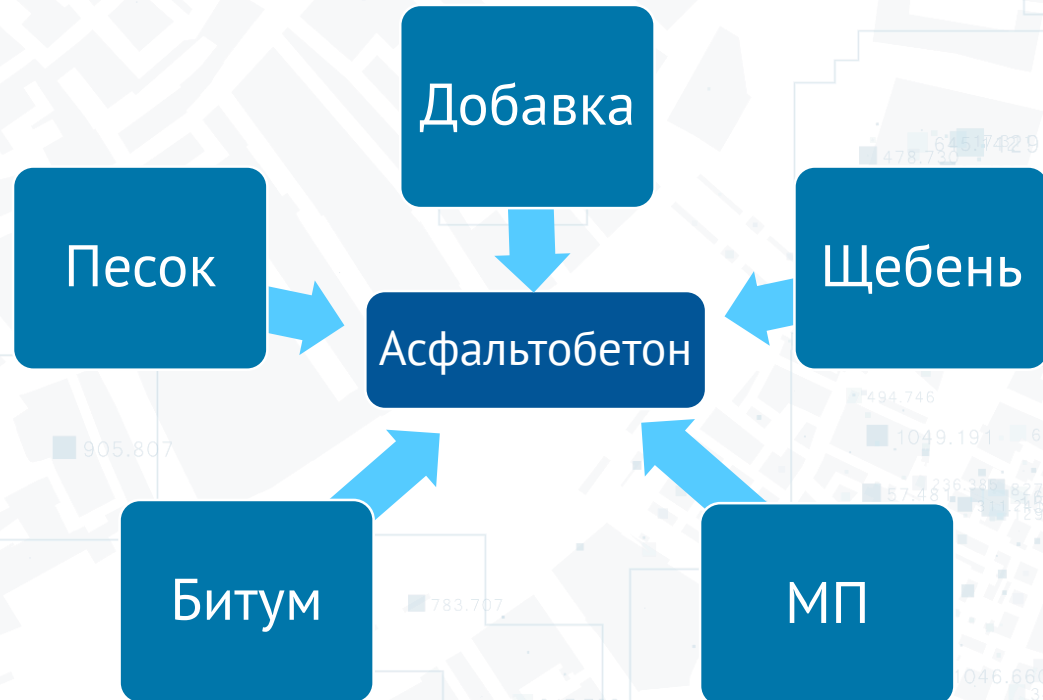
Мелкий заполнитель – Отсев дробления (Мелкий Щ)

Минеральный порошок (МП)

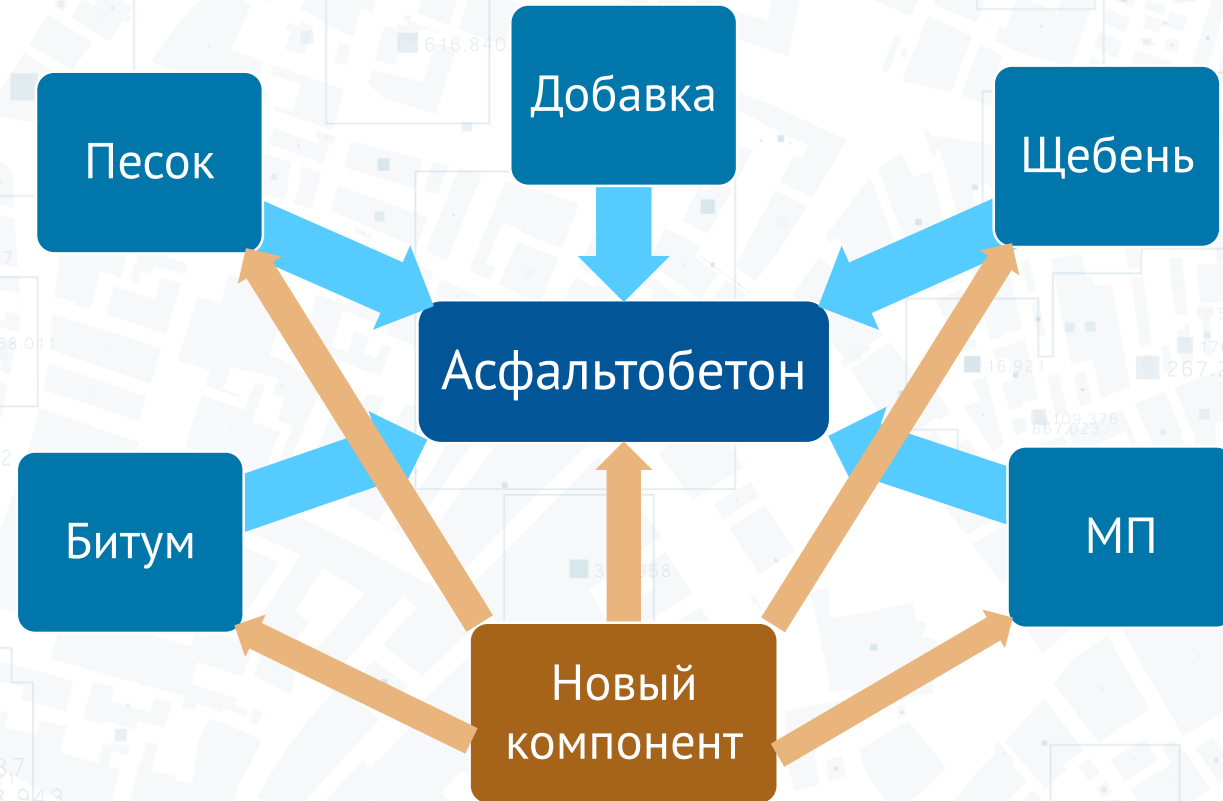
Добавки – Стабилизирующие добавки (Д)

# СОСТАВ АСФАЛЬТОБЕТОНОВ

## Традиционный состав



## Исследуемый состав





**Традиционный вариант:**

Щ+П+МП+Д+БМ = 5 компонент (классика)

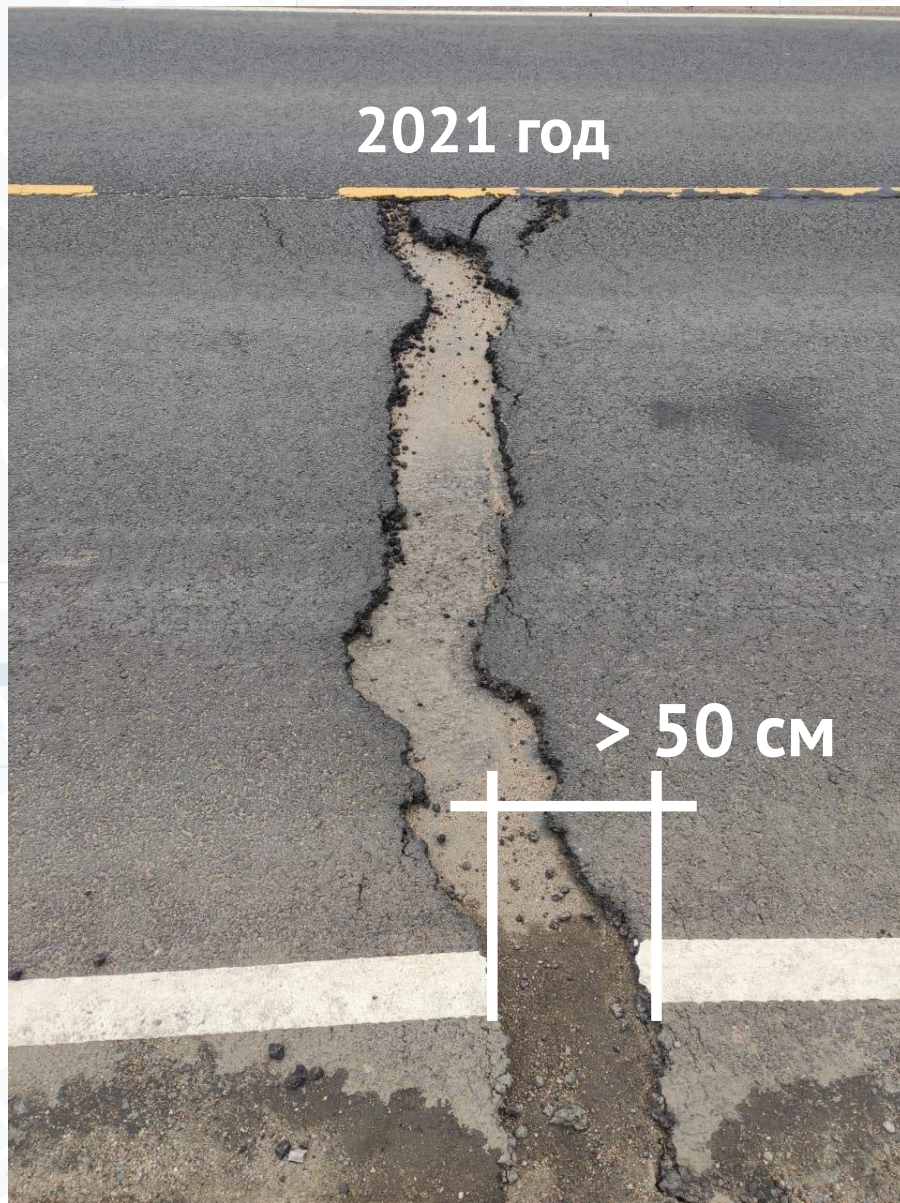
**Современные исследования:**

6 компонент (замена или частичная замена мин. наполнителя)

7 компонент (дополнительная модификация вяжущего)

8 компонент (дополнительная добавка к уже имеющейся)

N компонент



Асфальтобетонная смесь была уложена в сентябре 2020 года

Методология Маршала

Битум модифицированный полимерами (тип полимера не известен)

Разрыв произошел в марте 2021 года на одной полосе движения

Участок горизонтальный, без спусков и подъемов

Нижний слой покрытия не поврежден

Глобальные вызовы	Требования к материалам
<b>Экология</b>	
Снижение антропогенной нагрузки на природу (CO <sub>2</sub> , отходы и др.)	1 Возможность эффективного использования отходов и вторичных материалов;
Рециклинг (замкнутый цикл использования материалов)	2 Укладка в теплом и холодном состоянии;
Снижение объемов накопления отходов и их вторичное применение	3 Упорядоченная структура;
Снижение вредного воздействия на живые системы	4 Многофункциональность материала;
<b>Экономика</b>	5 Возможность проектирования свойств под заданные условия эксплуатации («ЛЕГО»);
Снижение издержек при производстве материалов	6 Стабильные и однородные свойства готового материала;
Круглогодичный цикл производства	7 Круглогодичное производство и длительное хранение (более 3-х лет);
Получение выгоды от утилизации отходов (замкнутый цикл)	8 Внутреннее преднапряжение.
Взаимозаменяемость компонентов	
Эффективное использование ресурсов	
<b>Материалы</b>	
Способность материала стабильно работать в изменяемых условиях	
Долговечность, стабильность и однородность свойств	
Повышенные эксплуатационные характеристики, пред напряженные характеристики	

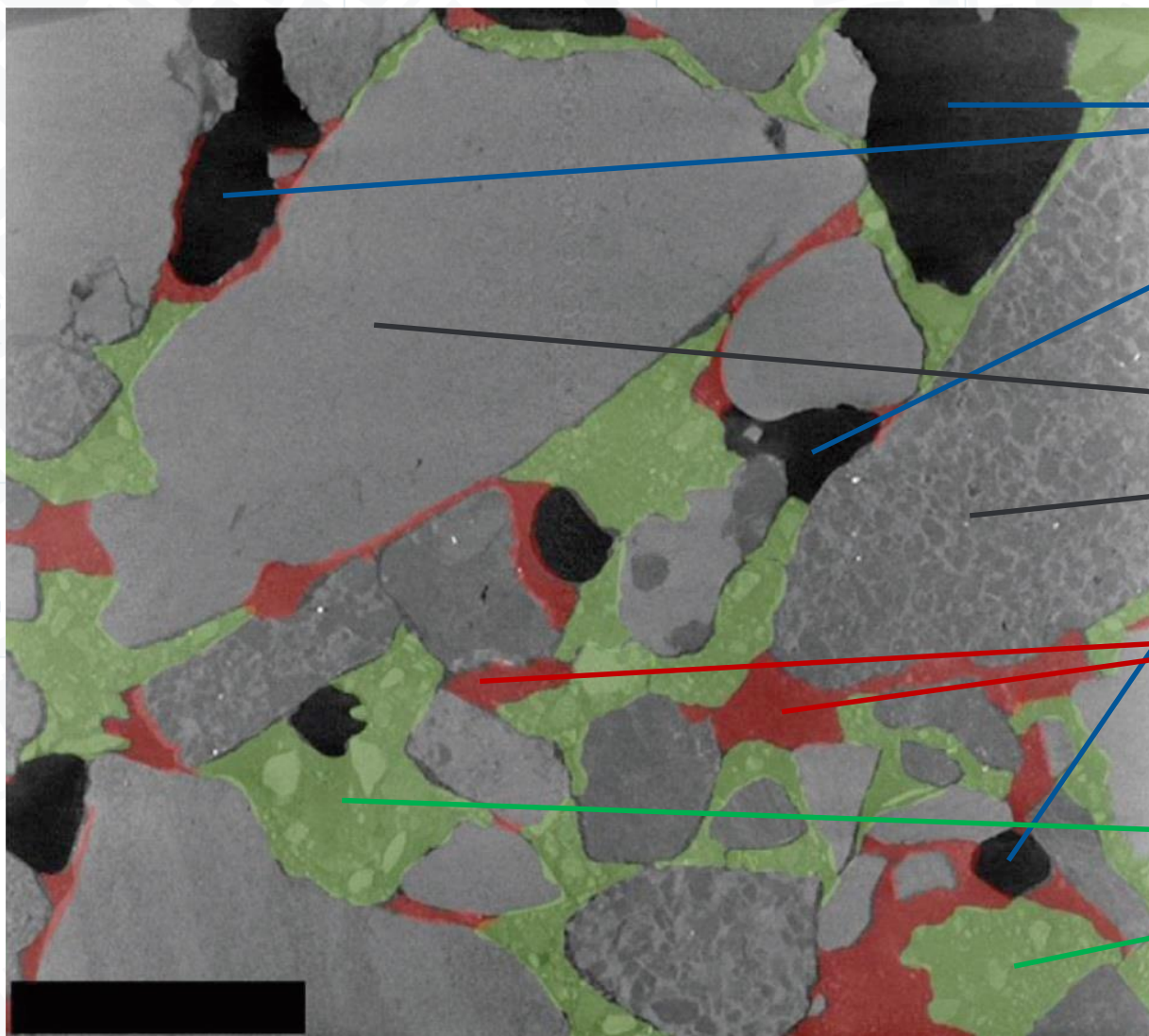


# НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ



- ✓ Качество смеси напрямую зависит от времени перемешивания.  
**В среднем время смешения составляет от 30-60 сек**
- ✓ В смеси могут встречаться **не промешанные агломераты** минеральных компонент и битума
- ✓ **Битум** пребывает в объемном состоянии, частицы минерального порошка **«плавают»** в нем не обеспечивая структурирование системы
- ✓ Для структурирования битума сегодня применяют **стабилизирующие добавки** (асбестовые, на основе целлюлозы и др.)
- ✓ При традиционной технологии приготовления асфальтобетонных смесей **наличие пор обязательно**
- ✓ **Традиционная технология** рассчитана на сезонное производство продукции (7-8 месяцев в году)

# НЕДОСТАТКИ ТРАДИЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ



Воздушные поры

Каменный материал  
(щебень)

Битум

Асфальтовяжущее  
вещество  
(битум+мин.порошок)

# ТРАДИЦИОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ

Щебень

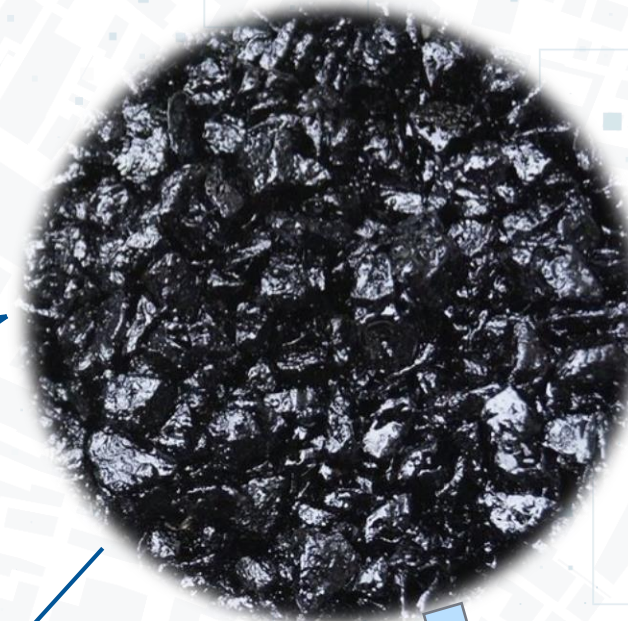


55-85%

Песок (отсевы)



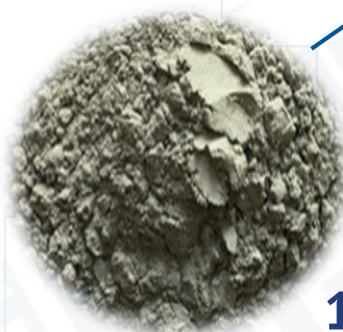
5-20%



Щебеночно-мастичный асфальтобетон

Поры от 2 до 6%

Минеральный порошок



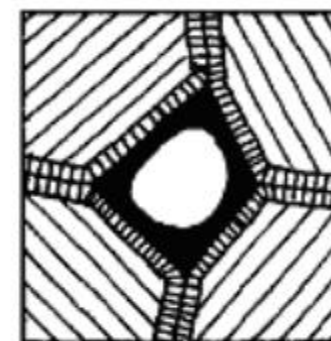
10-15%

Битум

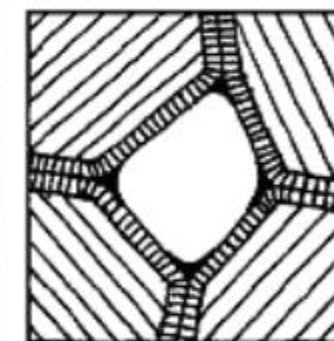


6-8%

Типы двухкомпонентной структуры



Поровая



Контактно-поровая

Традиционная  
технология смешения



Структурирование  
компонентов



По мнению академика П.А. Ребиндера \*1

«Самый простой путь повышения прочности любого твердого тела состоит в измельчении его до частиц, по порядку величины соответствующих расстояниям между ними. Если такие частицы склеить тончайшими, а потому тоже высокопрочными прослойками, полученный материал будет плотным, высокопрочным и долговечным».

**В этой связи, требуется разработка новых технологических режимов приготовления и технологий получения смесей**

1. Ребиндер, П.А.. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Ч. Физико-химическая механика. – М.: Наука, 1979. – 469 с.

## ВИДЫ ДОБАВОК



### Минеральный порошок

#### Гидратная известь

#### University of Baghdad. Amjad Albayati и др. (Ирак)\*

В ходе исследований авторы установили, что асфальтобетон с использованием гашеной извести для частичной замены традиционного минерального порошка в количестве **2,5% от общего веса** всех заполнителей имеет оптимальное значение для улучшения основных механических свойств асфальтобетона.

Улучшаются показатели при температуре **60 град.** Цельсия на сопротивление колееобразованию, **до 2%.**

Улучшаются показатели по морозостойкости, также в **пределах 2%**

#### Сажа (технический углерод)

#### Ege University. Perviz Ahmedzade и др. (Турция)\*\*

Результаты, полученные в ходе испытаний, показали, что сажа в количестве **50% от массы** минерального порошка улучшает механические свойства асфальтобетона и повышает его устойчивость к колее. Колея снизилась **на 18%**

\* [https://www.researchgate.net/publication/360781559\\_Size\\_Effect\\_of\\_Hydrated\\_Lime\\_on\\_the\\_Mechanical\\_Performance\\_of\\_Asphalt\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/360781559_Size_Effect_of_Hydrated_Lime_on_the_Mechanical_Performance_of_Asphalt_Concrete)

\*\* [https://www.researchgate.net/publication/288859091\\_Use\\_of\\_Carbon\\_Black\\_as\\_Filler\\_in\\_Asphalt\\_Concrete](https://www.researchgate.net/publication/288859091_Use_of_Carbon_Black_as_Filler_in_Asphalt_Concrete)

## Волокнистые добавки (фиброасфальтобетоны)

### Природные волокна

Jimma University. Abubakir Jemal's и др. (Эфиопия)\*

В ходе исследований авторы установили, что введение в асфальтобетон бамбукового волокна в количестве **0,3% от массы** заполнителей увеличивает **устойчивость к колееобразованию на 16-20%**.

Введение в асфальтобетон волокна сахарного тростника **в количестве 0,3%** от массы заполнителей увеличивает устойчивость к колееобразованию **на 6-8%**.

Обе добавки значительно повысили прочность на растяжение при изгибе

Обе добавки улучшили показатели жесткости по Маршалу (сопротивление пластическому течению)

При этом **возрастает битумоемкость на 3%-5%**

**Похожие исследования с волокнами кукурузных стеблей проводили коллеги из Южной Кореи, Hanyang University. Min-Jae Kim и др. (0,5% от массы и длина волокна 12 мм)\*\***

Бамбуковое волокно



Волокно сахарного тростника



\* The comparative study on the performance of bamboo fiber and sugarcane bagasse fiber as modifiers in asphalt concrete production (researchgate.net)

\*\* Enhancing mechanical properties of asphalt concrete using synthetic fibers | Request PDF (researchgate.net)

### Волокнистые добавки (фиброасфальтобетоны)

#### Природные волокна

Аналогичные исследования проводились коллегами из **Пакистана**, но для Джутового волокна. Введение **0,5% волокон** от массы минеральной части увеличивает устойчивость к **колеобразованию на 25-29%**

При этом возрастает **битумоемкость на 4%-5%**

#### Стальные волокна (фибра)

Аналогичные исследования они проводили для стальных волокон диаметром от **0,3 мм до 1,1 мм** и длиной от **15 до 50 мм** вводимых сухим методом. К сожалению авторы не достигли ожидаемых результатов, поскольку готовая смесь оказалась неустойчивой, **но в части электропроводности были выявлены уникальные свойства готового покрытия** и по мнению авторов эта область является чрезвычайно революционной

#### Стекловолокно

**Китайские** коллеги из **Hebei University of Engineering** проводили исследования образцов асфальтобетона с включением стекловолокна **длиной 12 мм** и удельным весом **2,5 гр на см<sup>3</sup>**. Было отмечено значительное сопротивление колеобразованию. При этом, при **содержании 0.3%** от массы минеральной части стекловолокно не оказывает влияние на жесткость смеси по Методологии Маршала.

## Волокнистые добавки

### Бруситовое, базальтовое и полиэфирное волокно

Chang'an University. Rui Xiong и др. (Китай, США)\*

В ходе исследований авторы установили, что **Бруситовое волокно** по сравнению с базальтовым и полиэфирным **значительно лучше сохраняется во влажной среде**, создает пространственный каркас, **обеспечивающий повышение адгезии вяжущего**, повышается термостойкость и восприимчивость к влаге.

Введение бруситового, базальтового и полиэфирного волокна способствует **повышению устойчивости к колеобразованию** при высоких температурах.

### Фибра из вторичных пластиковых бутылок (полиэтилентерефталат)

Bayero University. Kabiru Abdullahi Ahmad и др. (Нигерия)\*\*

Результаты, полученные в ходе испытаний, показали, что **фибра из питьевых бутылок** значительно **увеличила стойкость к коле** при низких температурах и умеренно увеличился модуль упругости при высоких температурах. **Наилучшие результаты при содержании 0,7% от общей массы минеральной части**



\* Laboratory investigation on the brucite fiber reinforced asphalt binder and asphalt concrete | Request PDF (researchgate.net)

\*\* Reinforcement of Asphalt Concrete Mixture using Recycle Polyethylene Terephthalate Fibre (researchgate.net)



## ВИДЫ ДОБАВОК

### Графитовый порошок и стальная фибра

Université de Ghardaia. Mosbah Messaoud и др. (Алжир)\*

В ходе исследований авторы установили, **электропроводность асфальтобетона** может быть улучшена путем добавления **стальных волокон или графита**.

**Стальные волокна в количестве 1%, длиной 0,7 – 1,0 см, диаметром 0,1 мм** делают асфальтобетон проводником и являются эффективным средством **для повышения прочности асфальтобетона** на растяжение, рассеиваемой энергии и модуля пластичности.

**С увеличением процентного содержания графита** прочность на растяжение и рассеиваемая энергия увеличиваются, но модуль пластичности снижается.

Асфальтобетон с графитовым порошком способствует повышению механических свойств, **но эта добавка в количестве 35% не подходит** для создания **проводящего асфальтобетона без стальной фибры**.

Исследования продолжают для поиска **оптимального сочетания** стальных волокон и графита и способного улучшить электрические и механические свойства асфальтобетона в будущих исследованиях.



\* The Effect of Adding Steel Fibers and Graphite on Mechanical and Electrical Behaviors of Asphalt Concrete (researchgate.net)

## ВИДЫ ДОБАВОК

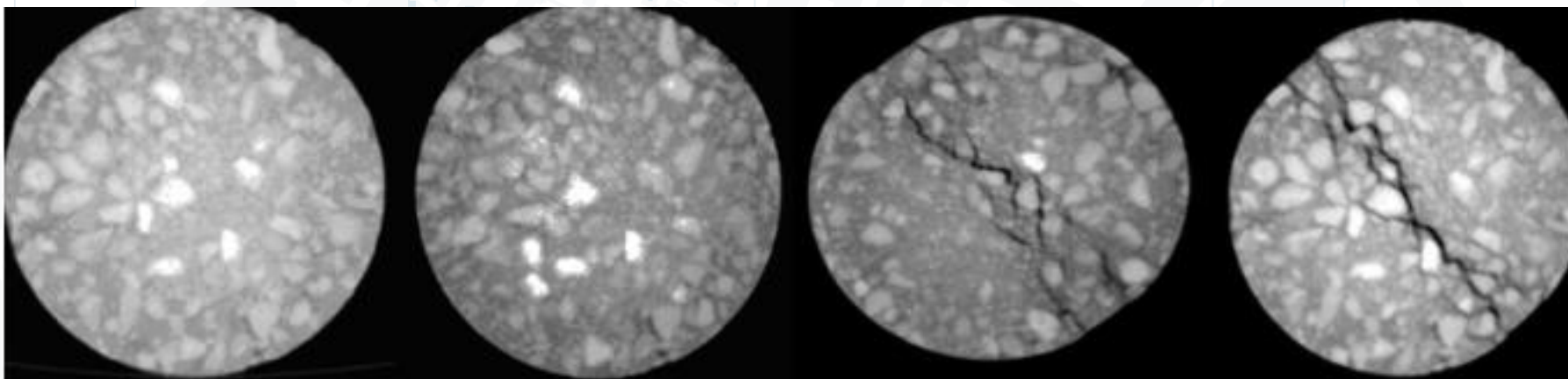
### Графитовый порошок и углеродное волокно

Central South University. Xiaoming Liu и др. (Китай)\*

В ходе исследований авторы установили, что Токопроводящий асфальтобетон с **22,5% количеством графитового порошка** от объема минерального порошка и **1% углеродного волокна** может **эффективно диагностировать собственные деформации** в процессе нагружения включая и возникающие повреждения (трещина в покрытии).

При изучении характера разрушения установлены три стадии:

- 1 повышение контакта между волокном и графитом с повышением проводящей способности
- 2 деформация образца небольшим ростом удельного сопротивления
- 3 разрушение образца к резким увеличением удельного сопротивления



\* The Effect of Adding Steel Fibers and Graphite on Mechanical and Electrical Behaviors of Asphalt Concrete (researchgate.net)

## ВИДЫ ДОБАВОК

### Углеродное волокно и сажа

Afyon Kocatepe University. Cahit Güreer и др. (Турция)\*

В ходе исследований авторы **разрабатывали интеллектуальную систему защиты от обледенения** путем повышения электропроводности и механических свойств асфальтобетона.

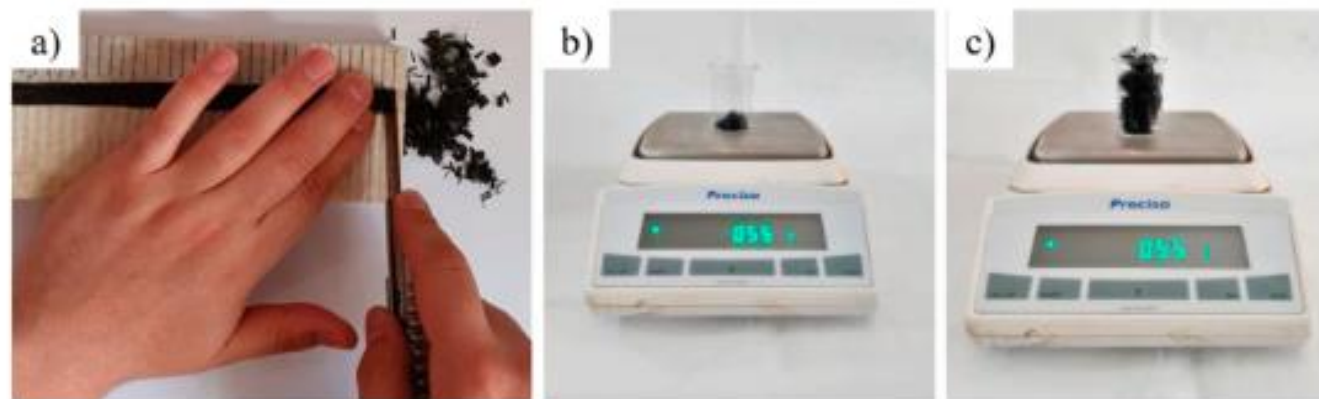
Использовалось **битумное вяжущее, модифицированное 3% SBS и 14% сажи (CB)**. В сухую смесь минеральной части было добавлено **0,3% углеродного волокна (CF)** по весу.

Проводились **испытания на теплоотдачу, таяние льда и снега**, замерзание и электропроводность при нагревании.

Полученный асфальтобетон с учетом его электропроводности и механических свойств, был интегрирован в интеллектуальную антиобледенительную систему.

В ходе исследований **установлено, что вяжущее вносит значительный вклад в проводимость смеси.**

Такие системы могут быть **интегрированы в интеллектуальные транспортные системы (ITS)**



\* Investigation of using conductive asphalt concrete with carbon fiber additives in intelligent anti-icing systems (researchgate.net)

## ВИДЫ ДОБАВОК

### Диоксид марганца и стальная фибра

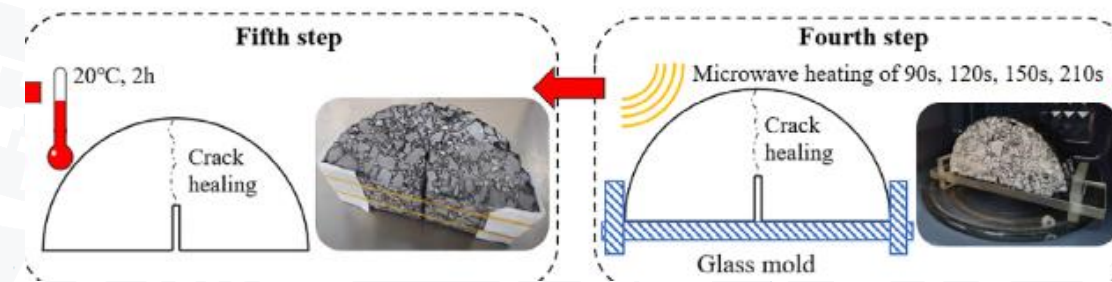
Tongji University. Yue Deng и др. (Китай)\*

Технология микроволнового нагрева имеет значительный потенциал применения для создания самовосстанавливающегося асфальтобетона. Добавление в асфальтобетон микроволновых поглотителей или микроволновых восстанавливающих примесей (**стальная фибра 0,4-0,8мм, толщина 0,05 мм, в количестве 4% от массы минеральной части**) улучшает эффективность нагрева и заживления под воздействием микроволнового излучения.

В ходе исследования установлено, что при микроволновом излучении **асфальтобетон с гетерогенными добавками имеет высокий коэффициент заживления**, благодаря синергетическому взаимодействию двух гетерогенных добавок.

Добавление **порошка диоксида марганца (в количестве 2% от минеральной части и размером от 5 до 7мкм)** также заметно улучшает микроволновую тепловосстанавливающую способность и другие характеристики асфальтобетона. **Смесь нагревалась до 85 °С. Максимальное микроволновое воздействие 210s, минимальное 90s, продолжительность до 2 ч.**

В итоге достигнуто наилучшее заживление смеси, при не ухудшении эксплуатационных показателей смеси.



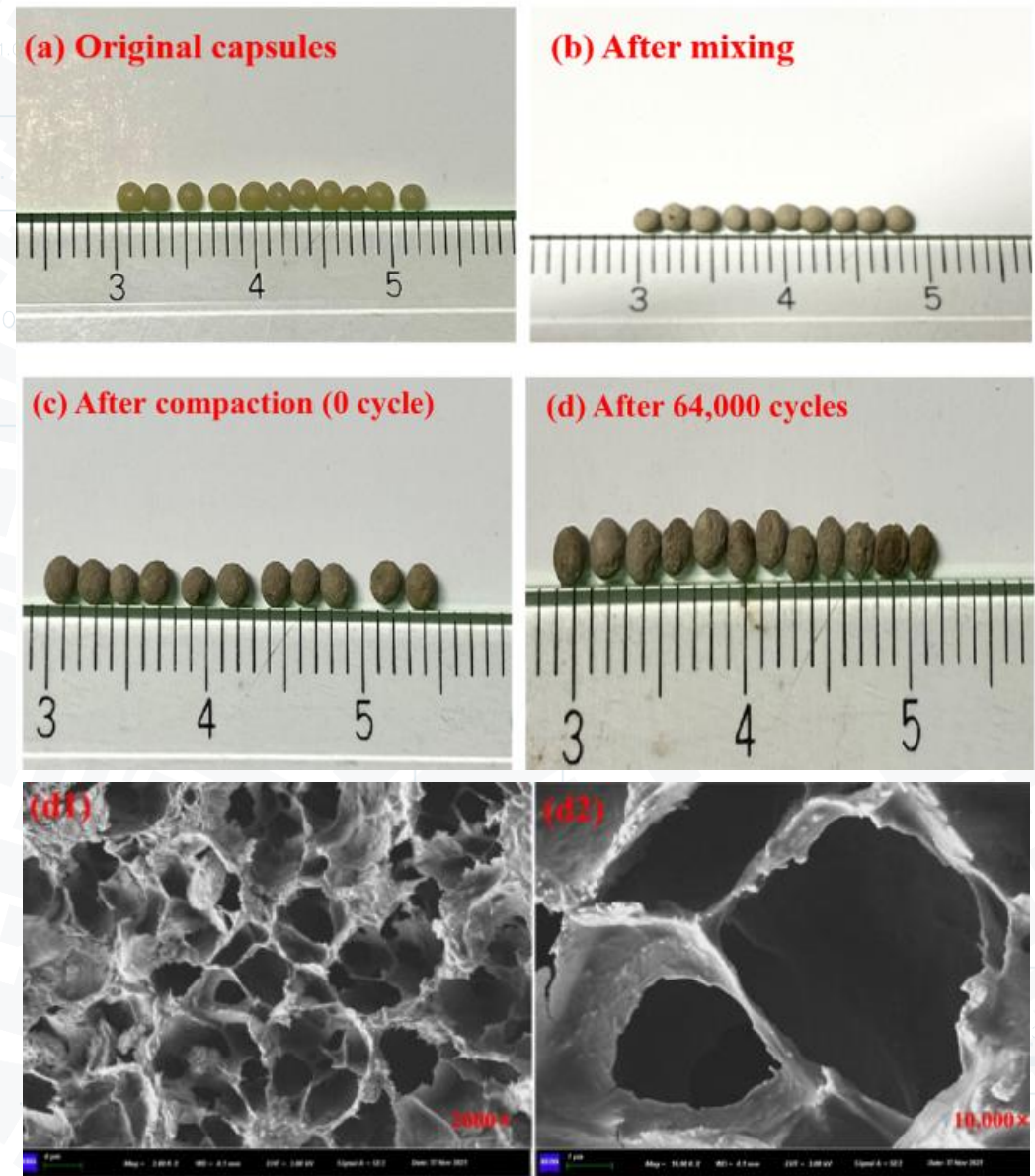
## Альгинат кальция (капсулы)

Wuhan University of Technology. Quantao Liu и др. (Нидерланды)\*

Ученые проводили исследования с **вводимыми в асфальтобетонную смесь капсулами альгината кальция**, которые в процессе воздействия транспортной нагрузки, постепенно **высвобождают омолаживающее вещество из капсулы**.

Результаты исследований показали, что **при старении не повреждается многокамерная структура и не снижается механическая прочность капсул**, но происходит необходимое **выделение масла (подсолнечное) из капсул (от 9 % до 28%)**. Такое **выделение масла из капсул, в свою очередь, может нивелировать эффект старения в ходе эксплуатации асфальтобетонного покрытия**.

**Объем введения капсул 0,5% от массы битума**

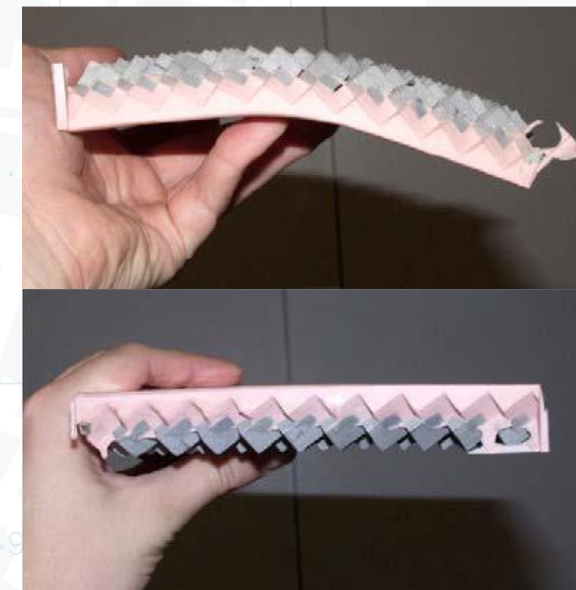


\* Effect of Ageing on Self-Healing Properties of Asphalt Concrete Containing Calcium Alginate/Attapulgite Composite Capsules (researchgate.net)

## НАУЧНЫЕ КОНКУРЕНТЫ С БЛИЗКИМИ АНАЛОГАМИ

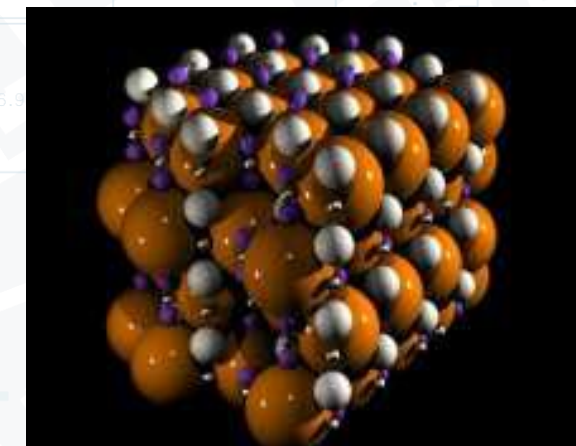
**Юрий Захарович Эстрин** (Кандидат физико-математических наук, доктор естественных наук (Германия), почетный доктор РАН, профессор. Создатель лаборатории «Гибридные наноструктурные материалы» НИТУ МИСИС, профессор Департамента материаловедения Университет им. Монаша (Австралия)).

Направление исследований – развитие **нового подхода к инжинирингу материалов с использованием геометрических принципов**. Развитие новых материалов и структур, инспирированных геометрическими соображениями, в частности, гибридных наноматериалов (<https://www.researchgate.net/profile/Yuri-Estrin>)



**Юрий Петрович Москвичев (ООО «Сферамет»)**

Направление исследований – **гранульная металлургия. Конструирование гранульных композитов, заключающееся в формировании комбинации** гранул различного химического, фазового и фракционного составов в необходимых пропорциях, основанное на заполнении пустот в плотнейших шаровых упаковках, **с целью создания гранульных композитов с заранее заданными свойствами** в металлургии.



- 1 Тенденции развития** асфальтобетонных покрытий направлены на **поиск компонентов способных заменить** традиционные материалы частично либо полностью, при этом обладающие **меньшей стоимостью** и требуемыми характеристиками, обеспечивающими эксплуатационные характеристики;
- 2 Особое внимание отечественных и зарубежных исследователей направлено на **поиск механизмов снижения антропогенной нагрузки** на окружающую среду и более активное внедрение «зеленых» технологий;
- 3 Поиск новых компонентов** для асфальтобетонных смесей носит **локальный не системный** характер. Зачастую исследователи используют феноменологический подход к развитию асфальтобетонов, **опираясь лишь на соответствие** итогового результата действующим нормативным документам (**в ряде работ достигнутые результаты находятся на уровне погрешности**);
- 4 Значительный объем исследований посвящен **внедрению технологий искусственного интеллекта в методы оптимизации состава** традиционных асфальтобетонных смесей с целью доведения содержания компонентов смеси до идеального соотношения;

## Направления совершенствования асфальтобетонов:

- 1 Связано с введением добавок, способных при применении микроволнового воздействия обеспечить самозалечивание микротрещин. Однако существует ограничение, которое в момент нагрева вводимых добавок приводит к окислению и состариванию битума;
- 2 Направлено на разработку «умных» материалов, где вводимые добавки обеспечивают возможность для асфальтобетонного покрытия использовать технологии интеллектуальных транспортных систем, за счет электропроводимости смеси;
- 3 Направлено на поиск вариантов замены основного вяжущего (битума) на иные виды вяжущих или возможности применения комбинаций вяжущих, как цемент и битум одновременно;
- 4 Направлено на введение добавок непосредственно в саму асфальтобетонную смесь в виде различных волокон, как природного происхождения, так и искусственно полученных. Широта применяемых волокон очень разнообразна и работ, посвященных этим исследованиям достаточно много;
- 5 Направлено на поиск альтернативных материалов, отходов производства или вторичных ресурсов в качестве полной или частичной замены традиционных компонентов асфальтобетонной смеси





**Спасибо за внимание**

