

2018-02-06

Битум и ПБВ. Актуальные вопросы 2018.



ROYAL INSTITUTE
OF TECHNOLOGY

Влияние параметров асфальтобетона на температурную трещиностойкость дорожных одежд

Associate Professor Denis Jelagin
KTH, Civil and Architectural Engineering
Stockholm, Sweden

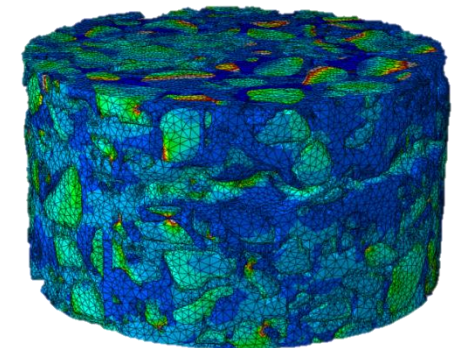
Введение

Разработка методов учета влияния температурной нагрузки на срок службы слоев асфальтобетона:

- *Существующие стандарты*
- *Модель температурного трещинообразования в асфальтобетоне на основе вязкоупругой механики разрушения*
- *Влияние параметров дизайна асфальтобетона на стойкость к температурным повреждениям*



$E(t), \alpha, S$



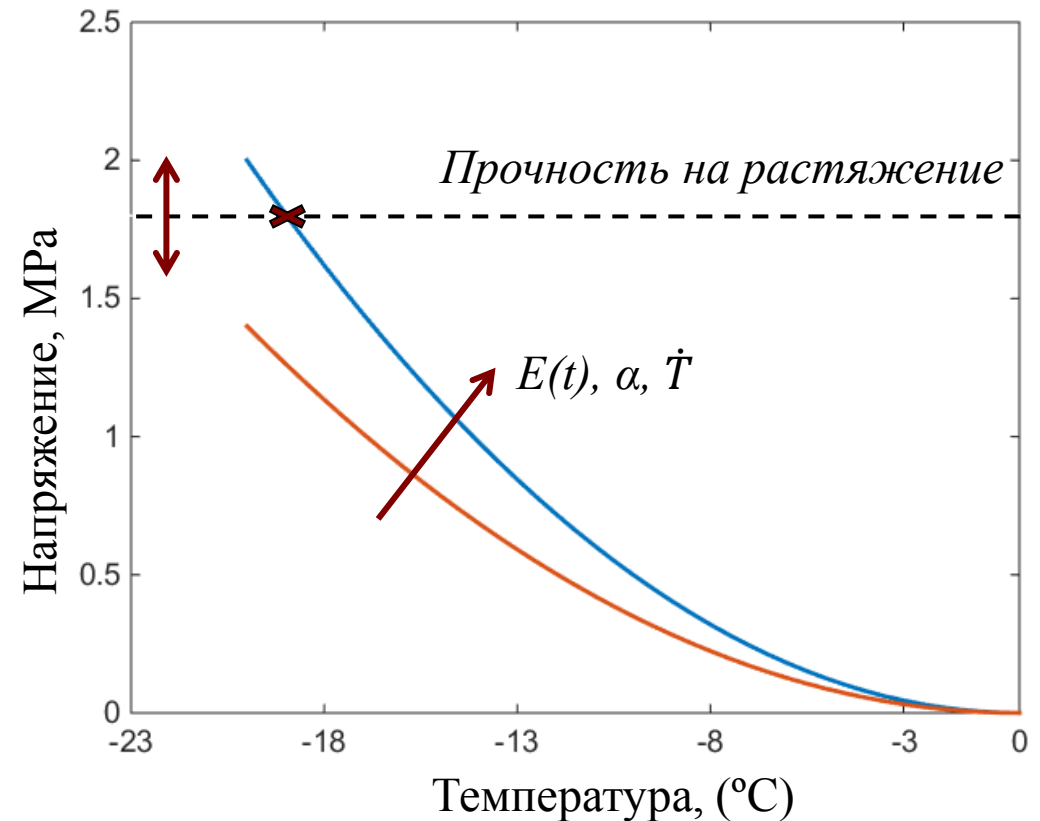
Механизм температурного трещинообразования

Несвободное сжатие асфальтобетона при охлаждении приводит к возникновению растягивающих напряжений. Разрушение:

- при превышении предела прочности
- по усталостному принципу при циклической температурной нагрузке
- в сочетании с транспортной нагрузкой.

Параметры:

- Температура, T , и скорость охлаждения, \dot{T}
- Коэффициент теплового расширения, α
- Модуль релаксации, $E(t)$
- Предел прочности, трещиностойкость.



Kim, Roque, Birgisson, 2008, Journal of AAPT, 77

Kim, Wargo, Powers, 2010, Journal of AAPT, 79

Das, Jelagin, Birgisson, 2013, Constr & Building Mats, 47

Das, Jelagin, Birgisson, 2015, Proc. of CTAA Conf., Winnipeg.

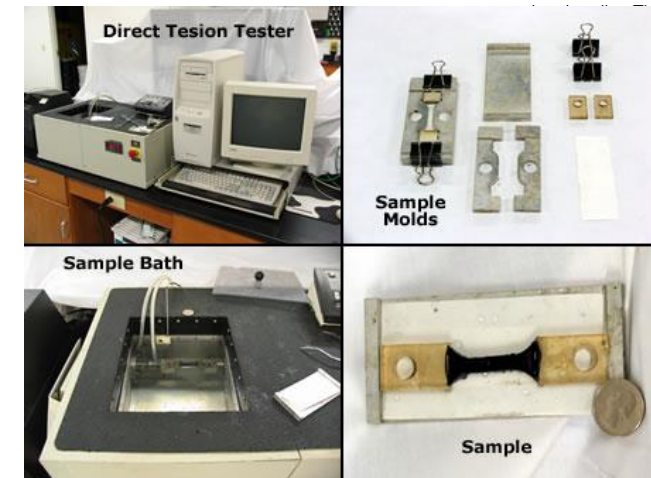
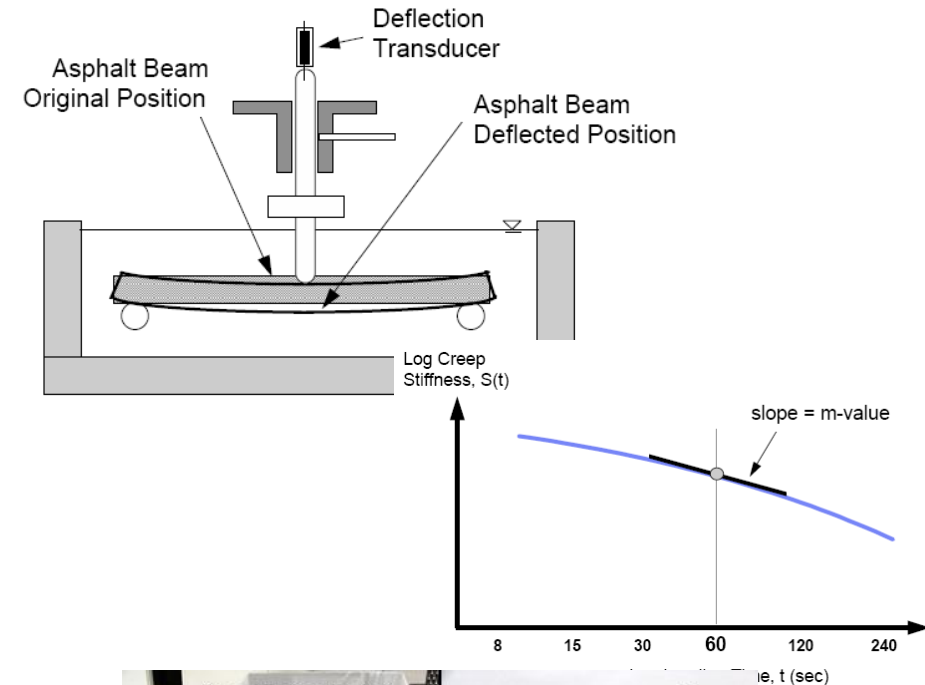
Предотвращение повреждений от температурной нагрузки

Требования к битуму по:

- Макс. жесткости при длительной нагрузке, $E(t)$
- Мин. растяжения при разрыве

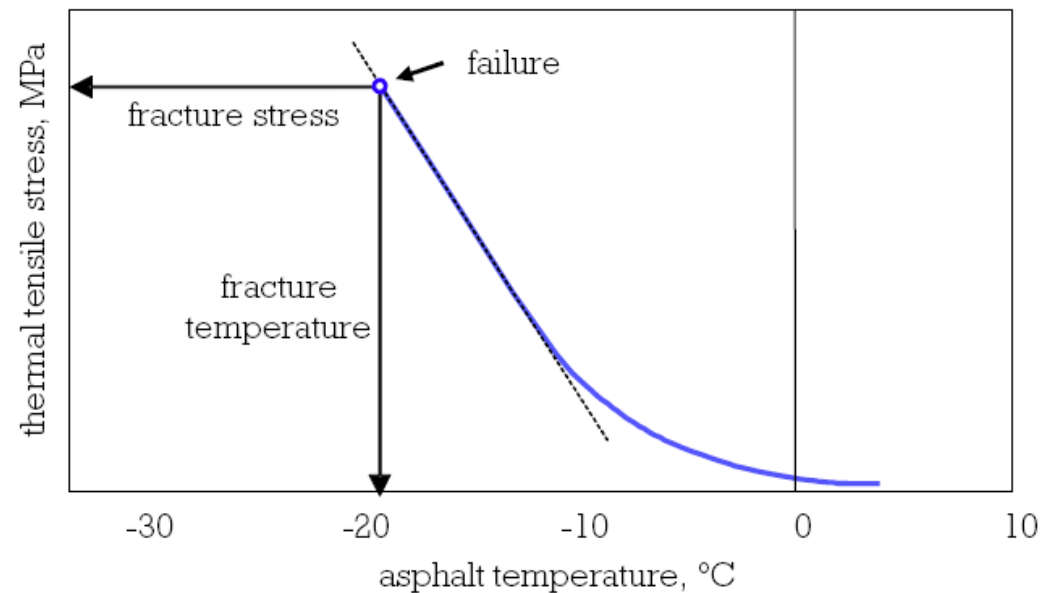
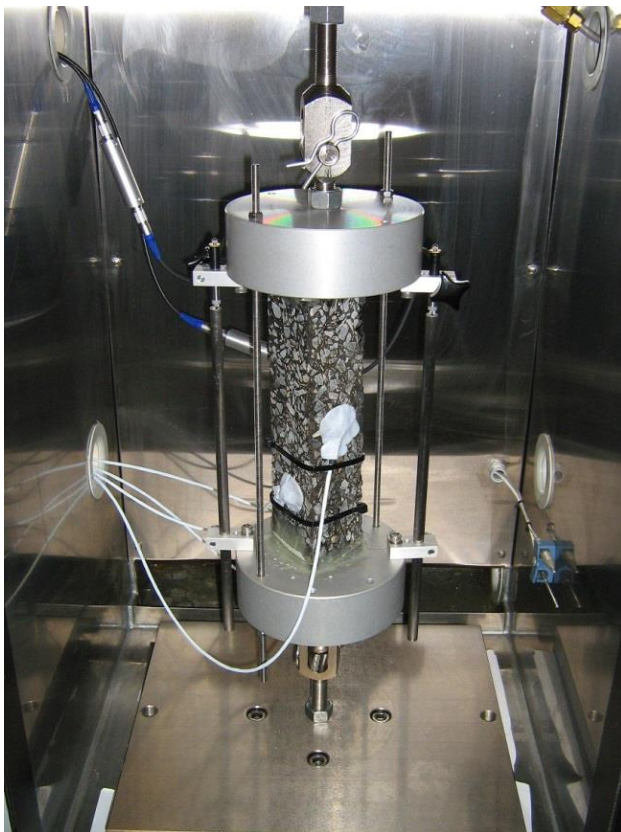
SuperPave:

- BBR: $S = E(t = 60s) \leq 300 \text{ MPa}$,
 $m \geq 0.3$
- DTT: $\varepsilon_f \geq 1\%$
@Test temp
- BBR+DTT: critical cracking temperature



Предотвращение повреждений от температурной нагрузки

TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test) – метод прямой оценки температурной трещиностойкости асфальтобетона. Коррелирует с критической температурой в полевых условиях.

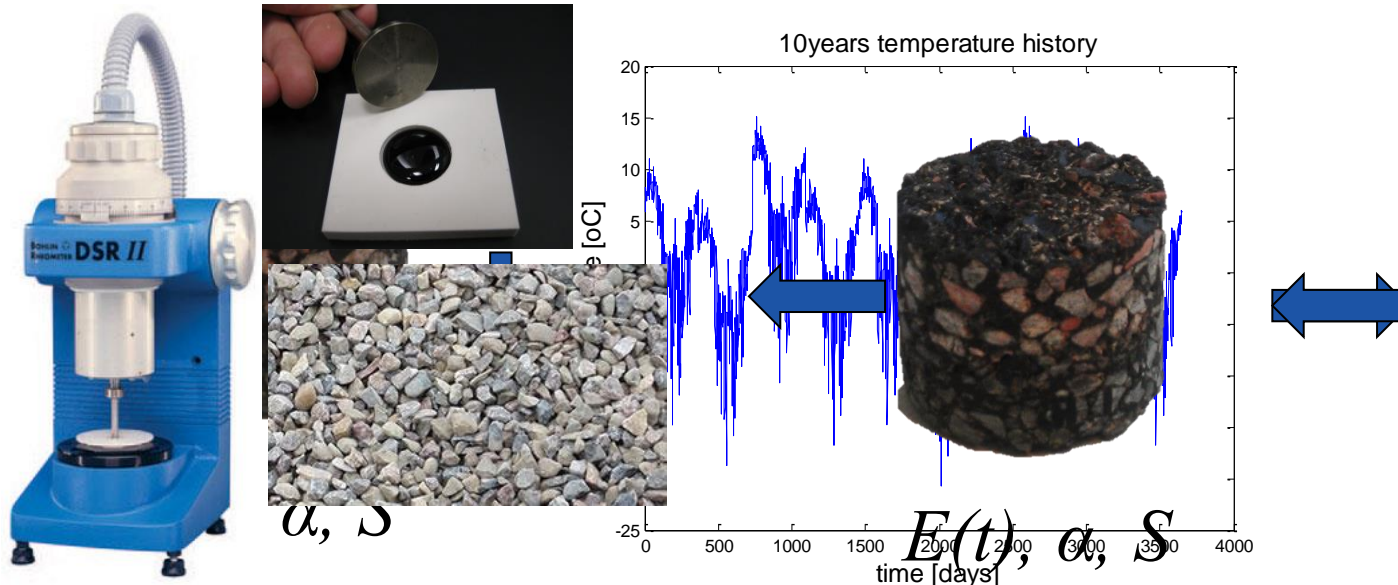


Specification: AASTHO TP-10-93
Cooling Rate: -10°C/hr

Предотвращение повреждений от температурной нагрузки

Представленные методы тестирования позволяют оценить:

- *относительную стойкость материалов к температурной нагрузке,*
- *пределы допустимых физико-механических характеристик материалов,*
- *критическую температуру.*



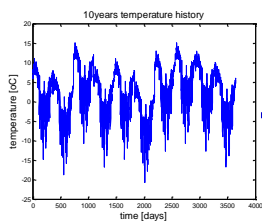
Модель разрушения асфальтобетона под действием температурной нагрузки

Разработана модель позволяющая описать:

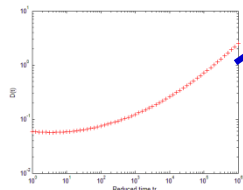
- *Накопление температурных напряжений и повреждений в асфальтобетоне;*
- *Образование и развитие температурных трещин.*

Das, Jelagin, Birgisson, 2013, Constr & Building Mats, 47

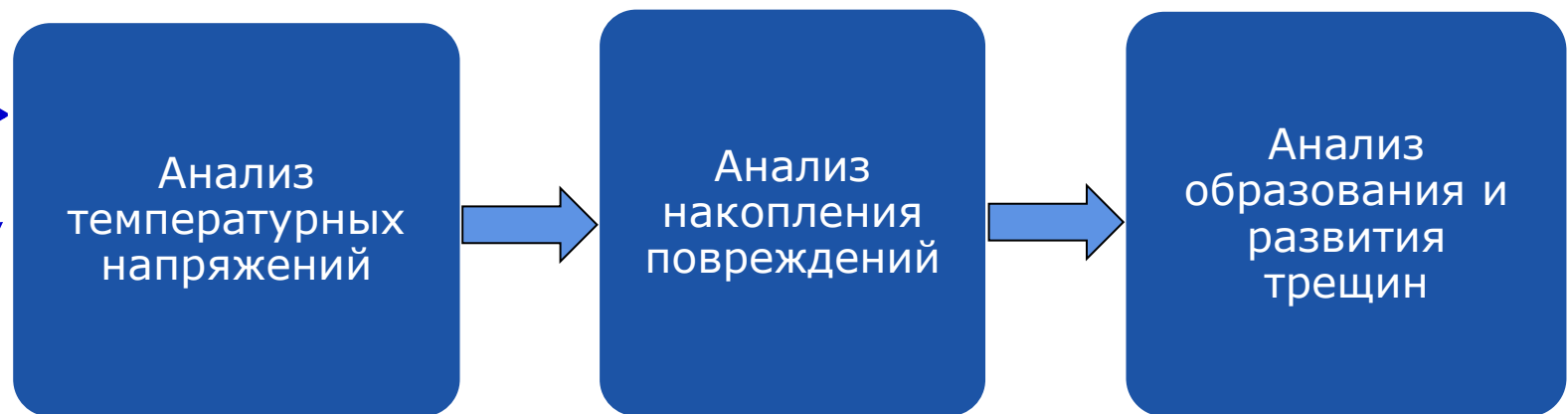
Das, Jelagin, Birgisson, 2015, Proc. of CTAA Conf., Winnipeg.



Температура, T , \dot{T}



Термомеханические свойства, $E(t)$, α



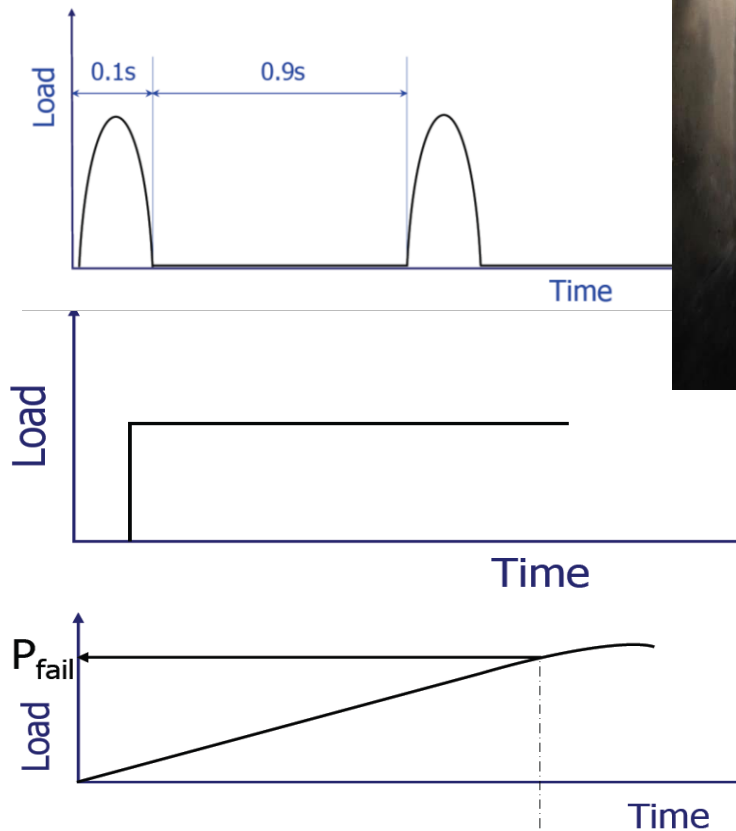
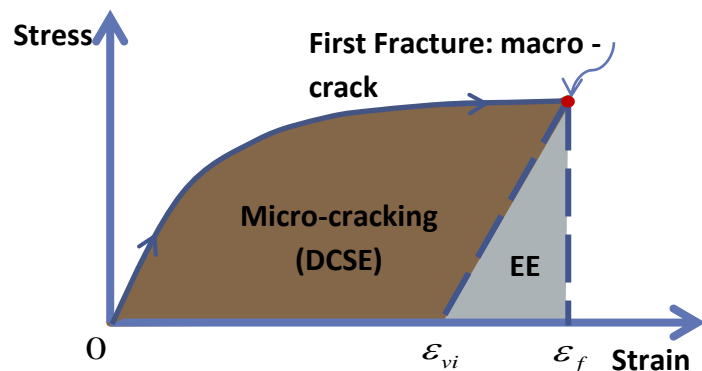
Трещиностойкость материала, HMA Fracture Mechanics, DCSEf, FE

SuperPave IDT

Упругие, вязкоупругие и прочностные характеристики асфальтобетона: $E(t)$, $DCSE_f$, FE_f .

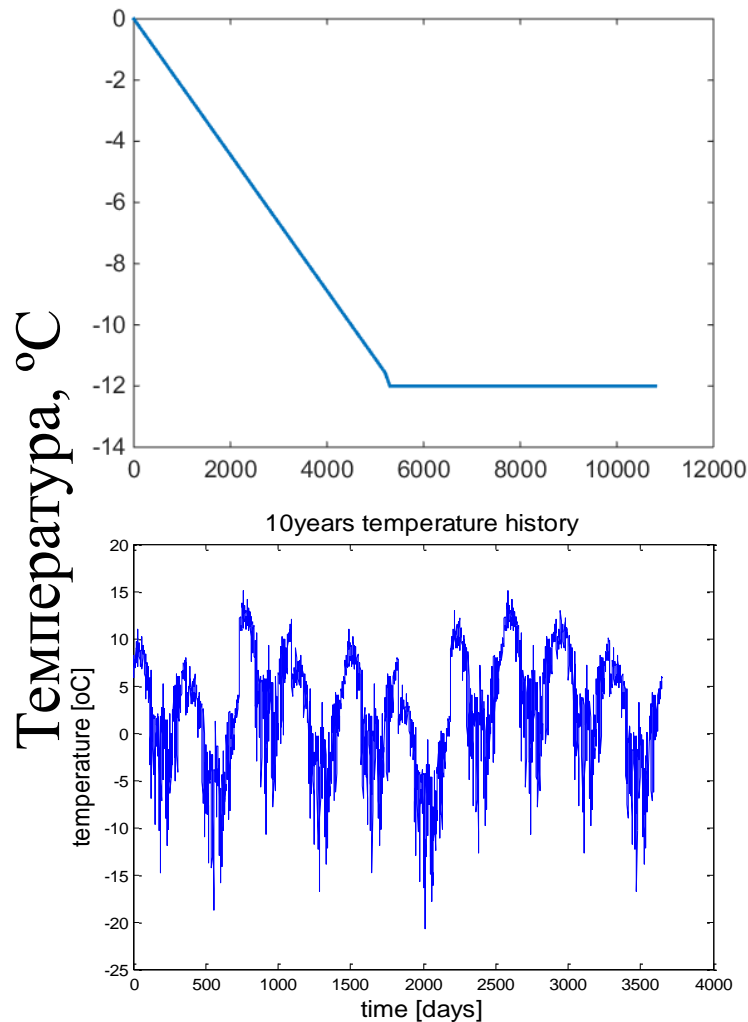
SuperPave IDT (InDirect Tensile Test):

- Упругость
- Вязкоупругость (ползучесть)
- Разрушение, $DCSE_f$, FE_f .

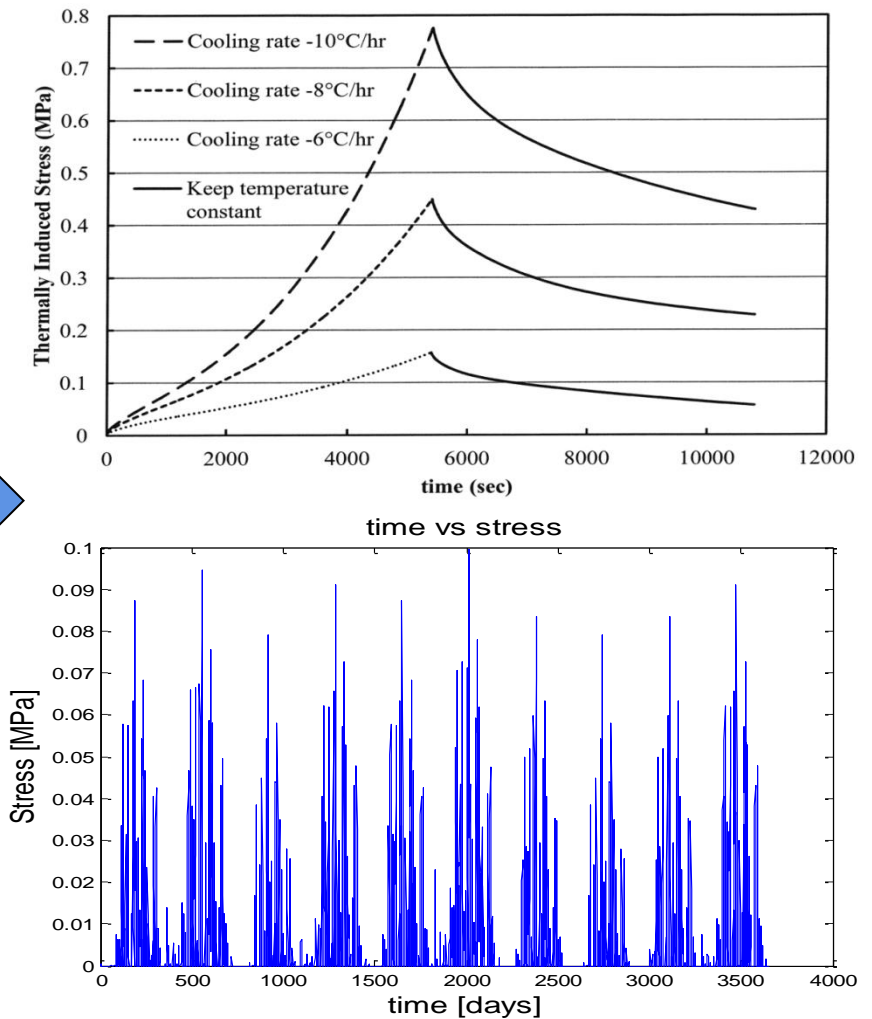


Модель

Анализ температурных напряжений



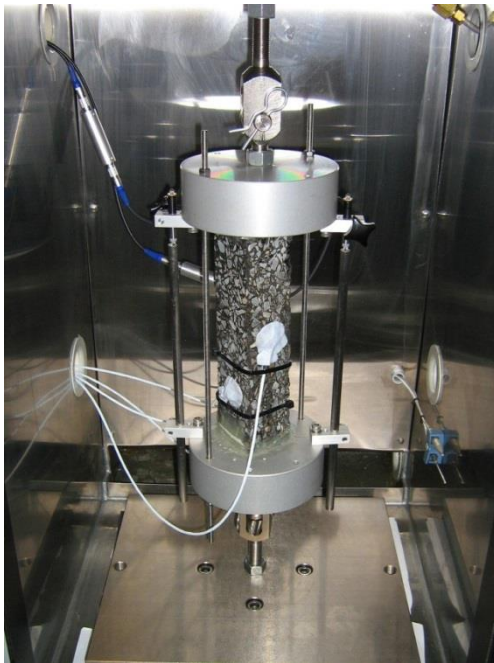
$$E(t), \alpha$$



Напряжение, МПа

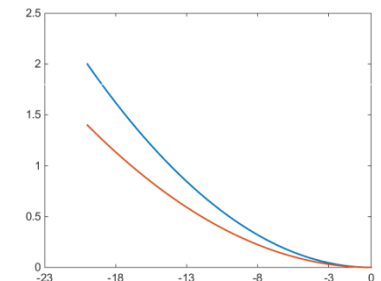
Верификация модели

- **Материалы:** асфальтобетоны типа АВТ11 на основе 3х типов битума (penetration grade 35/50, 70/100, 160/220).
- TSRST тест:



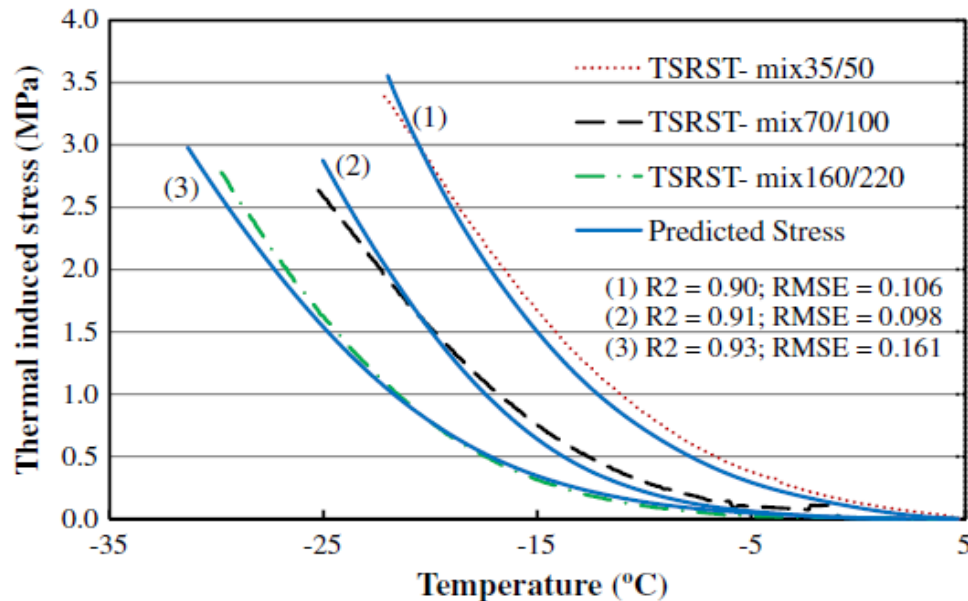
Материал	Критическая температура, °C	Предел прочности, МПа
35/50	-22.0	3.0
70/100	-26.5	2.7
160/220	-32.0	3.0

Кривые температурных напряжений

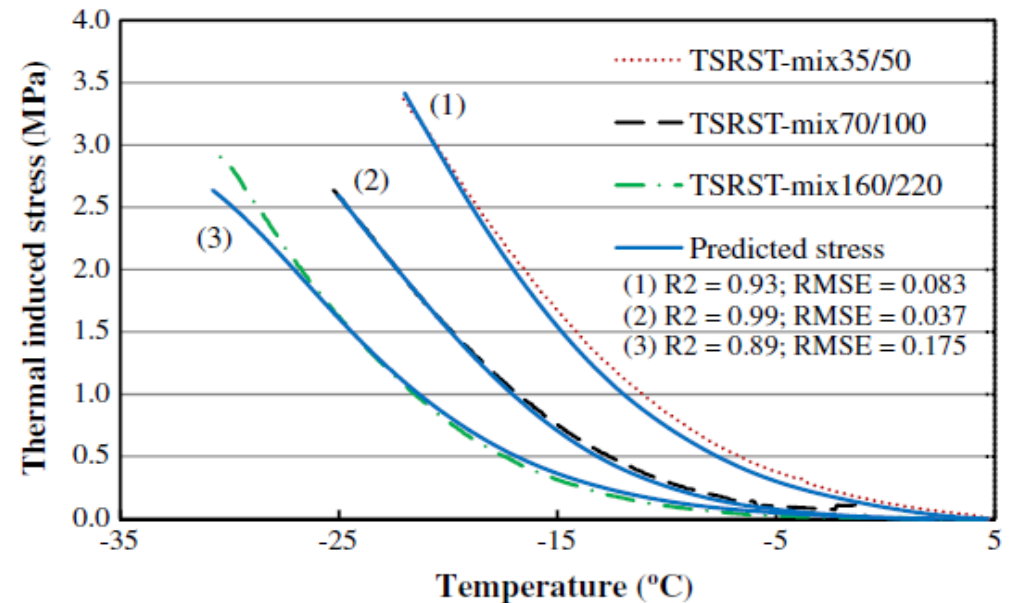


Результаты Температурные напряжения

$\alpha = \text{const}$



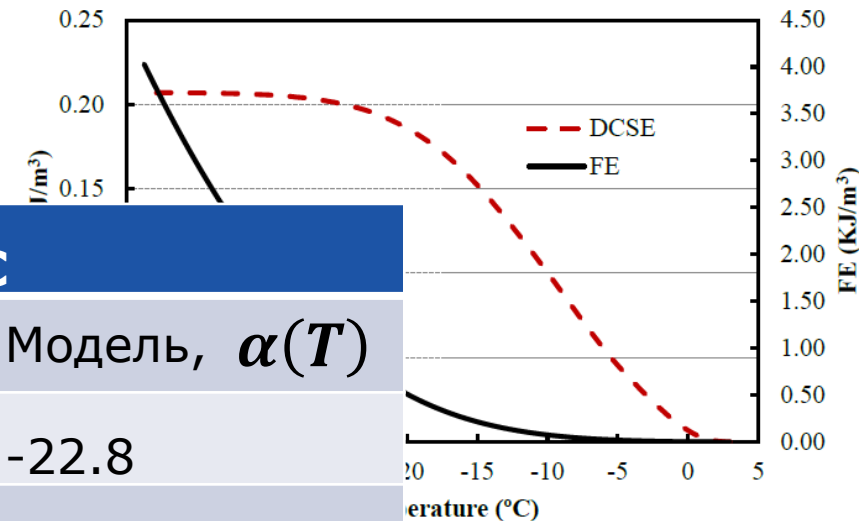
$\alpha(T)$



- Модель адекватно описывает температурные напряжения в асфальтобетоне
- Величина напряжений значительно зависит от α .
- Использование измеренных значений $\alpha(T)$ повышает точность модели.

Результаты Критическая температура

Материал	Критическая температура, °C		
	TSRST тест	Модель, α	Модель, $\alpha(T)$
35/50	-22	-13.4	-22.8
70/100	-26.5	-19.7	-23.6
160/220	-32	-23.8	-27.7



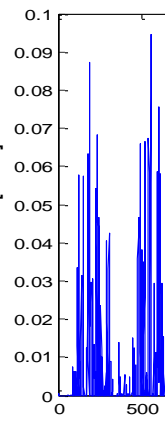
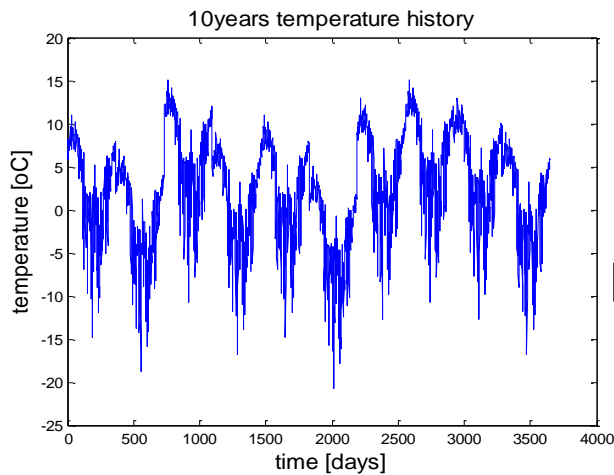
- Во всех рассмотренных случаях модель дает правильную оценку зависимости критической температуры от типа битума
- При использовании $\alpha(T)$ разница между моделью и TSRST <15% (в пределах отклонений TSRST от полевых результатов)
минимальная температура тестирования в SuperPave IDT -20 °C

Оценка влияния температурной нагрузки на срок службы

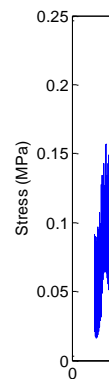
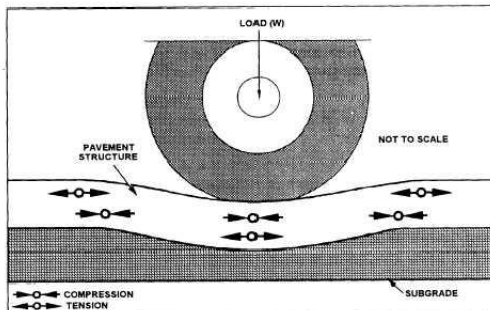
Влияние произвольной температурной нагрузки на трещинообразование в слоях асфальтобетона:

Нагрузка

Температура, °C

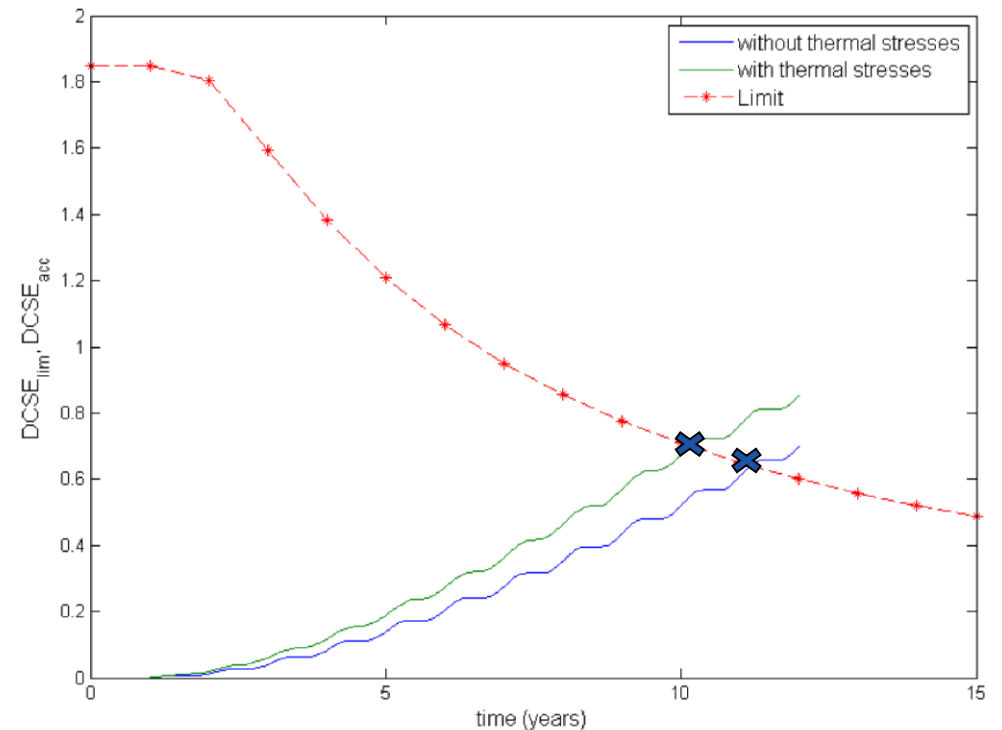


Трафик

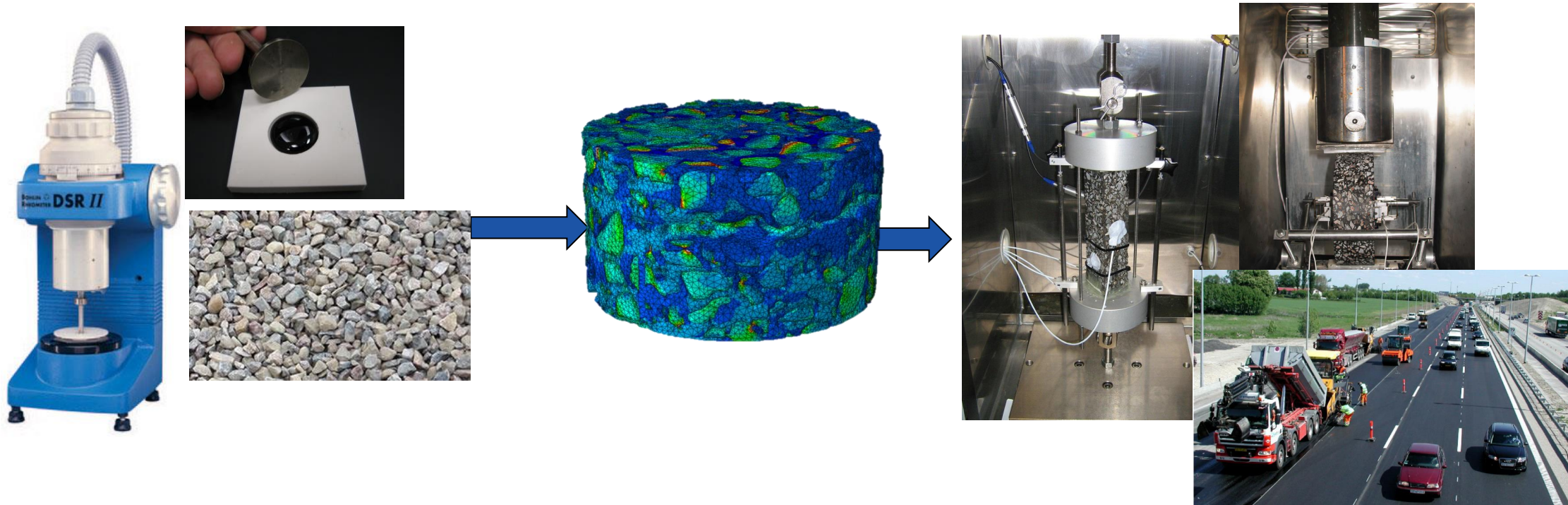


Напряжения

time vs stress



Влияние параметров асфальтобетона на температурные повреждения

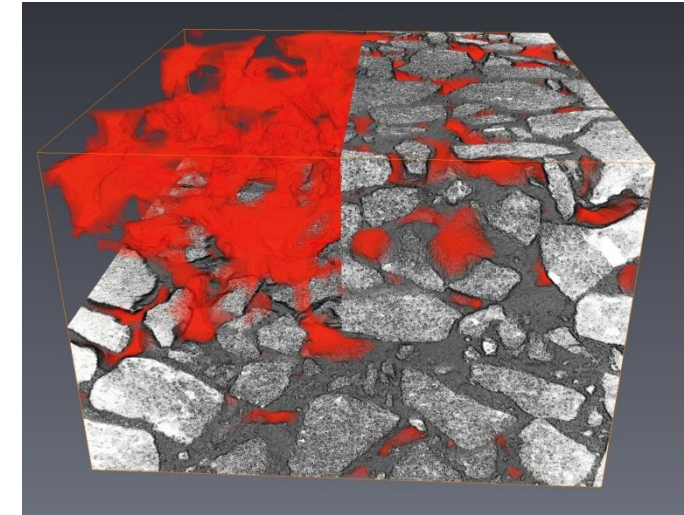


- Микромеханическое моделирование асфальтобетона на основе рентгеновской томографии
- Разработка нового метода тестирования битумно-минерального вяжущего

Микромеханическое моделирование асфальтобетона



X-Ray CT system to acquire images with spatial resolution of 5-100 μm



Avizo® Fire to **segment** CT data and to obtain **quantitative parameters** for specimens structure

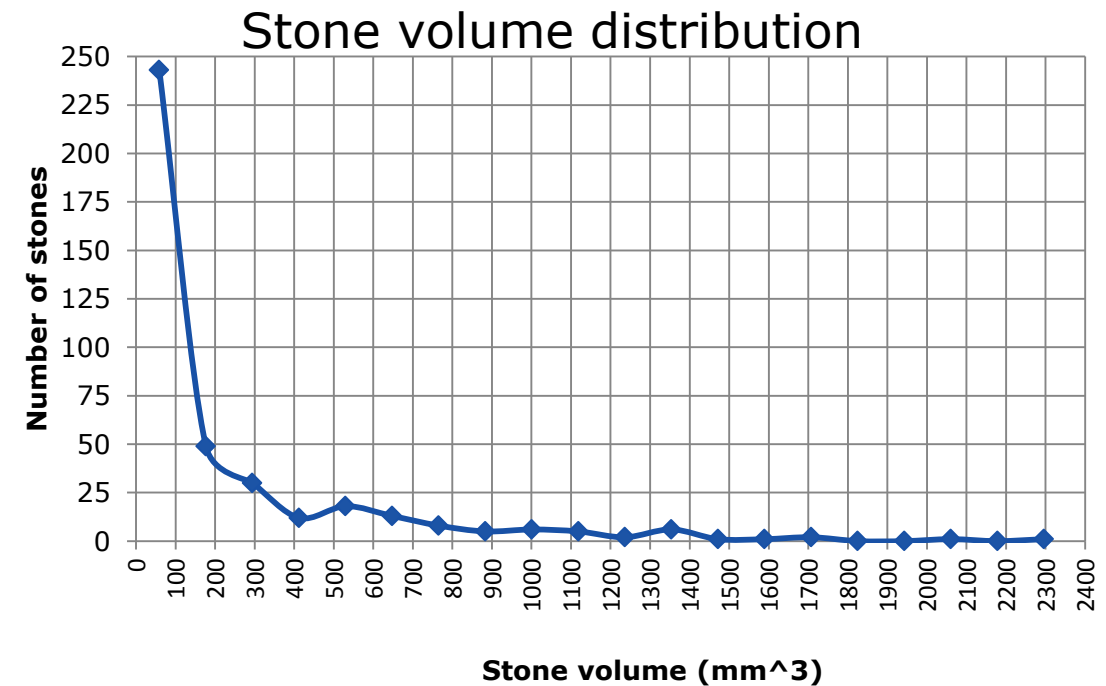
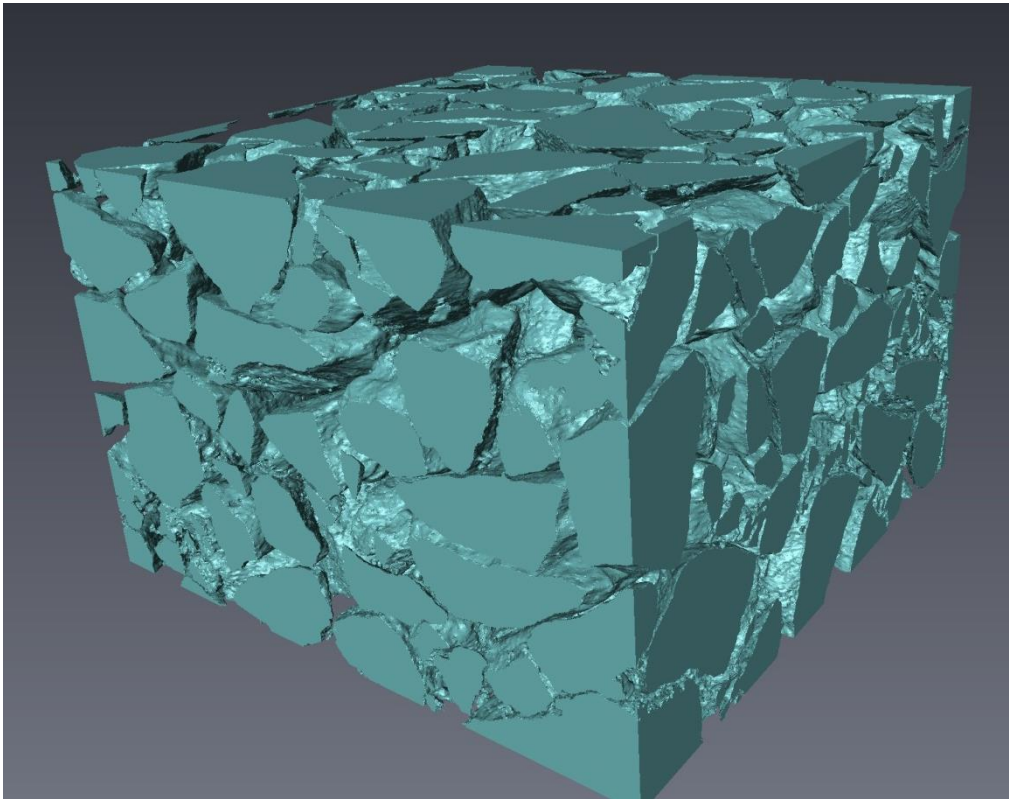
Use **mechanical testing** to investigate the impact of the observed internal structure on materials performance

FEM modeling to quantify the effect of different micromechanical and geometrical parameters on materials performance

*Preprocess
for FEA*

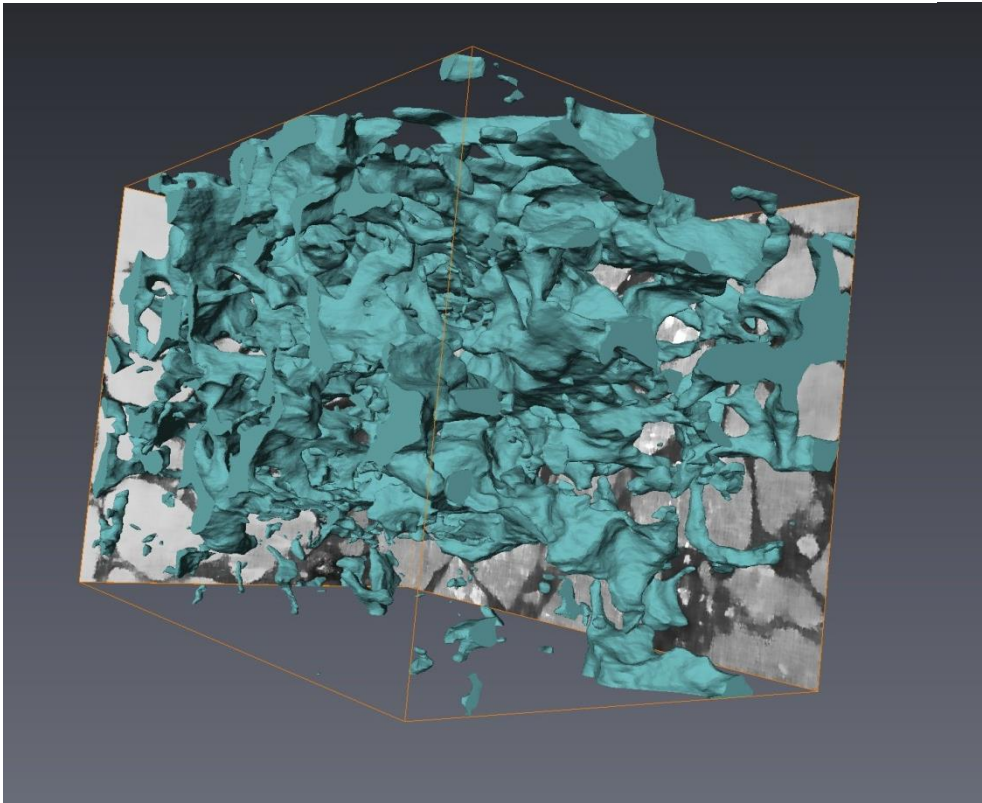
Микромеханическое моделирование асфальтобетона

Reconstructed stone surfaces

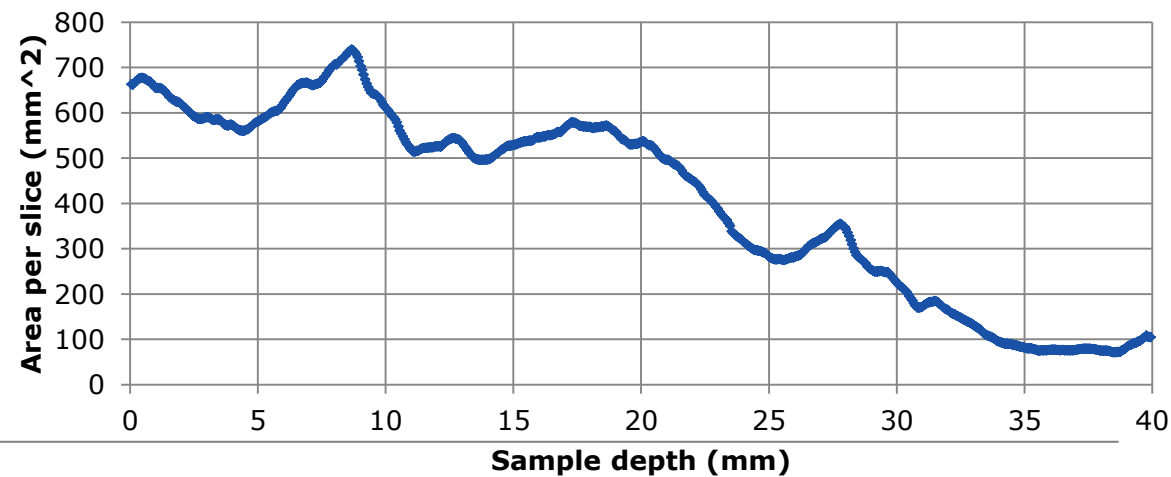


Микромеханическое моделирование асфальтобетона

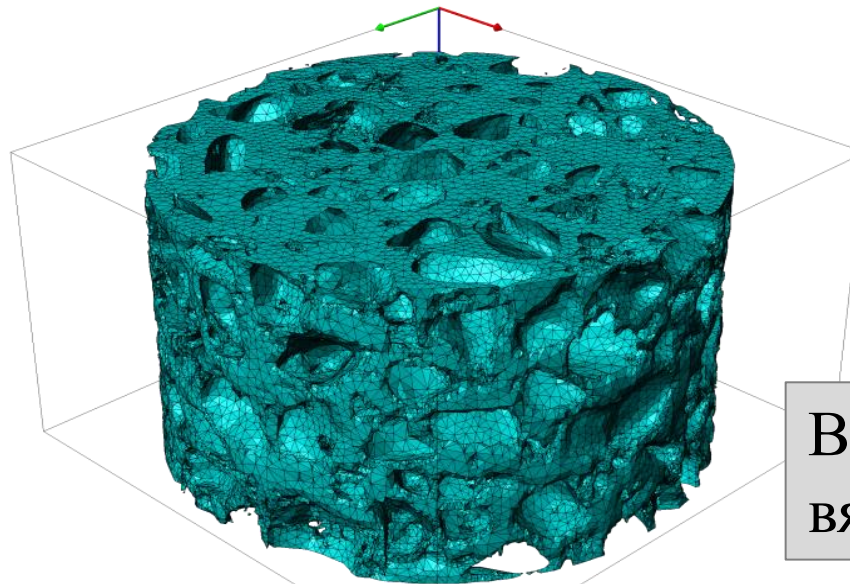
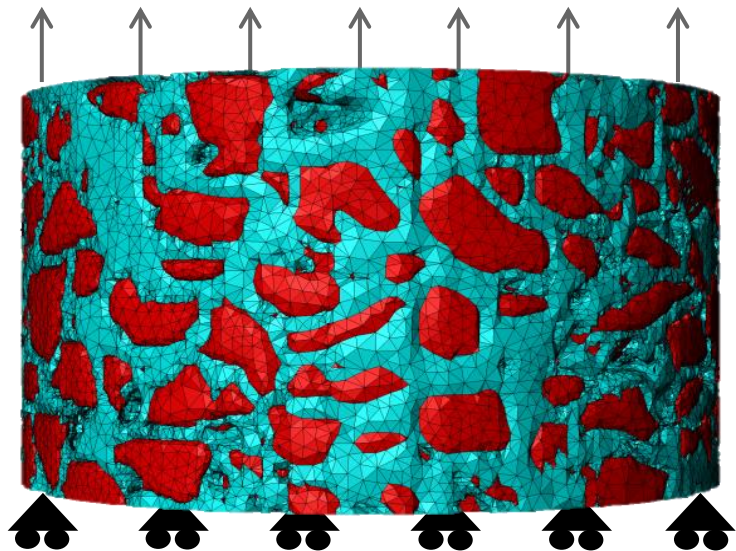
Reconstructed air voids surfaces



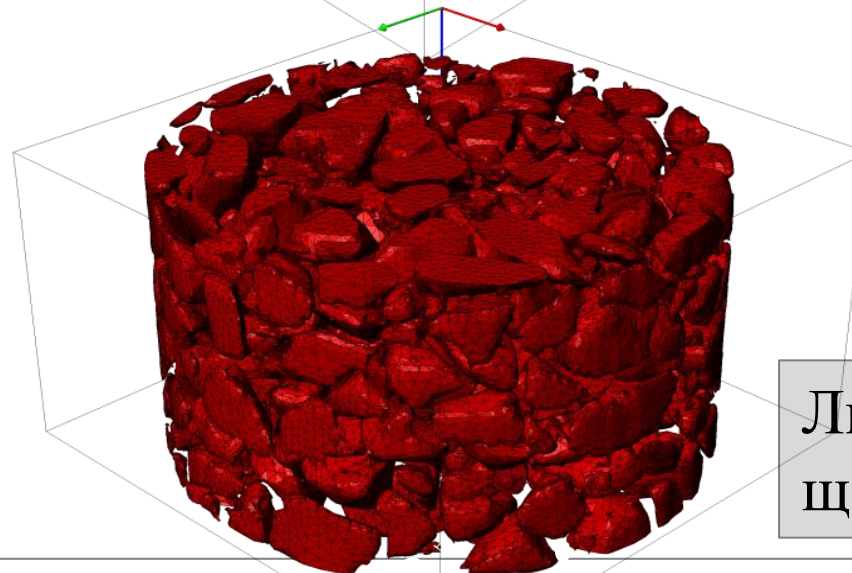
Void distribution



Микромеханическое моделирование асфальтобетона

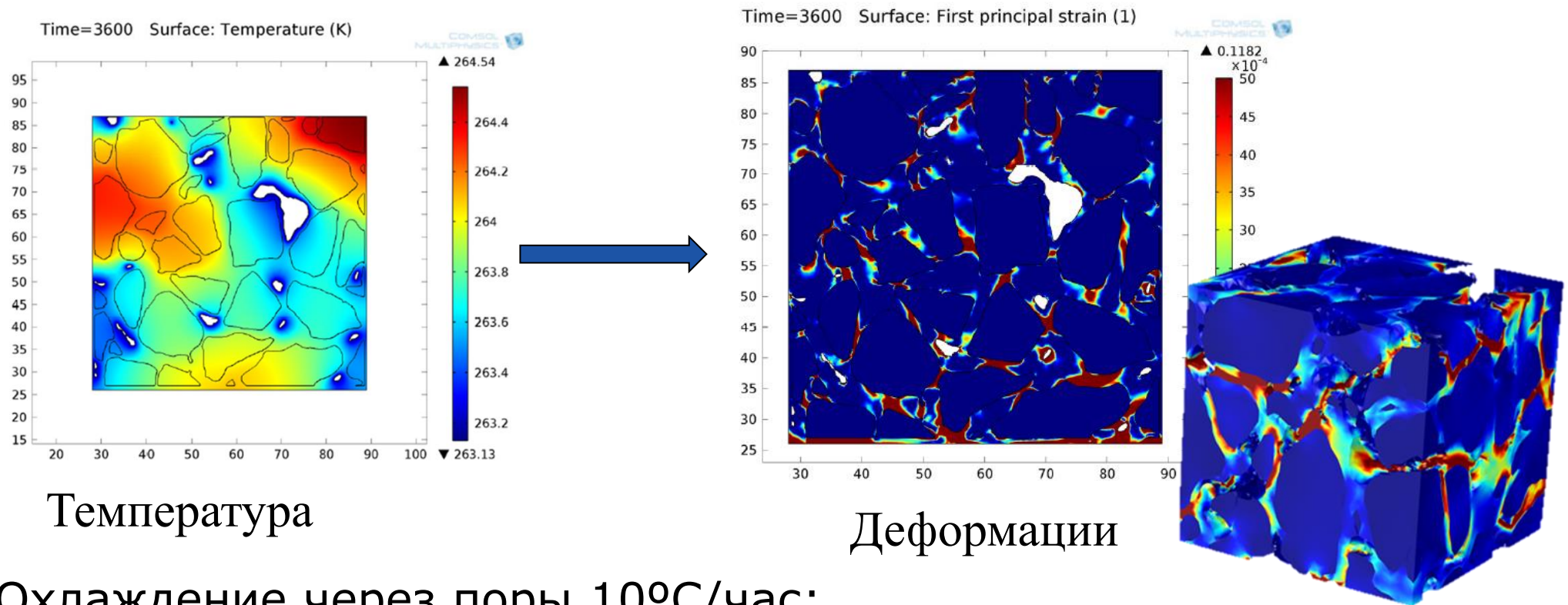


Вязкоупругое
вяжущее, $G(t)$, α



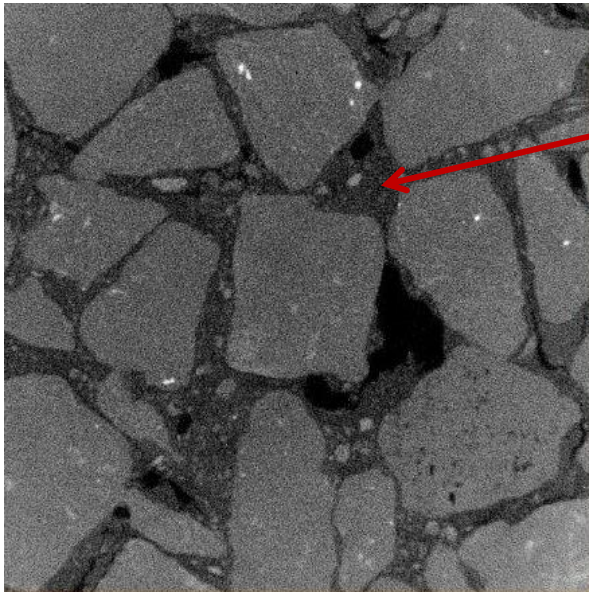
Линейно упругий
щебень, E , ν , α

Микромеханическое моделирование асфальтобетона



- Охлаждение через поры $10^{\circ}\text{C}/\text{час}$:
 - Расстягивающие деформации локализуются в фазе вяжущего
 - Величина деформаций зависит от структуры материала и релаксационных свойств вяжущего

Оценка влияния свойств вяжущего на температурные повреждения



$G(t)$ —?

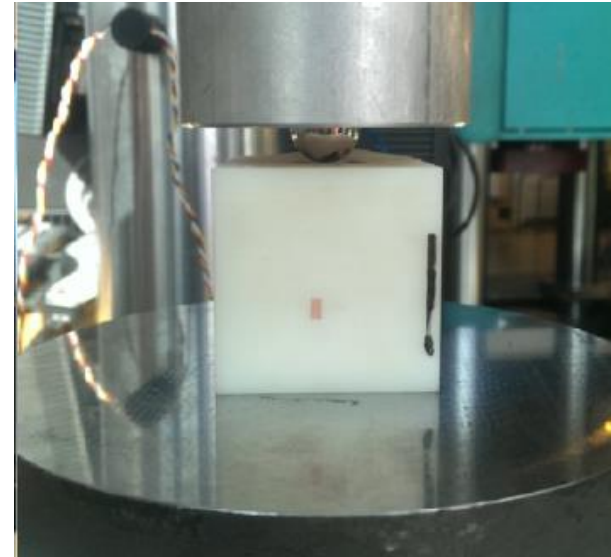
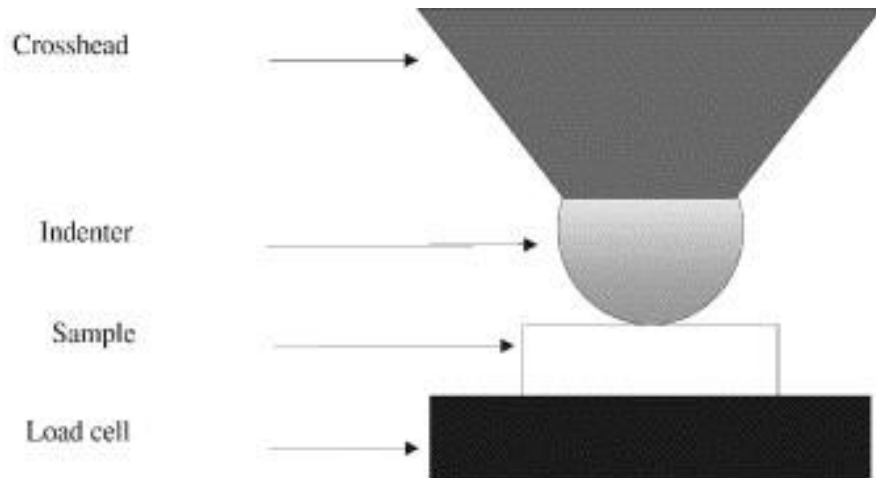
Вязкоупругие свойства битумно-минерального вяжущего?

При репрезентативных:

- Концентрациях минерального порошка
- Масштабах
- Климатических нагрузках

=> Разработка нового метода тестирования на основе индентирования

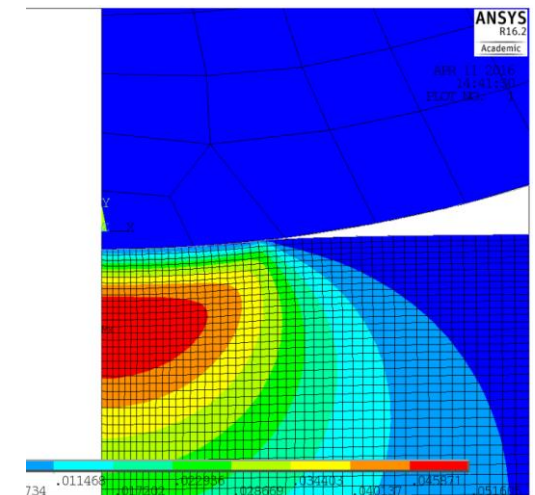
Мультимасштабное измерение свойств битумно-минерального вяжущего



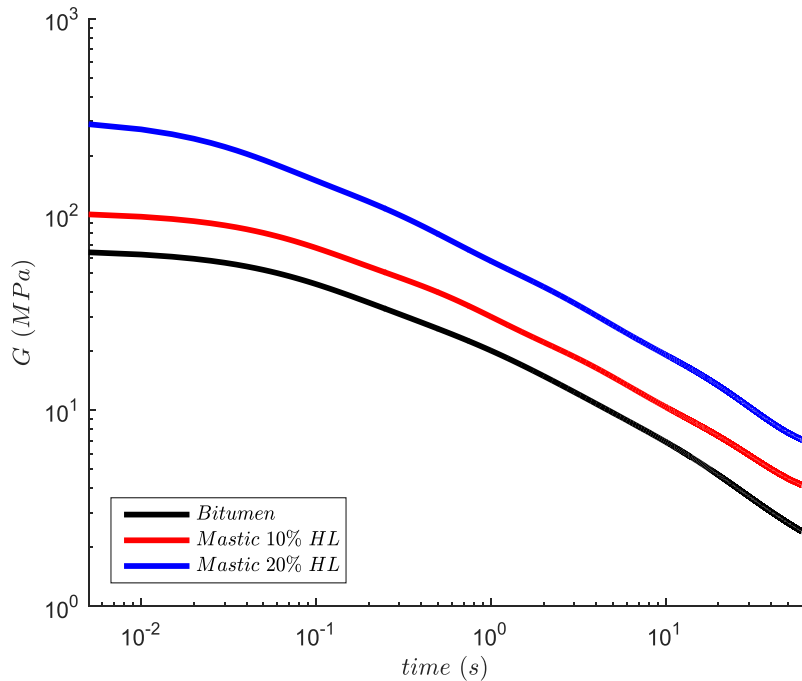
$$P(t), h(t), v \Rightarrow G(t)$$

Объём нагруженной зоны зависит от размера зоны контакта => легко контролировать масштаб измерений

Fadil & Jelagin, Experimental Mechanics, 2017



Мультимасштабное измерение свойств битумно-минерального вяжущего



Material	(percentage Increase)	
	DSR	Indentation
Mastic (10% HL)	17%	15%
Mastic (20% HL)	76%	74%

Влияние концентрации минерального порошка на $G(t)$ при $T=0^\circ\text{C}$:

- Количественное изменение вязкоупругих свойств
- Снижение релаксационных характеристик
- На макромасштабе результаты согласуются с DSR

Fadil, Jelagin et al., Experimental Mechanics, 2017

Выводы

- Разработанная модель позволяет оценить для произвольной температурной нагрузки:
 - Температурные напряжения
 - Повреждения наносимые единовременными и циклическими температурными нагрузками ($DCSE(t)$, T_{crit})
- Все необходимые параметры материала получены на SuperPave IDT

Распространенный тест для оценки сопротивления асфальтобетона усталостному разрушению.
- Микромеханическое моделирование асфальтобетона на основе рентгеновской томографии позволяет количественно оценить влияние параметров дизайна асфальтобетона на температурные повреждения