

# КРАТКО ОБ ИЗУЧЕНИИ БИТУМА В ВЕНСКОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

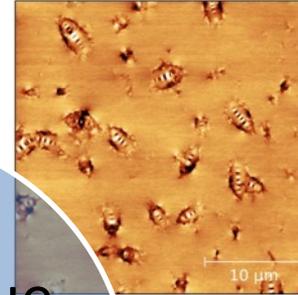
Др. Бернхард Хофко, доцент  
Институт транспорта, ВТУ, Вена, Австрия



СМОТРЕТЬ  
ВИДЕО

# Подход

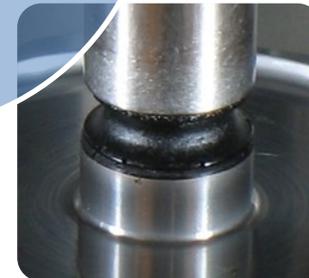
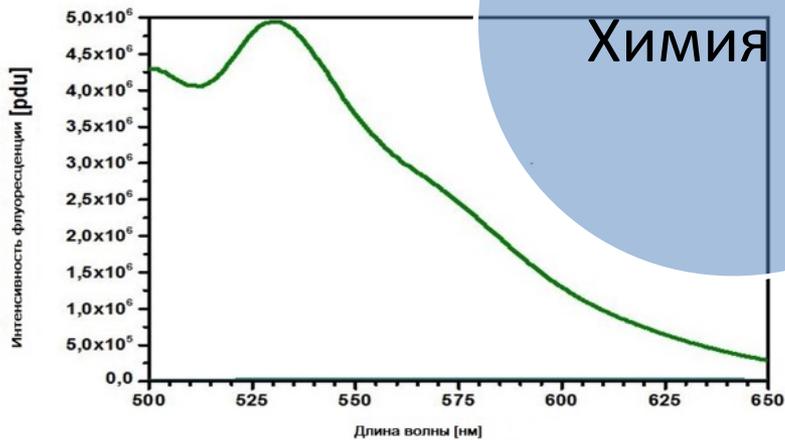
## Химико-механическое соединение



Структурные особенности

Химия

Механика

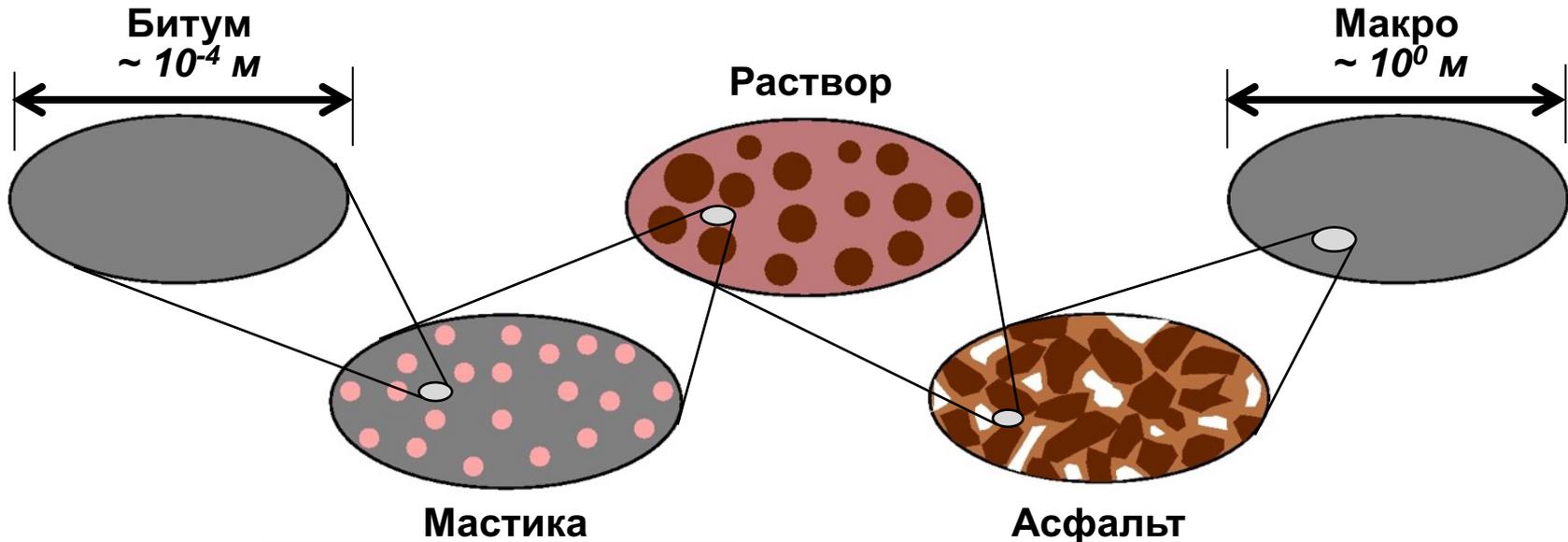


# Последние исследования

## Разномасштабная модель асфальта

структура – состав -  
механика

Преодоление разрыва  
между исследованиями  
и строительством



Оценка усталостного  
поведения

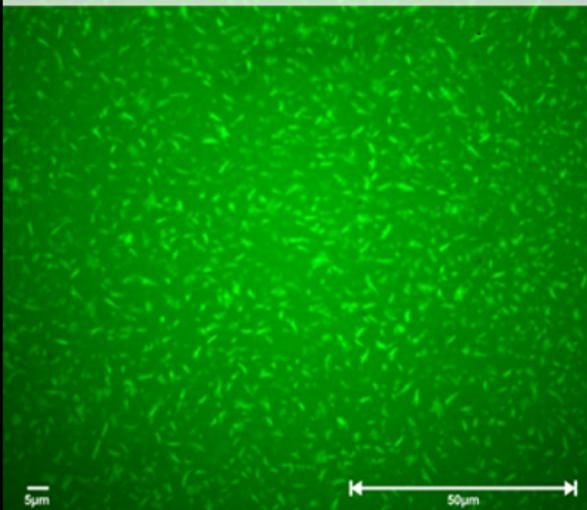
Реалистичная  
симуляция старения

# Микроуровень

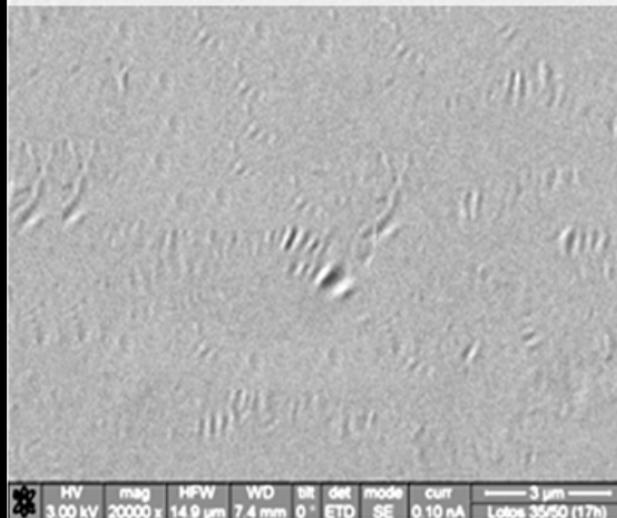
## Текущая ситуация

- В механическом анализе и моделировании битум считается **однородным веществом**
- Пробелы в знаниях о **связях** между микроструктурой, химическим составом и механическим поведением
- **Старение** не принимается во внимание на микроструктурном уровне

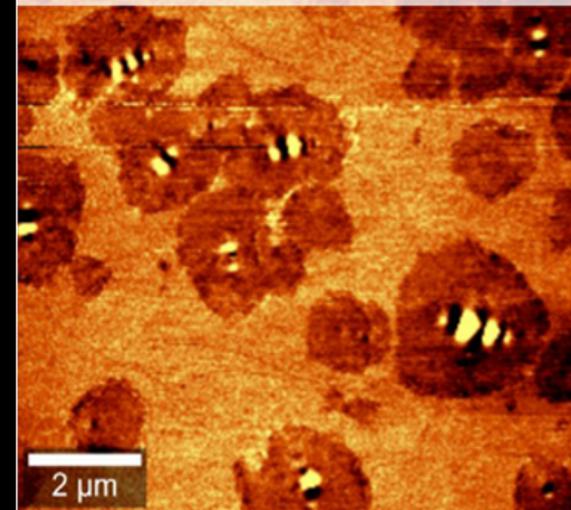
Флуоресценция



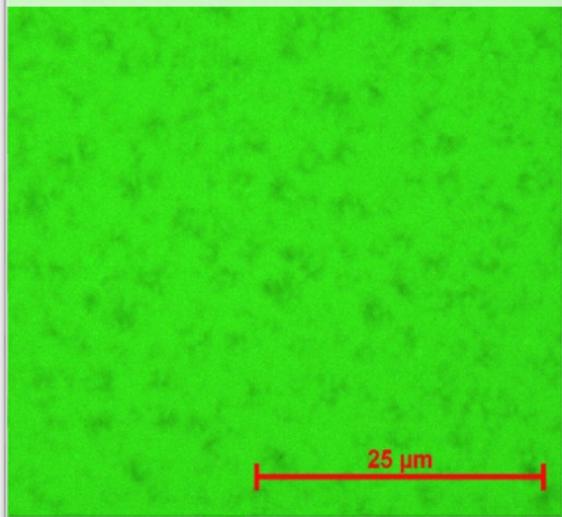
ССЭМ



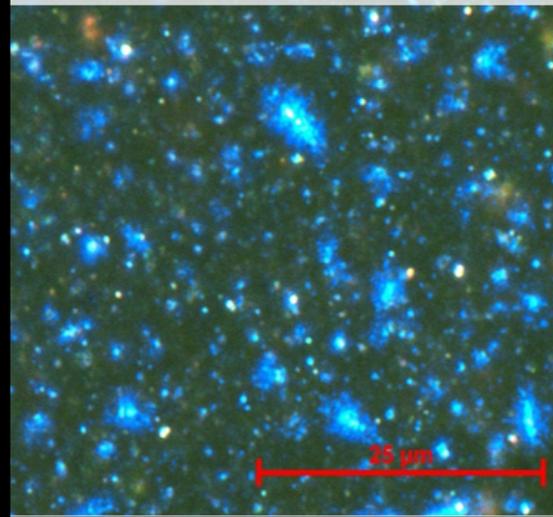
АСМ

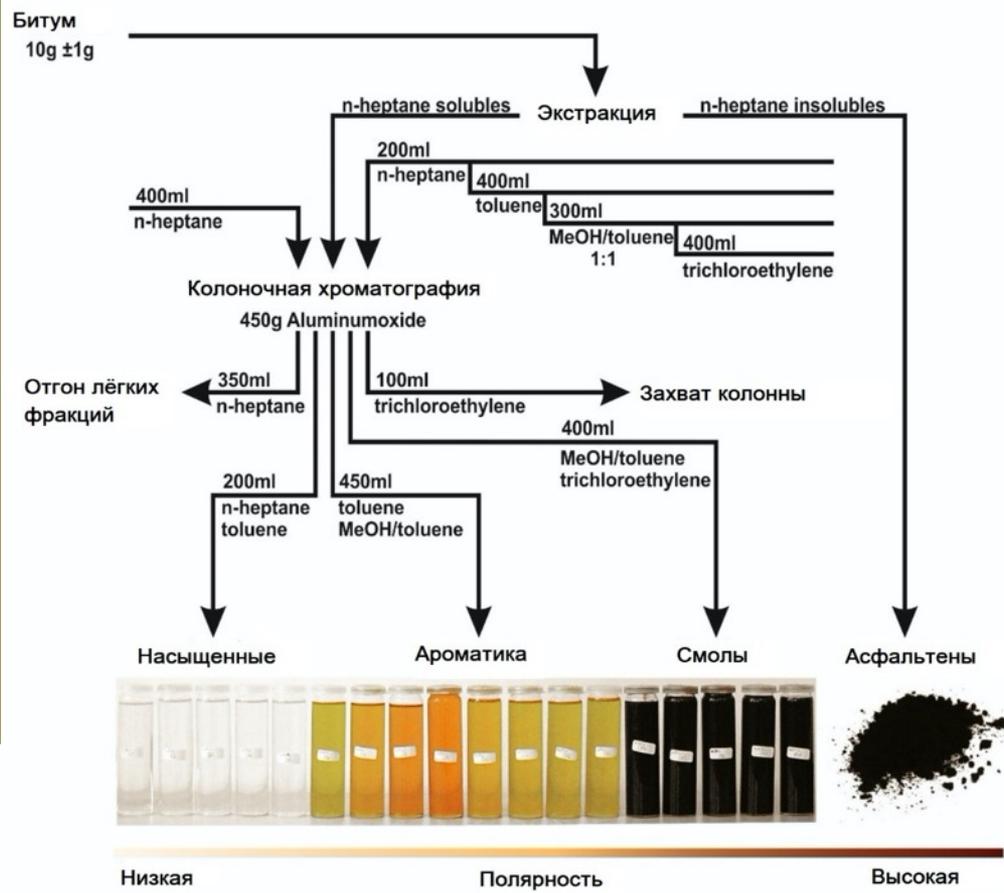
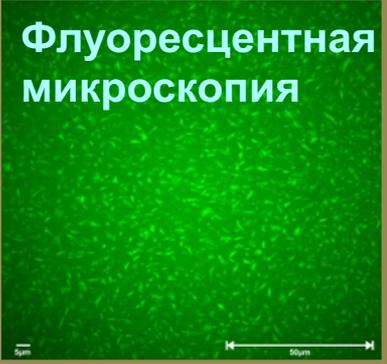


Светлопольный

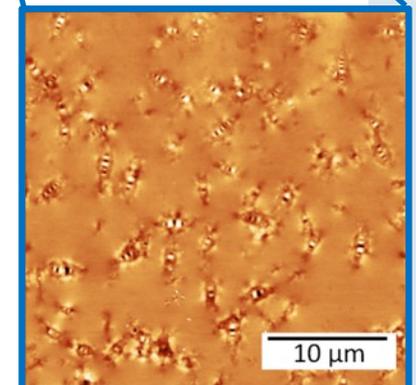
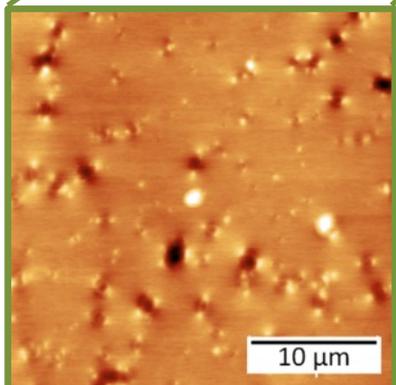
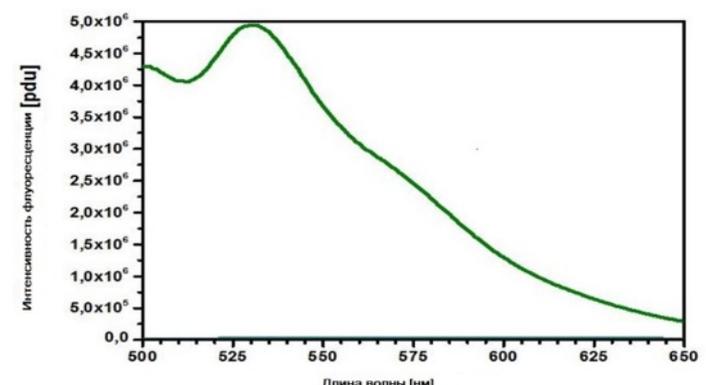


Темнопольный



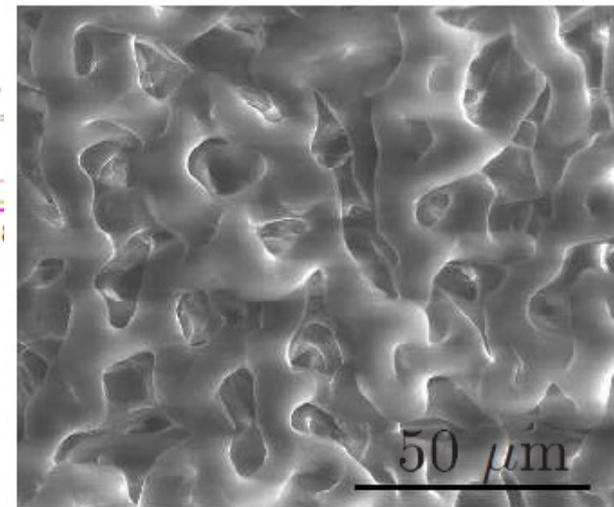
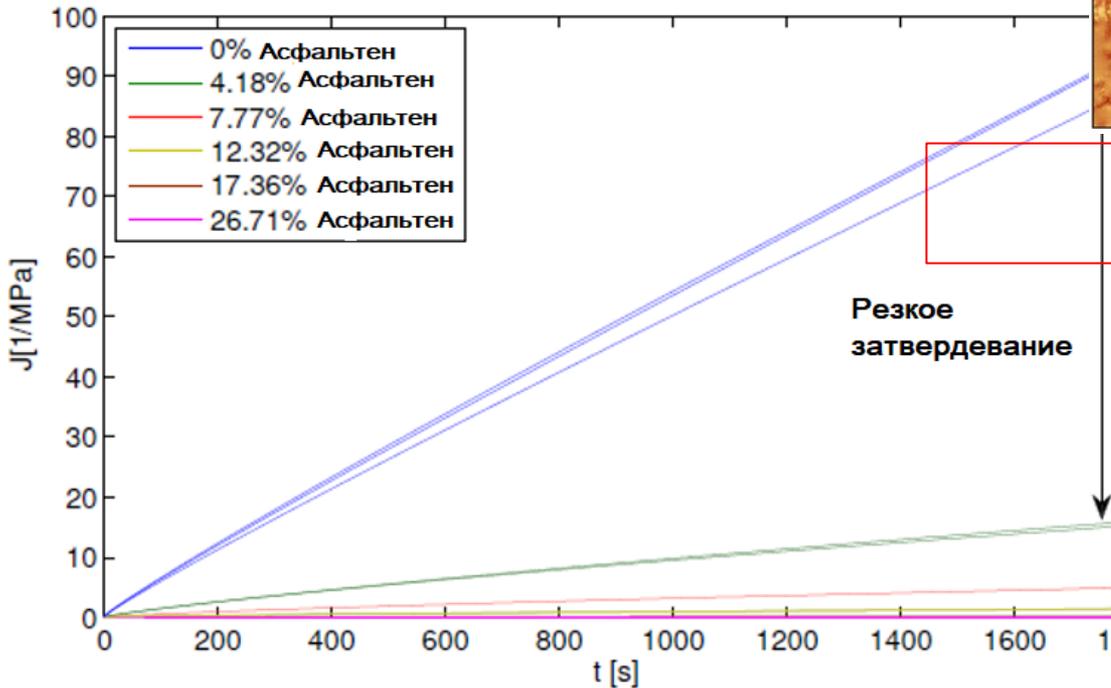
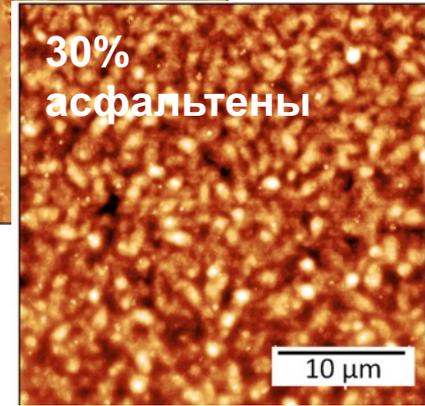
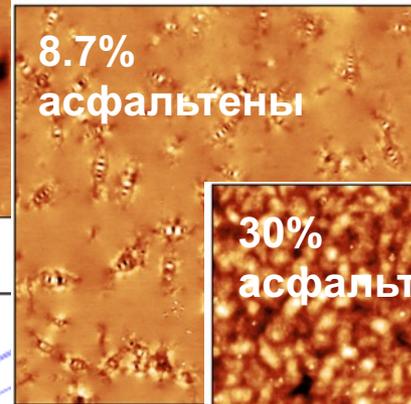
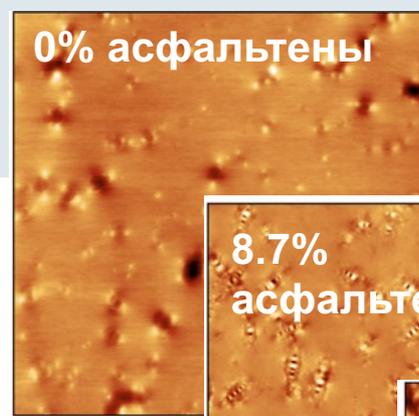


**Флуоресцентная спектроскопия**



# Микроуровень

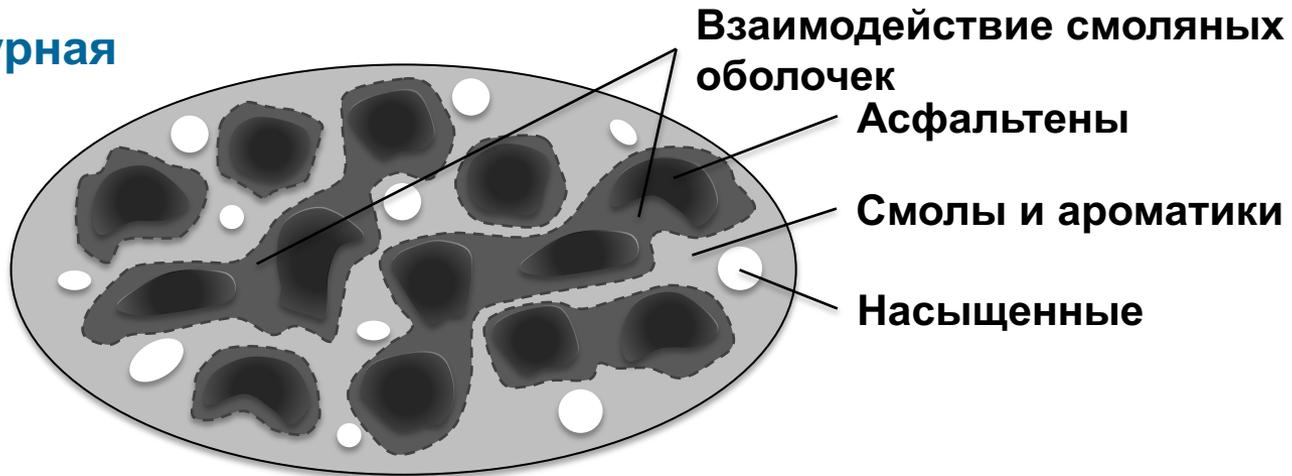
## Моделирование на микроуровне



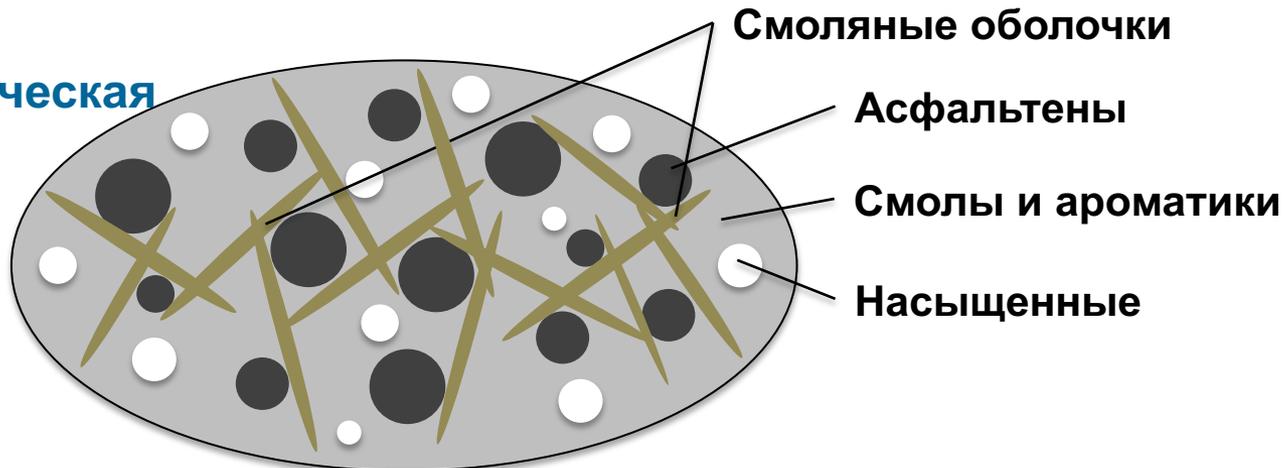
# Микроуровень

## Моделирование на микроуровне

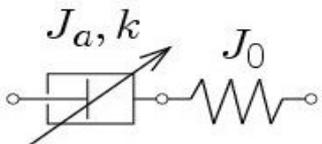
### Микроструктурная модель



### Микромеханическая модель

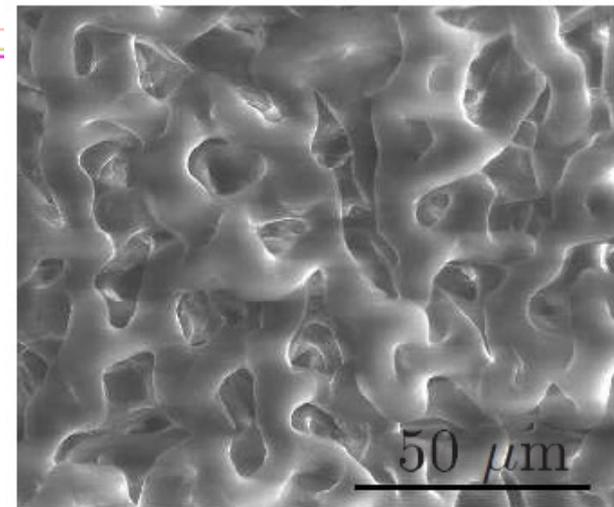
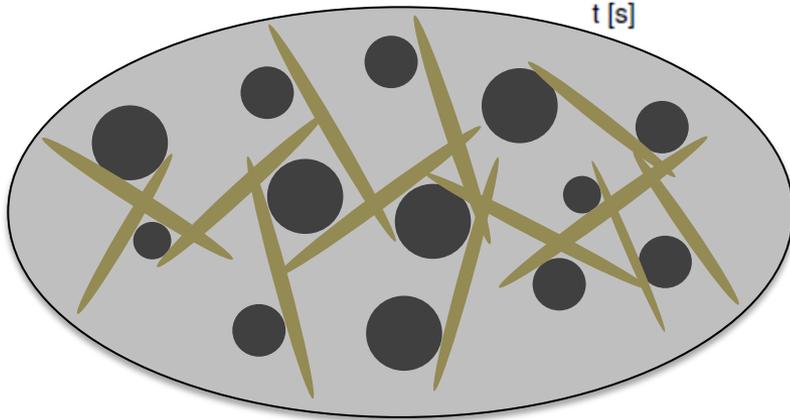
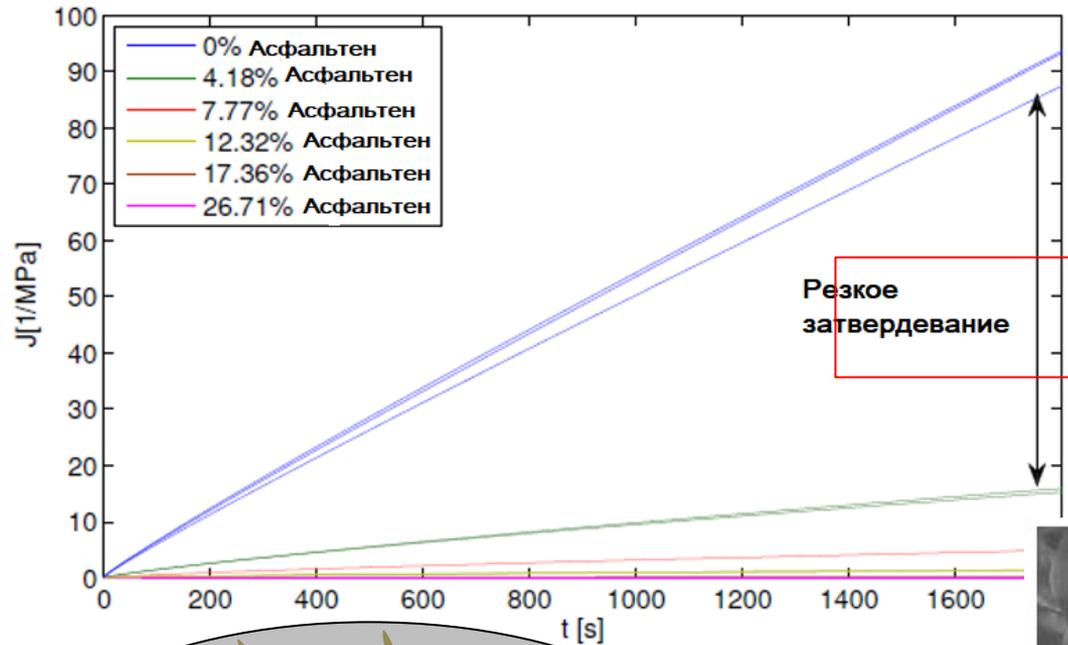


$$J(t) = J_0 + J_a \left( \frac{t}{\tau} \right)^k$$



# Микроуровень

## Определение асфальтенов и оболочек

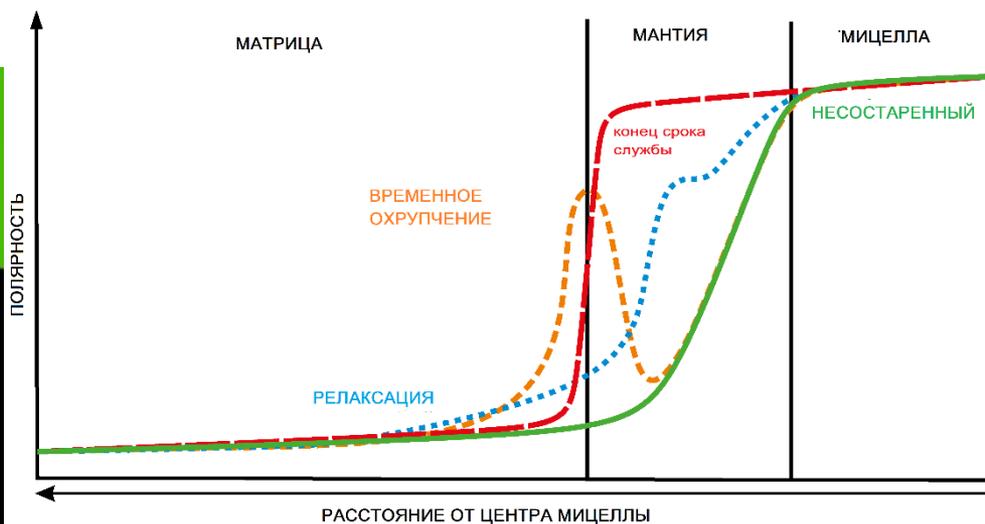
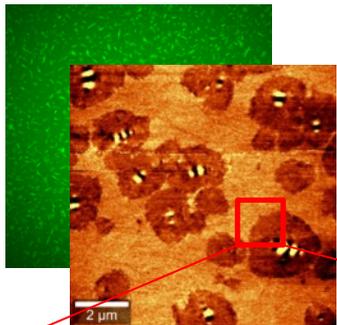


# Микроуровень

## Выводы

- **Степенная модель** хорошо описывает вязкоупругое поведение компонентов битума
- **Определение** механического поведения мальтенов, асфальтенов и взаимодействия оболочек мицелл прошло **успешно**
- Резкое затвердевание при добавлении асфальтенов в мальтеновой фазе → **Модель ядро-оболочка**
- **Взаимосвязь** между взаимодействием **оболочек** (игл) мицелл и содержанием **асфальтена**
  
- Никакой разницы между несостаренным и состаренным в лабораторных условиях связующим веществом
  - В поведении мальтена/асфальтена
  - Во взаимодействии оболочек мицелл
- **Изменение содержания асфальтена в достаточной мере** объясняет изменение механического поведения под влиянием **старения**

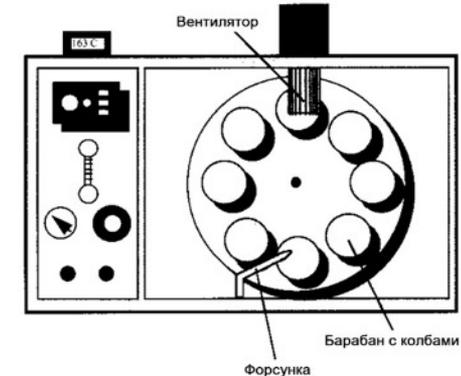
# Старение Микрофизическая модель



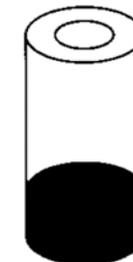
# Старение

## Текущее состояние

- Опыт с печью и вращающейся тонкой пленкой (RTFOT)  
EN 12607-1
- Цели
  - Состаривание образца связующего вещества для последующих опытов
  - Вызывает изменение массы благодаря дистилляции и окислению
- Принципы метода
  - Постоянная температура воздуха  $163^{\circ}\text{C}$
  - Колбы RTFOT с 35 г битума в каждой
  - Медленное вращение барабана с колбами RTFOT → тонкая обновляющаяся пленка связующего вещества → большая поверхность окисления
  - Окисление усиливается потоком нагретого воздуха



Пустая колба



Заполненная колба



Колба после опыта

# Старение

## Текущее состояние

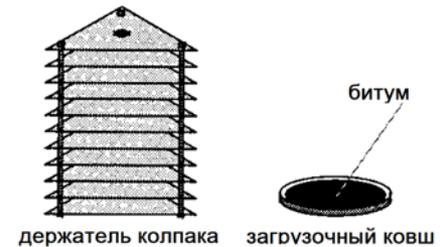
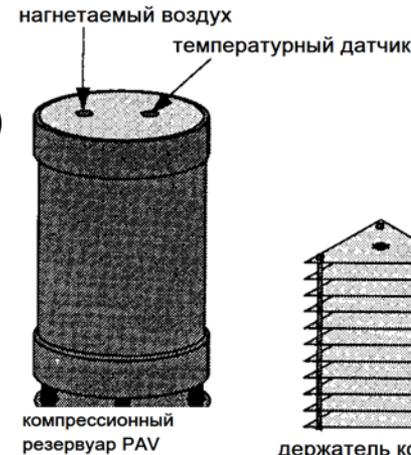
- Сосуд для состаривания под давлением (PAV) EN 14769

- Цели

- Должен стимулировать изменение поведения битума после 5–10 лет службы

- Принципы метода

- Состаривание PAV только образцов, состаренных RTFOT
- Сосуд под давлением нагревается до 90°C – 110°C
- Давление увеличивается до 2.07 МПа (=300 PSI)
- Образец связующего вещества быстро состаривается под воздействием высокой температуры и давления → скорость окисления растет
- Давление препятствует испарению нестабильных компонентов связующего вещества



# Старение

## Старение в полевых условиях по сравнению с PAV

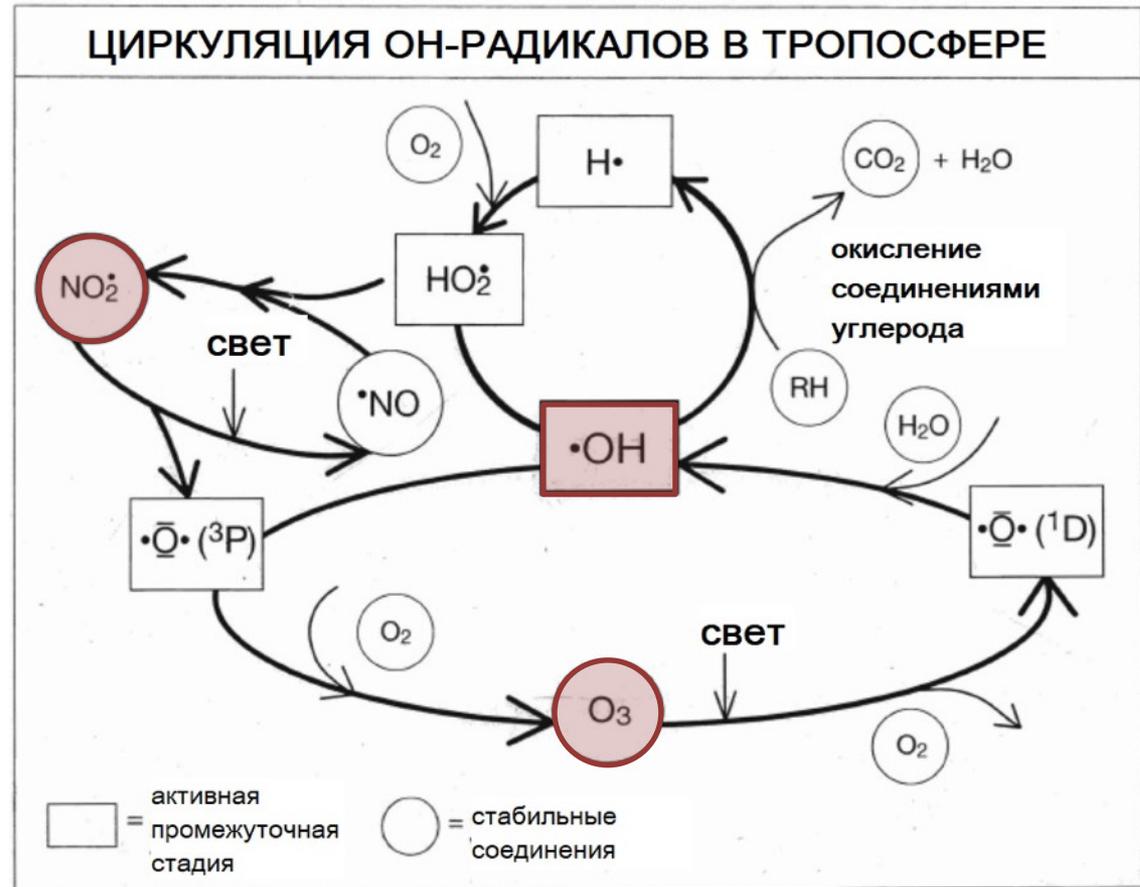
- 
- 60 – 70 °C
  - 1 бар
  - 5 – 20 лет
  - Воздух + следы активных форм кислорода

- 
- 90 – 110 °C
  - 20,7 бар
  - 20 часов
  - Сжатый воздух

Старение в полевых условиях  $\neq$  PAV

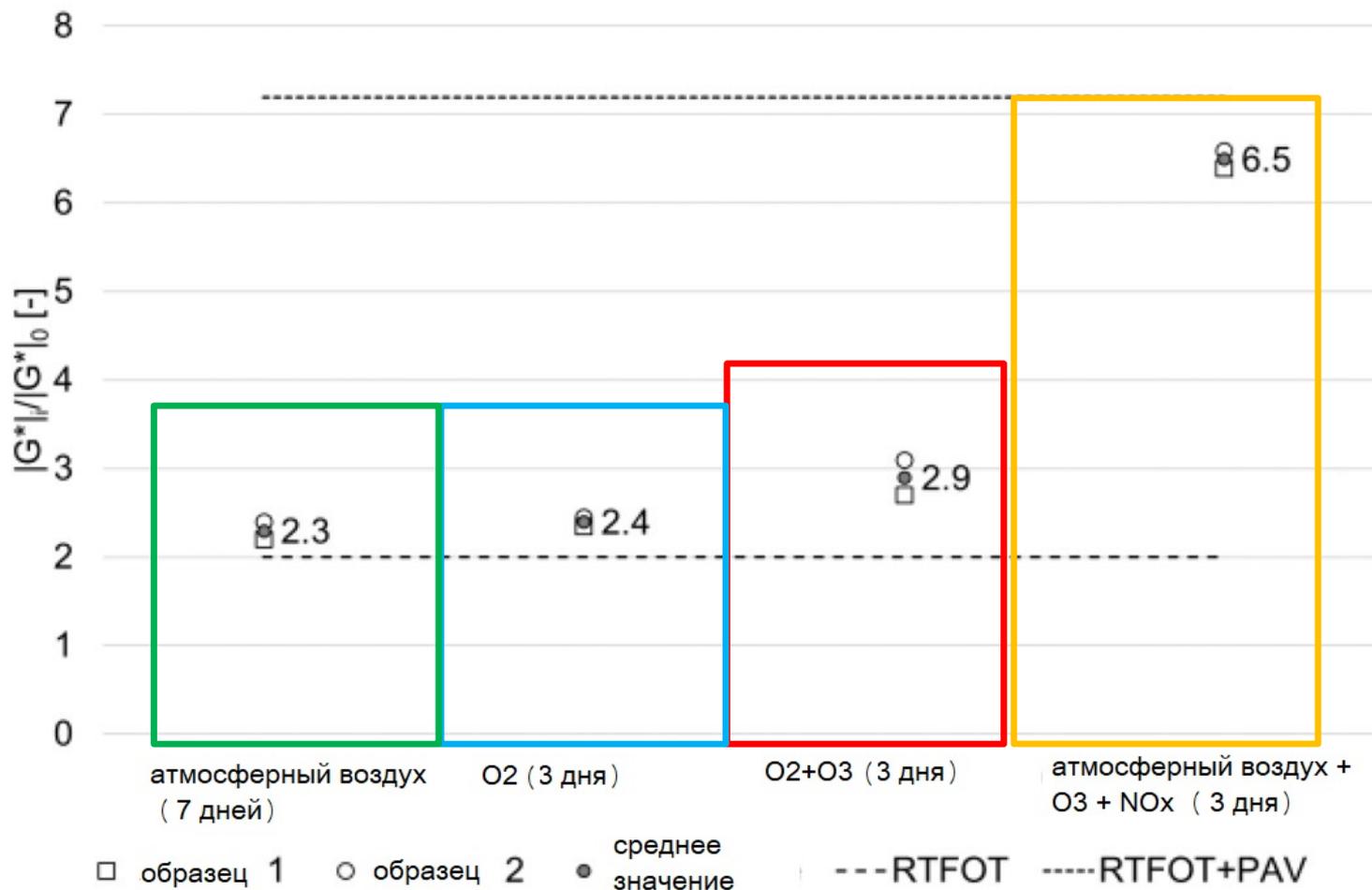
# Старение Химия атмосферы

- **Текущий подход**  
Длительное старение путем окисления кислородом из атмосферы → низкий потенциал окисления при температуре окружающей среды
- Улучшенный подход на основе **химии атмосферы**
  - Озон, оксид азота и ОН-радикалы — доступные источники с высоким потенциалом окисления



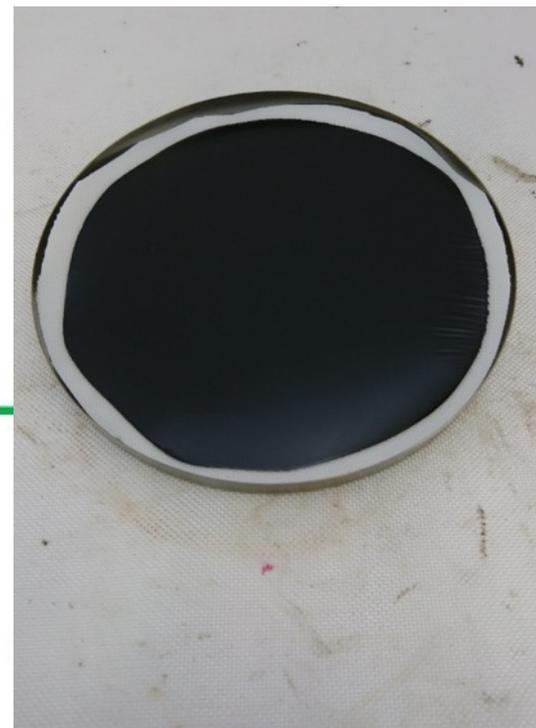
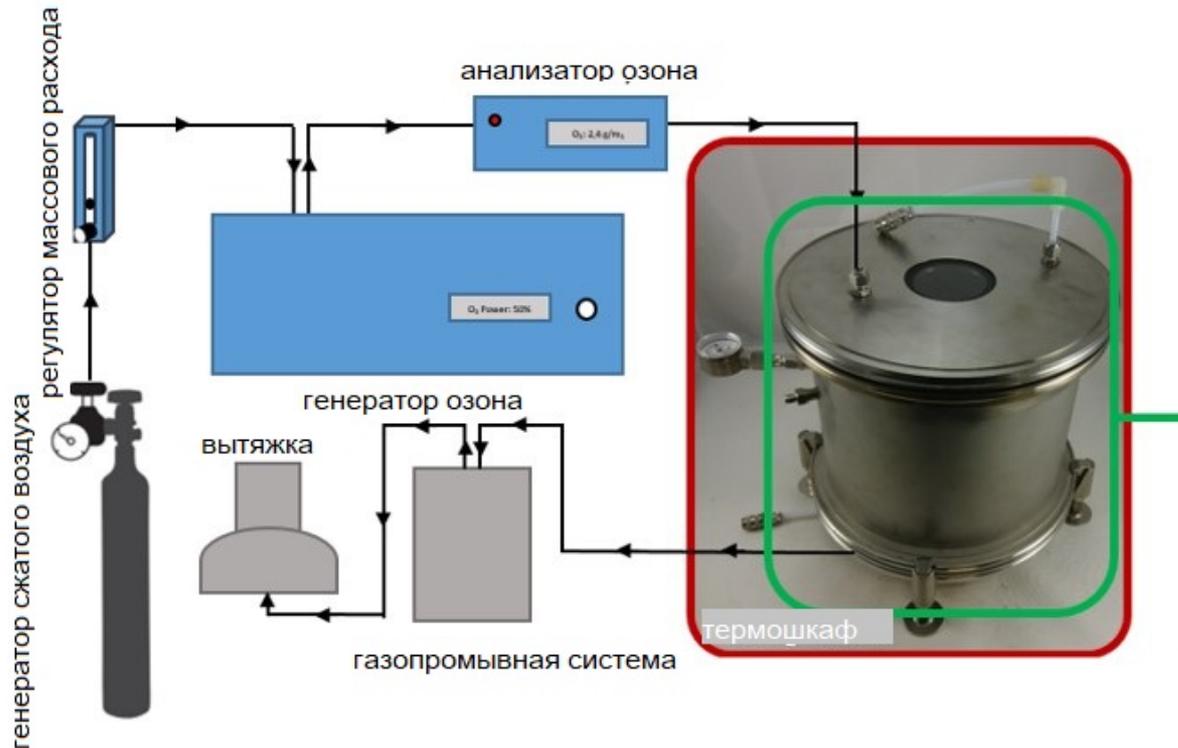
# Старение

## Влияние активных форм кислорода



# Старение VBA – Венское состаривание связующего вещества

Битумная пленка

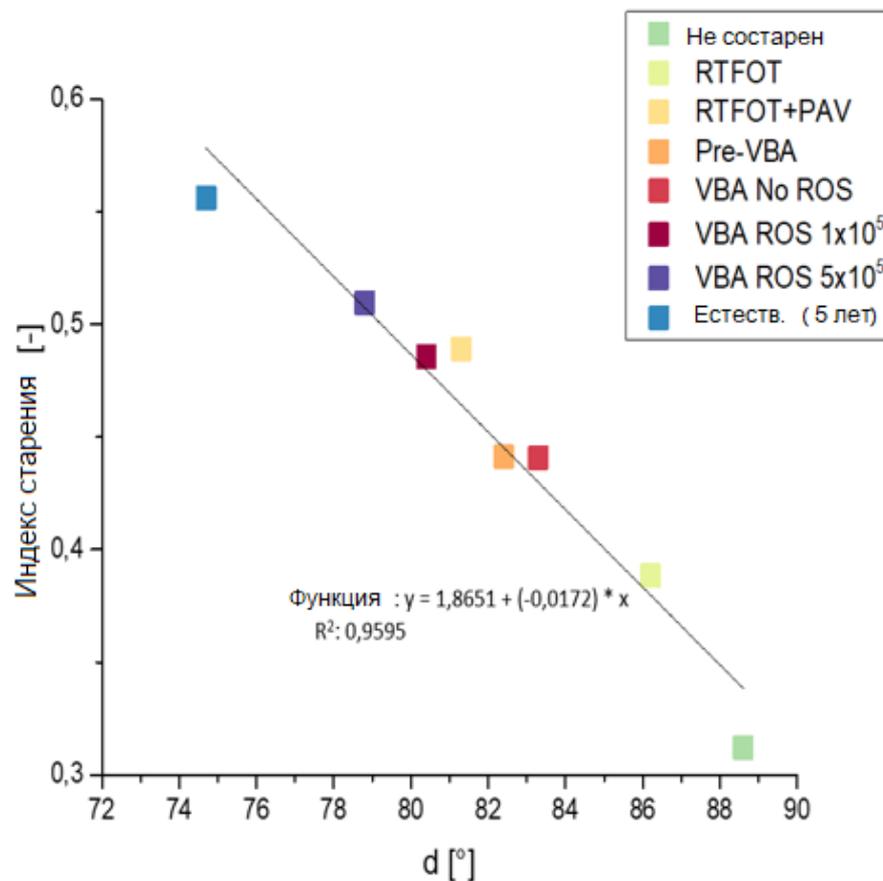
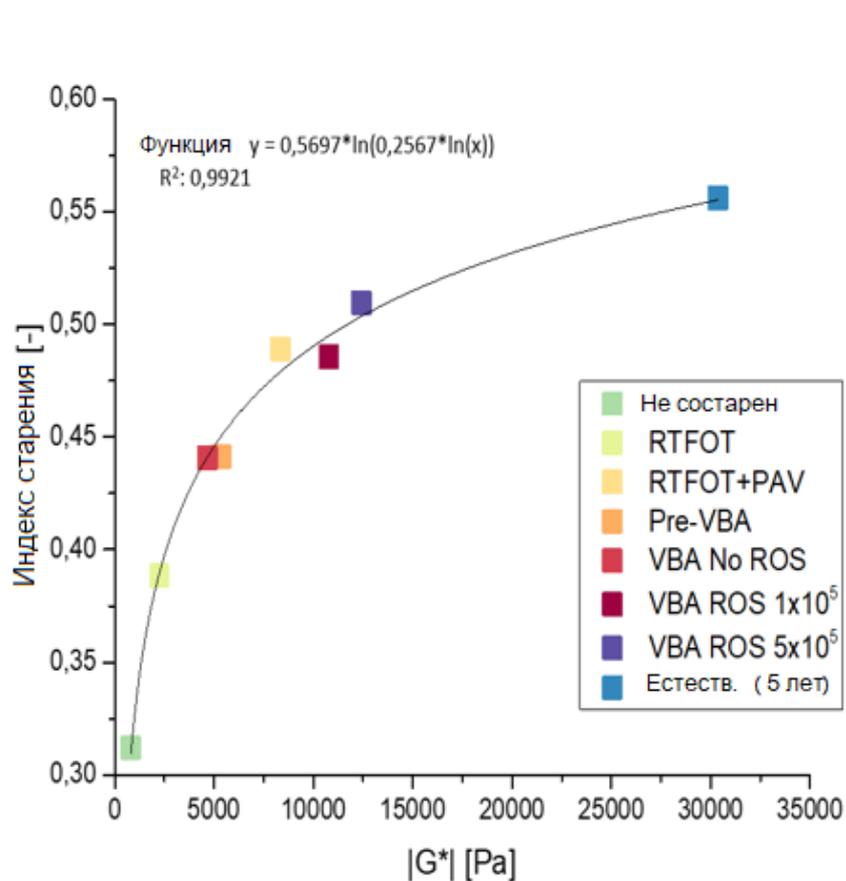


# Старение

## Параметры VBA

- Температура: 80°C
- Давление: 1 бар (атмосферное давление)
- Длительность: 3 дня
- Сжатый воздух через генератор озона
- Расход: 1 л/мин
- Концентрация озона: ~2,4 – 12 г O<sub>3</sub>/м<sup>3</sup>
- Концентрация NO<sub>x</sub> : ~10% от концентрации O<sub>3</sub>
- Толщина пленки: 0,5 мм

# Химико-механическая корреляция FTIR и DSR (@ f=1.59Гц | 40-82°C) битума 70/100



# Использованная литература

- L. Eberhardsteiner, J. Füssl, B. Hofko, et al.: **"Influence of asphaltene content on mechanical bitumen behavior - Experimental investigation and micromechanical modeling"**; Materials and Structures, 48 (2015), 10; 3099 - 3112.
- F. Handle, J. Füssl, S. Neudl, D. Großegger, L. Eberhardsteiner, B. Hofko, R. Blab, H. Grothe: **"The bitumen microstructure: a fluorescent approach"**; Materials and Structures, 49 (2016), 167 - 180.
- L. Eberhardsteiner, J. Füssl, B. Hofko, F. Handle, M. Hospodka, R. Blab, H. Grothe: **"Towards a microstructural model of bitumen aging behavior"**; International Journal of pavement engineering, 16 (2015), 939 - 949.
- B. Hofko, L. Eberhardsteiner, J. Füssl, H. Grothe, F. Handle, M. Hospodka, et al.: **"Impact of maltene and asphaltene fraction on mechanical behavior and microstructure of bitumen"**; Materials and Structures, 49 (2016), 3; 829 - 841.
- B. Hofko, F. Handle, L. Eberhardsteiner, M. Hospodka, R. Blab, J. Füssl, H. Grothe: **"Alternative Approach Toward the Aging of Asphalt Binder"**; Transportation Research Record (invited), 2505 (2015), 2505; 24 - 31.
- D. Großegger, H. Grothe, M. Hospodka, B. Hofko: **"Fluorescence spectroscopic investigation of bitumen aged by field exposure respectively modified rolling thin film oven test"**; Road Materials and Pavement Design, 19 (2018)
- B. Hofko, Z. Alavi, H. Grothe, D. Jones, J. Harvey: **"Repeatability and sensitivity of FTIR ATR spectral analysis methods for bituminous binders"**; Materials and Structures, 50 (2017), 187; 1 - 15.
- B. Hofko, L. Porot, A Cannone Falchetto, L. Poulikakos, L. Huber, X. Lu, et al.: **"FTIR Spectral Analysis of Bituminous Binders: Reproducibility and Impact of Ageing Temperature"**; Materials and Structures, 51 (2018), 45; 1 - 16.
- F. Handle, M. Harir, J. Füssl, A. Koyun, D. Großegger, N. Hertkorn, L. Eberhardsteiner, B. Hofko, et al.: **"Tracking Aging of Bitumen and Its Saturate, Aromatic, Resin, and Asphaltene Fractions Using High-Field Fourier Transform Ion Cyclotron Resonance Mass Spectrometry"**; Energy & Fuels, 31 (2017), 5; 4771 - 4779.
- J. Mirwald, S. Werkovits, I. Camargo, D. Maschauer, B. Hofko, et al.: **"Investigating Bitumen Long-Term-Ageing in the Laboratory by Spectroscopic Analysis of the SARA Fractions"**; Construction and Building Materials, 258 (2020), 1 - 13.
- J. Mirwald, B. Hofko, H. Grothe: **"Utilizing Fluorescence Spectroscopy and Optical Microscopy to Investigate Bitumen Long-Term Ageing"**; accepted for publication in Road Materials and Pavement Design 1 - 12.

## Использованная литература

- J. Mirwald, D. Maschauer, B. Hofko, H. Grothe: **"Impact of Reactive Oxygen Species on Bitumen Aging - The Viennese Binder Aging Method"**; Construction and Building Materials, 257 (2020), 119495; 1 - 8.
- J. Mirwald, S. Werkovits, I. Camargo, D. Maschauer, B. Hofko, H. Grothe: **"Understanding Bitumen Ageing by Investigation of its Polarity Fractions"**; Construction and Building Materials, 250 (2020), 118809; 1 - 10.
- D. Steiner, B. Hofko, M. Hospodka, F. Handle, H. Grothe, J. Füssl, L. Eberhardsteiner, R. Blab: **"Towards an optimised lab procedure for long-term oxidative ageing of asphalt mix specimen"**; International Journal of pavement engineering, 17 (2016), 471 - 477.
- D. Steiner, B. Hofko, R. Blab: **"Introducing a Nitrogen Conditioning to Separate Oxidative from Non-Oxidative Aging Effects of Hot Mix Asphalt"**; Road Materials and Pavement Design, 1 (2018), 1 - 19.
- B. Hofko, D. Maschauer, D. Steiner, J. Mirwald, H. Grothe: **"Bitumen Ageing - Impact of Reactive Oxygen Species"**; Case Studies in Construction Materials, 13 (2020), 1 - 8.
- F. Frigio, S. Raschia, D. Steiner, B. Hofko, F. Canestrari: **"Aging effects on recycled WMA porous asphalt mixtures"**; Construction and Building Materials, 143 (2016), 712 - 718.
- B. Hofko, M. Hospodka: **"Rolling Thin Film Oven Test and Pressure Aging Vessel Conditioning Parameters"**; Transportation Research Record, 2574 (2016), 111 - 116.
- B. Hofko, A Cannone Falchetto, J. Grenfell, L. Huber, X. Lu, L. Porot, L. Poulidakos, Z. You: **"Effect of short-term ageing temperature on bitumen properties"**; Road Materials and Pavement Design (invited), 1 (2017), 1 - 10.
- M Smesnik, P. Tschernutter, B. Hofko: **"Laboratory method to simulate short-term aging of hot mix asphalt in hydraulic engineering"**; Construction and Building Materials, 150 (2017), 435 - 441.
- P. Mikhailenko, C. Kou, H. Baaj, L. Poulidakos, A Cannone Falchetto, J. Besamusca, B. Hofko: **"Comparison of ESEM and physical properties of virgin and laboratory aged asphalt binders"**; Fuel, 235 (2018), 627 - 638.
- L. Poulidakos, A Cannone Falchetto, D. Wang, L. Porot, B. Hofko: **"Impact of asphalt aging temperature on chemomechanics"**; RSC Advances, 9 (2019), 11602 - 11613.
- I. Camargo, B. Hofko, J. Mirwald, H. Grothe: **"Effect of Thermal and Oxidative Aging on Asphalt Binders Rheology and Chemical Composition"**; Materials, 1 (2020), 4438; 1 - 21.