



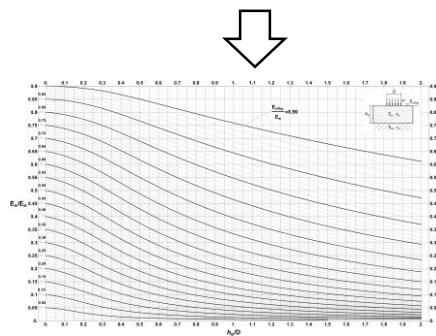
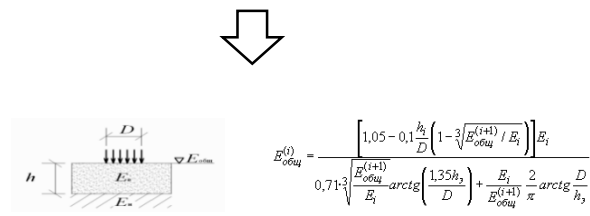
11-17 ноября 2023

Исследования в области пересмотра методики расчета нежестких дорожных одежд

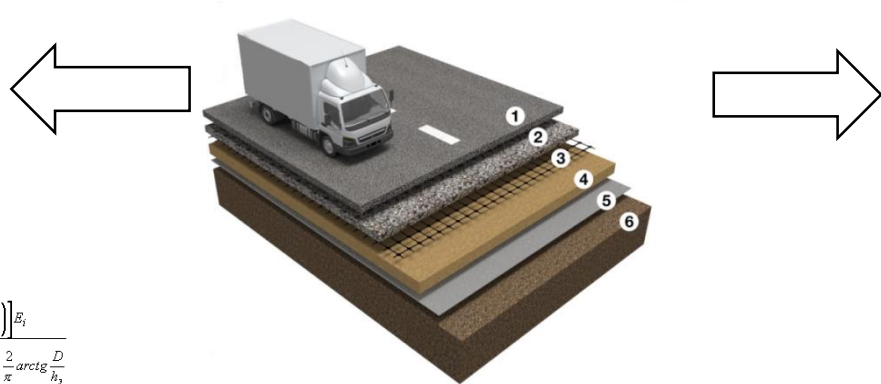
Симчук Евгений Николаевич
Генеральный директор
АНО НИИ ТСК

Расчет напряжений и деформаций при проектировании дорожной одежды

Методика, использующая упрощенную схему: приведение многослойной конструкции к двухслойной и использование номограмм для определения НДС

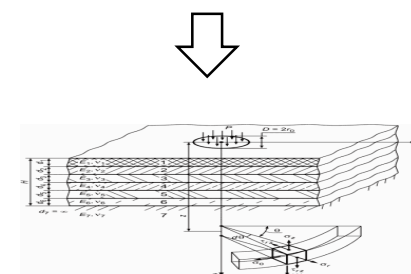


Использовались в ВСН 46-60, ВСН 46-72, ВСН 46-83, ПНСТ 265
Используются в ОДН 218.046 и ПНСТ 542



Разница в результатах расчета напряженно-деформированного состояния между двухслойными и многослойными моделями может составлять **до 30% в сторону увеличения напряжений и деформаций**, что приводит к необходимости увеличению ее капитальности по отдельным критериям

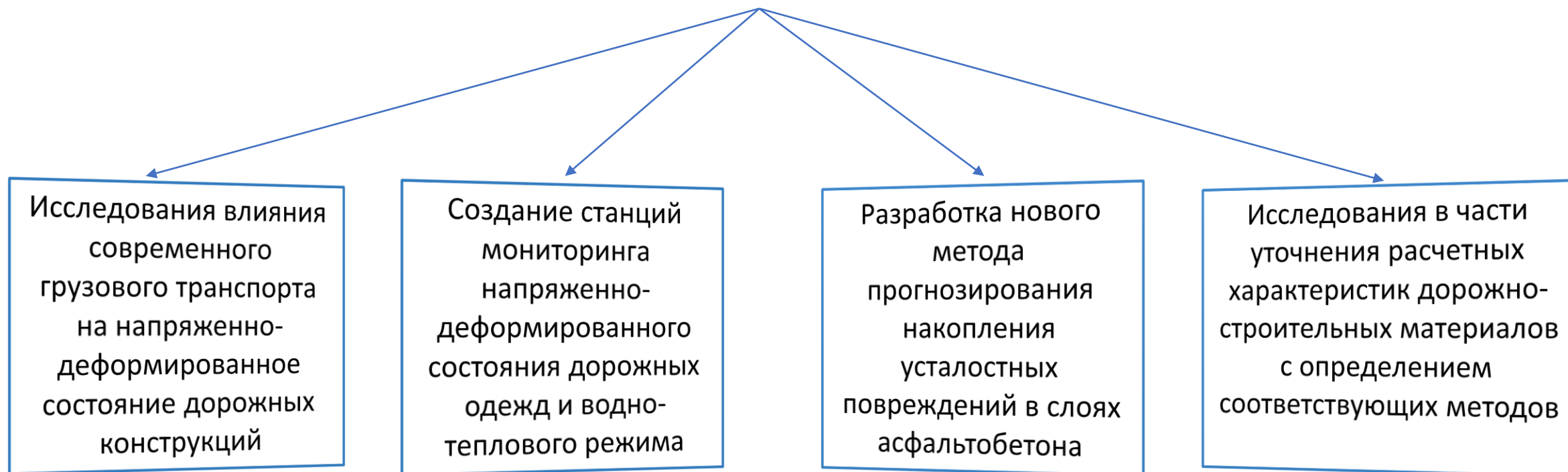
Методика расчета без приведения к упрощенным схемам без использования номограмм, но с использованием программных продуктов



ОДМ 218.3.1.005-2021 «Методические рекомендации по расчету параметров напряженно-деформированного состояния многослойных конструкций при воздействии колесных нагрузок» и программный комплекс **SIGMApro**

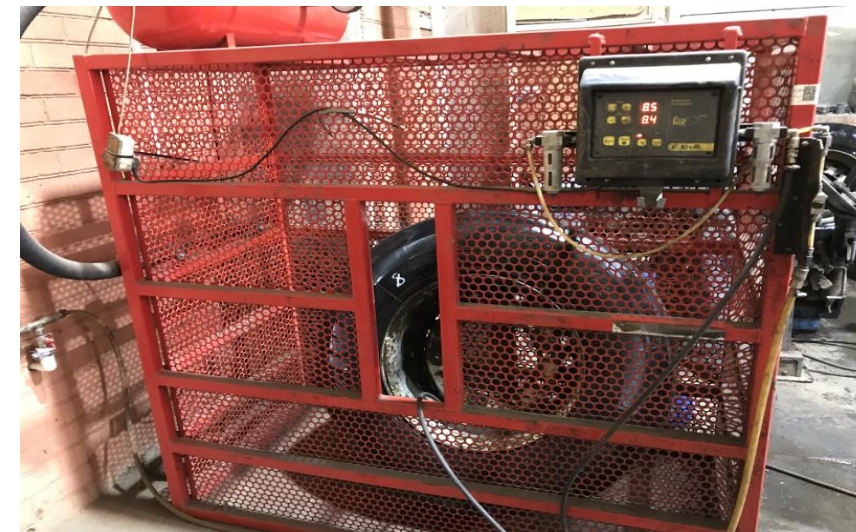
Используется для набора статистики и уточнения коэффициентов прочности совместно с упрощенной методикой в ПНСТ 542 «ДАОП. Проектирование и расчет нежестких дорожных одежд»

Направление исследований



Исследования влияния современного грузового транспорта на напряженно-деформированное состояние дорожных конструкций

Исследования влияния современного грузового транспорта на напряженно-деформированное состояние дорожных конструкций



Установка систем мониторинга на грузовой автомобиль ООО « Газпромнефть-Битумные материалы»

Непрерывный мониторинг параметров грузового автомобиля

Шаблон: Отчет по колёсам

Элемент: DTM C2

За вчера с 00:00 до 23:59

Сегодня Вчера Месяц

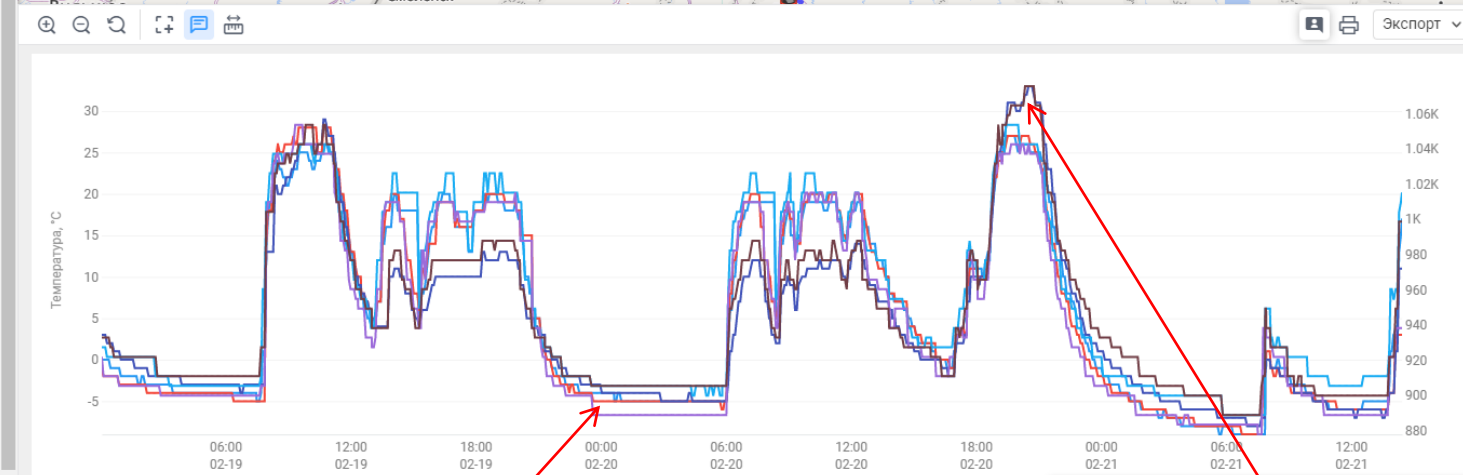
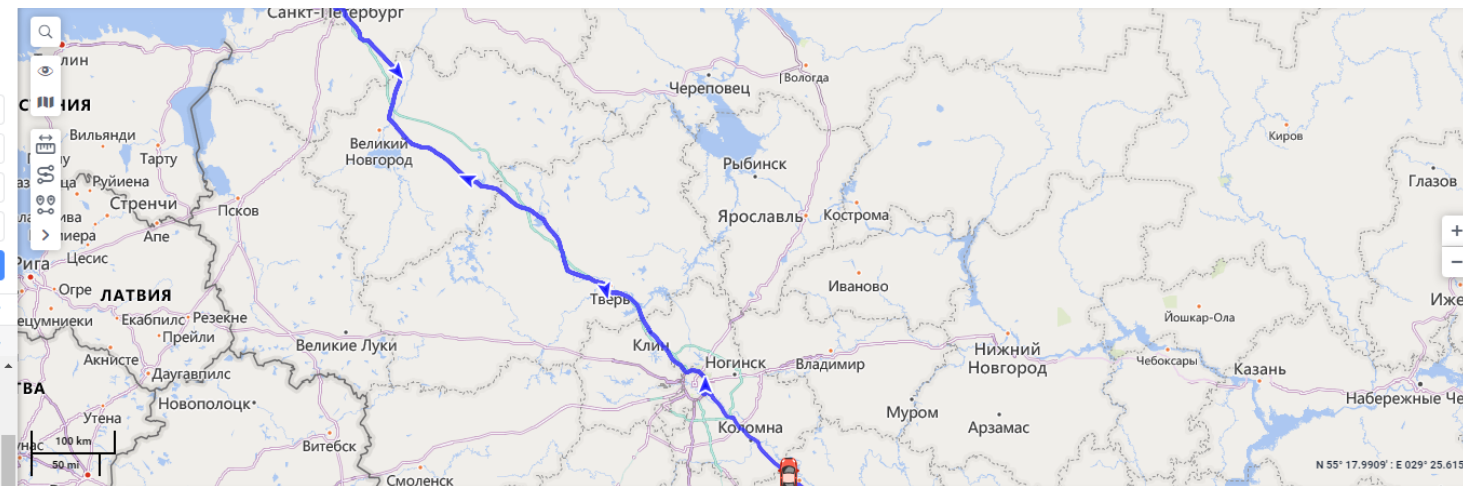
Интервал: Указанный интервал

От: 2023 Февраль 18 23:59

До: 2023 Февраль 22 00:00

Очистить Выполнить

- Шаблоны отчетов
- Результат отчета
- Температура колеса 1, °C
 - Температура колеса 2, °C
 - Температура колеса 3, °C
 - Температура колеса 4, °C
 - Температура колеса 5, °C
 - Температура колеса 6, °C
 - Температура колеса 7 (8), °C
 - Температура колеса 8 (9), °C
 - Температура колеса 9 (12), °C
 - Температура колеса 10 (13), °C
 - Температура колеса 11 (16), °C
 - Температура колеса 12 (17), °C
 - Давление колеса 1, кПа
 - Давление колеса 2, кПа
 - Давление колеса 3, кПа
 - Давление колеса 4, кПа
 - Давление колеса 5, кПа
 - Давление колеса 6, кПа
 - Давление колеса 7 (8), кПа
 - Давление колеса 8 (9), кПа
 - Давление колеса 9 (12), кПа
 - Давление колеса 10 (13), кПа
 - Давление колеса 11 (16), кПа
 - Давление колеса 12 (17), кПа

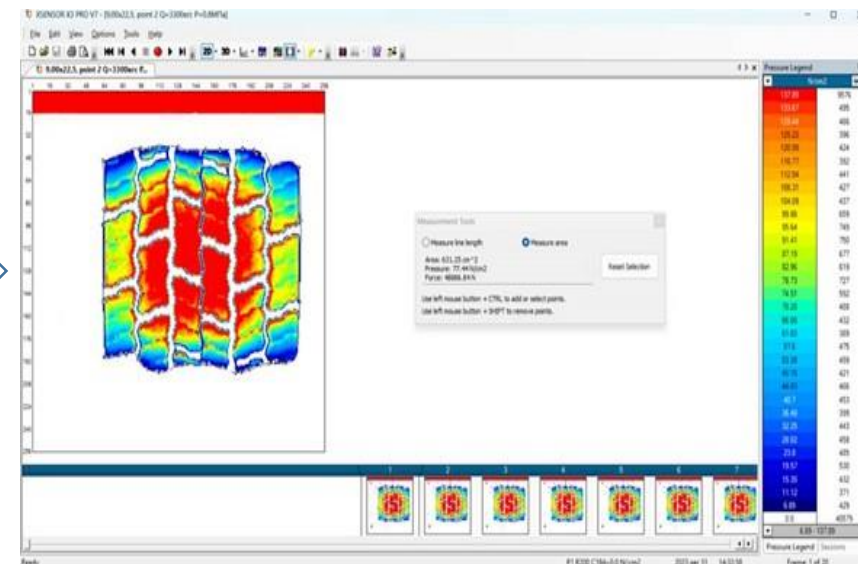


Нормативное расчетное давление по ГОСТ 32960 **0,8 МПа**

Нормативное давление от типоразмера и нагрузки в колесе автомобиля без движения **0,85-0,9 МПа**

Максимальное фактическое давление в колесе автомобиля при движении **1,15 МПа**

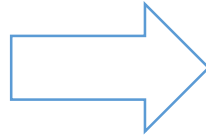
Стендовые испытания колес при различном давлении и нагрузке в специализированном аккредитованном испытательном центре



- ✓ 5 наиболее распространенных типов грузовых колес
- ✓ Различное давление в колесе, полученное по результатам мониторинга движения автомобиля
- ✓ Диапазон нагрузки составляет от 40 до 120% от допустимой на колесо
- ✓ **Максимальное контактное давления** на покрытие для ряда шин превышает **1,0 МПа**, что существенно выше расчетного давления, принимаемого при проектировании капитальных дорожных одежд 0,8 МПа и облегченных дорожных одежд – 0,6 МПа
- ✓ Исследования различных типов шин при рабочих давлениях и нагрузках продолжаются

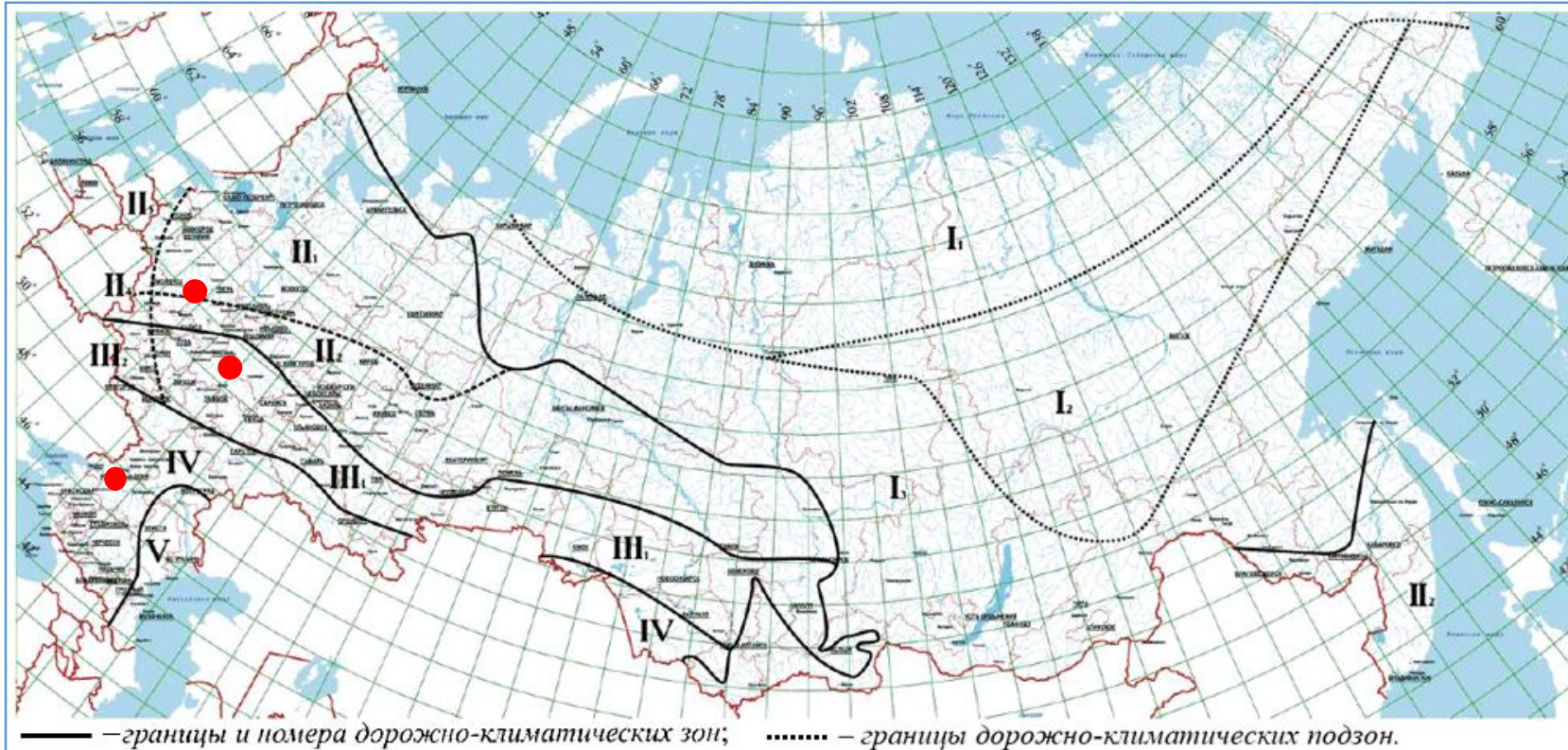
Создание станций мониторинга напряженно-деформированного состояния дорожных одежд и водно-теплового режима

Задачи



Оценка напряженно-деформированного состояния дорожных одежд

Мониторинг водно-теплового режима в различное время года



В 2022-2023 годах устроено 3 станции мониторинга в II, III и IV ДКЗ

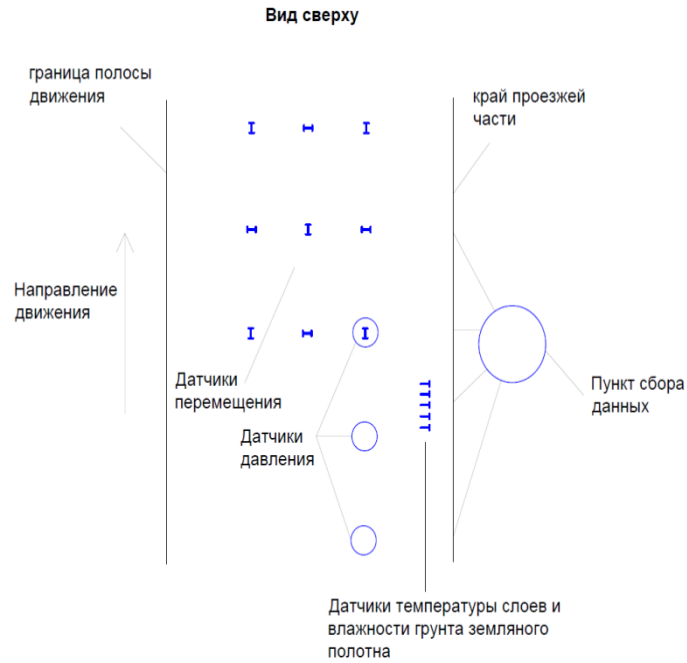
II ДКЗ – Автомобильная дорога М-9 «Балтия», км 214+600 — км 220+000, Тверская область

III ДКЗ – Автомобильная дорога М-5 «Урал», км 286+000 — км 297+000, Рязанская область

IV ДКЗ – Автомобильная дорога А-135, км 0+000 — км 6+000, Ростовская область

В дальнейшем планируется устроить 2 станции мониторинга в I ДКЗ

Устройство станции мониторинга на автомобильной дороге М-5 «Урал» в III ДКЗ в Рязанской области



Материалы конструктивных слоев	Проектная Толщина, см	Проектный модуль упругости на поверхности конструктивных слоев, при 10°C	Фактическая толщина, см
ЩМА-16 на БНД 70/100	5	$E_7 = 592.26$ МПа	4,8
A22Нт на БНД 70/100	7	$E_6 = 498.00$ МПа	7,4
A32От на БНД 70/100	10	$E_4 = 357.50$ МПа	11,8
Щебень фракции 31.5-63 мм, с заклиной фракционным мелким щебнем	32	$E_3 = 200.84$ МПа	29,6
Мелкий песок с содержанием пылеватых частиц 5%	35	$E_2 = 75.47$ МПа	33,2
Грунт - Тяжелый суглинок	-	$E_1 = 46.86$ МПа	-
Общая толщина, см	89		86,8

Экспериментальные испытания грузовым автомобилем и штамповыми установками на автомобильной дороге М-5 «Урал»



- ✓ Испытания штамповыми установками статического и динамического нагружения с различными осевыми нагрузками в различные времена года
- ✓ Нагружение автомобилем в статическом режиме
- ✓ Нагружение автомобилем в динамическом режиме на скоростях: 10 км/ч, 40 км/ч, 80 км/ч
- ✓ Нагружение одиночным и спаренным колесом

Результаты оценки несущей способности и параметров НДС в различные периоды года

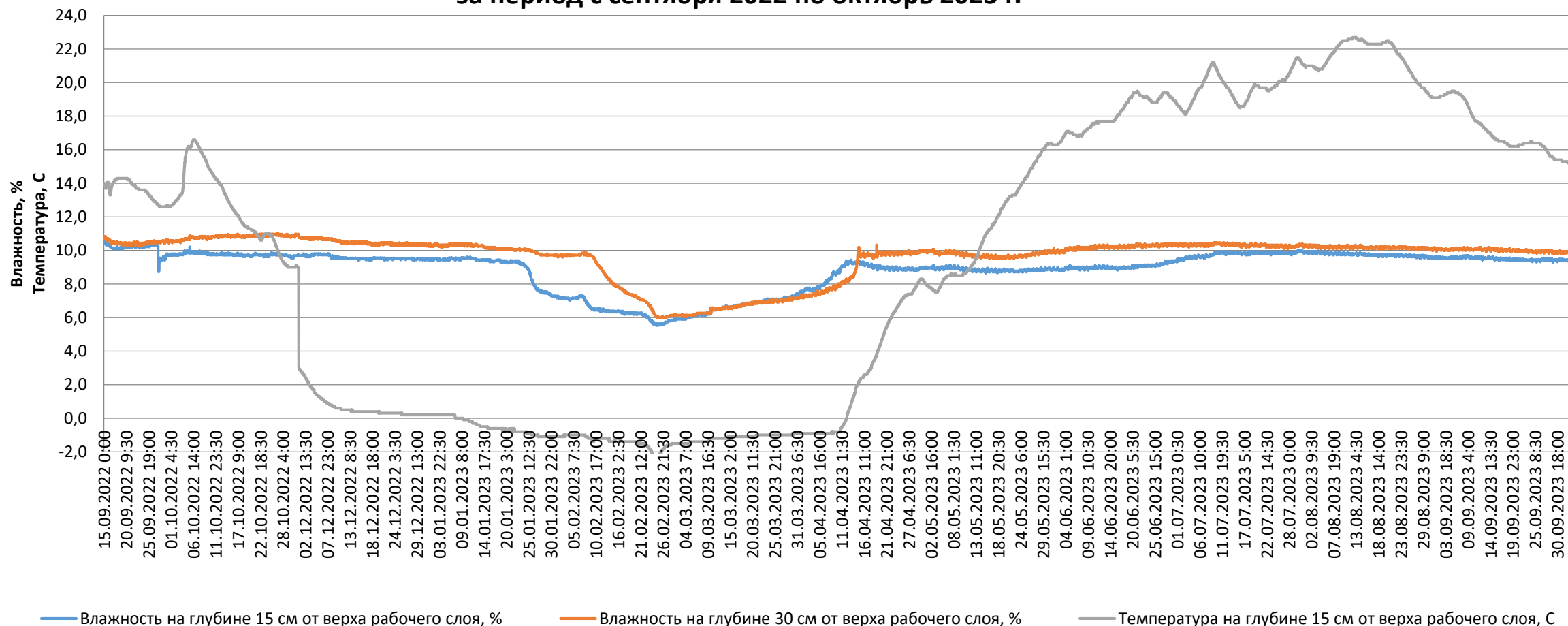
Показатель при <u>статическом</u> нагружении	Период года		
	Осень, температура слоя асфальтобетона 10°C на глубине 5 см	Весна, температура слоя асфальтобетона 20°C	Лето, температура слоя асфальтобетона 35,5°C
Общий упругости на поверхности, МПа	559,9	351,5	202,8
Давление на поверхности ППС МПа / % от расчетного давления на поверхности	<u>0,097</u> 13,8%	<u>0,123</u> 15,1%	<u>0,137</u> 16,9%
Давление на поверхности рабочего слоя от статической нагрузки МПа / % от расчетного давления на поверхности	<u>0,029</u> 4,1%	<u>0,040</u> 4,9%	<u>0,048</u> 5,9%
Растяжение на границе нижнего слоя из асфальтобетона от статической нагрузки, МикроСтрейн	134	167	219

Показатель при <u>динамическом</u> нагружении	Период года		
	Осень, температура слоя асфальтобетона 10°C на глубине 5 см	Весна, температура слоя асфальтобетона 20°C	Лето, температура слоя асфальтобетона 35,5°C
Общий упругости на поверхности, МПа	709,2	543,8	348,8
Давление на поверхности ППС МПа / % от расчетного давления на поверхности	<u>0,028</u> 3,9%	<u>0,044</u> 5,4%	<u>0,070</u> 8,6%
Давление на поверхности рабочего слоя от статической нагрузки МПа / % от расчетного давления на поверхности	<u>0,014</u> 2,0%	<u>0,019</u> 2,4%	<u>0,033</u> 4,1%
Растяжение на границе нижнего слоя из асфальтобетона от статической нагрузки, МикроСтрейн	48	56	112
Влажность в %	10,8 (23.10.2022)	9,6 (19.04.2023)	10,3 (18.07.2023)

- **Динамическое** нагружение при аналогичных параметрах воздействия (отпечаток колеса и давление) **оказывает меньшее воздействие на НДС**
- При **повышении температуры** асфальтобетона с 10 °С до 35,5°C давление на поверхность ППС **увеличилось на 41 %** при статическом и на **150% при динамическом** нагружении; на поверхность рабочего слоя – на 65% при статическом и 135% при динамическом нагружении.
- По **растягивающим деформациям**–деформации нижнего слоя асфальтобетона **в летний период увеличились** на 63% при статическом нагружении и на 134% при динамическом нагружении относительно осеннего периода

Наименьшая несущая способность **в летний период года** при наибольшей температуре слоев асфальтобетона (снижение общего модуля упругости в 2,7 раза при статическом нагружении и 2 раза при динамическом)

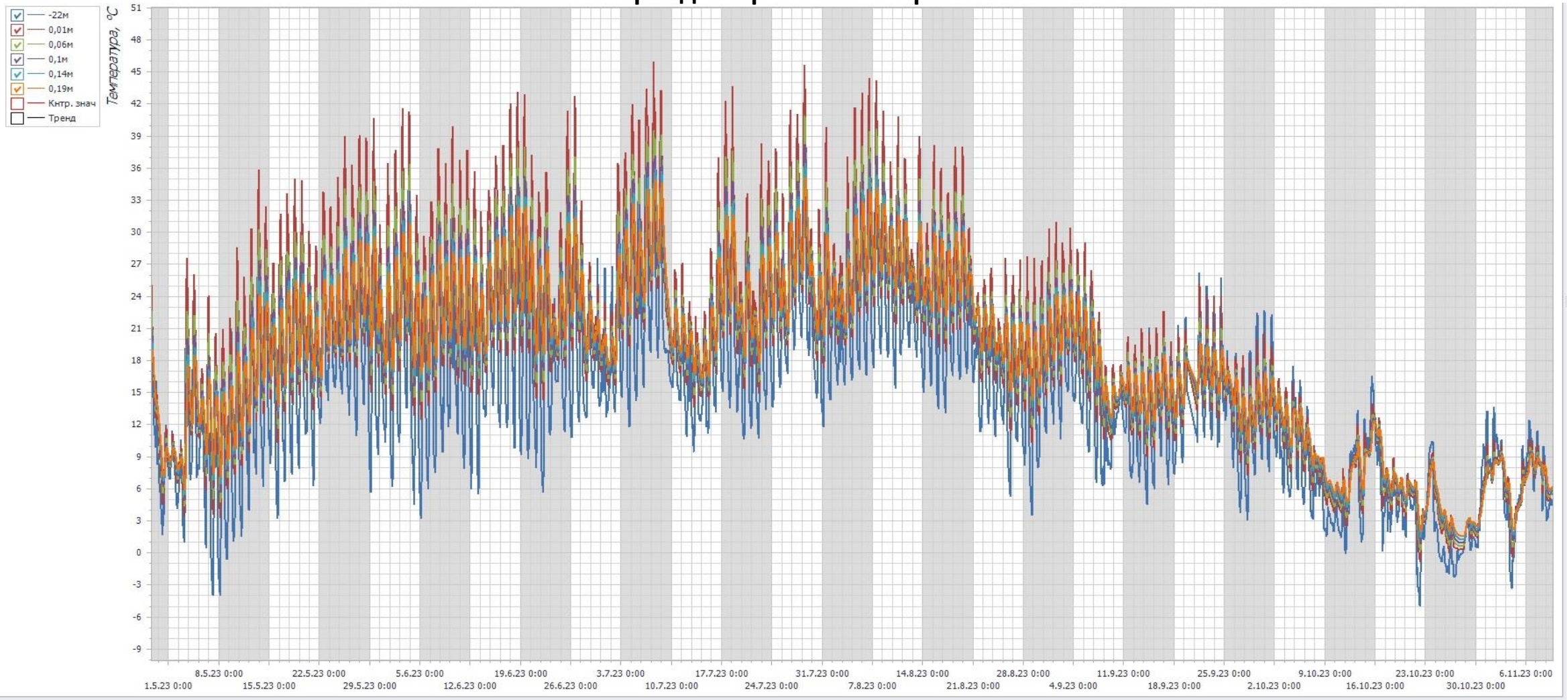
График изменения влажности и температуры рабочего слоя грунта на дороге М-5 «Урал» за период с сентября 2022 по октябрь 2023 г.



- Рабочий слой на глубину не менее 30 см промерз в 20-х числах января и оттаял в середине апреля. После оттаивания грунта его влажность повысилась на непродолжительный период (в пределах нескольких недель), затем снизилась и снова постепенно стала расти, достигнув стабильно высоких значений в летний период, в наиболее жаркие месяцы.
- Отклонения влажности в течение года (без учета периода замерзания) составляют до 2,0%.

Мониторинг температуры слоев асфальтобетона

График изменения температуры воздуха и слоев асфальтобетона на дороге М-5 «Урал»
за период с апреля по ноябрь 2023 г.

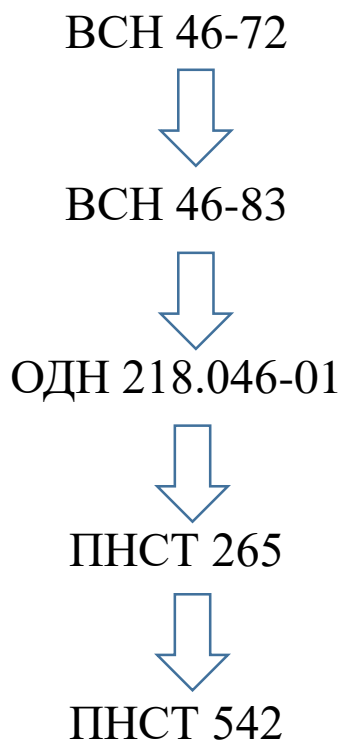


Наибольшие температуры в слоях асфальтобетона выявлены в летний период в июле месяце и в пиковые периоды достигают до **30,9°С** на глубине **22 см** и до **46,0°С** на глубине **3 см** от верха покрытия

Разработка нового метода прогнозирования накопления усталостных повреждений в слоях асфальтобетона

ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА НА СОПРОТИВЛЕНИЕ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ СЛОЕВ АСФАЛЬТОБЕТОНА

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ



ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ

$$\sigma_r < \frac{R_N}{K_{тр}^{пр}},$$

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - V_R t);$$

$$\sigma_r = \bar{\sigma}_r p k_B,$$

ОДН 218.046-01 ПНСТ 265 ПНСТ 542	ВСН 46-72 ВСН 46-83
$k_1 = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p}}$	Коэффициент усталости назначался по графику в зависимости от расчетной приведенной интенсивности движения на полосу

σ_r – наибольшее растягивающее напряжение в слое асфальтобетона, устанавливаемое расчетом;

R_N – предельное напряжение на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений;

$K_{тр}^{пр}$ – требуемый коэффициент прочности,

α – коэффициент учитывающий различия в лабораторном и реальном режиме нагружения,

m – показатель зависящий от усталостных свойств материала,

p – единичное давление,

k_B – коэффициент учитывающий особенности НДС монолитных слоев.

ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО МЕТОДА

- Отсутствие методов определения показателей, характеризующих сопротивление усталостным разрушениям различных видов асфальтобетонов
- Использование в расчете значений растягивающих напряжений, полученных путем приведения слоистой среды к двухслойному полупространству
- Отсутствие связи между эксплуатационным состоянием слоев асфальтобетона и значениями рассчитанными по данному критерию

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАКОПЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В СЛОЯХ АСФАЛЬТОБЕТОНА



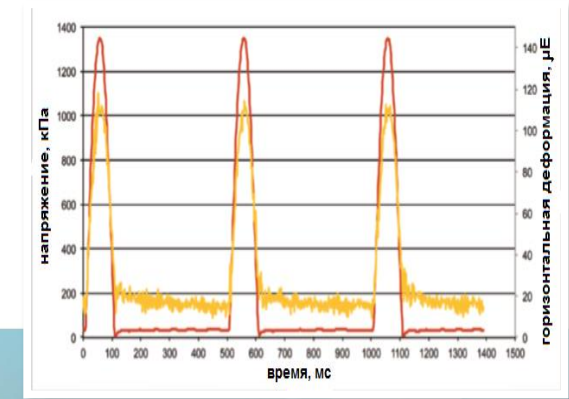
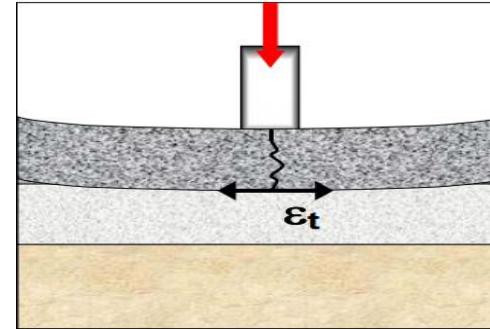
Цель

- ✓ Определение растягивающих деформаций и напряжений **без приведения** к двухслойному полупространству
- ✓ Учет сопротивляемости асфальтобетонов усталостному разрушению на основе построения зависимостей растягивающих деформаций от количества циклов приложения нагрузок в лабораторных условиях **по нормированной методике**
- ✓ Привязка моделей накопления усталостных разрушений к **реальному транспортно-эксплуатационному состоянию** покрытия автомобильных дорог

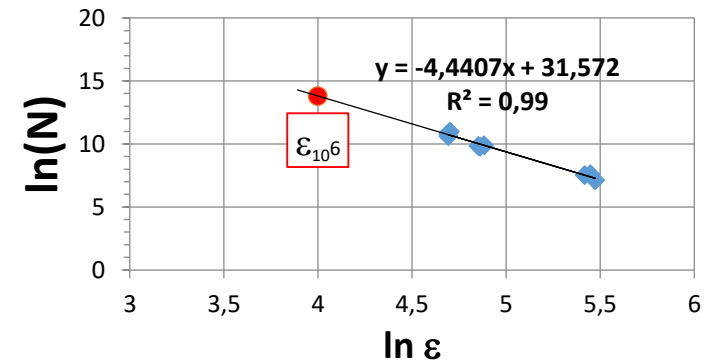
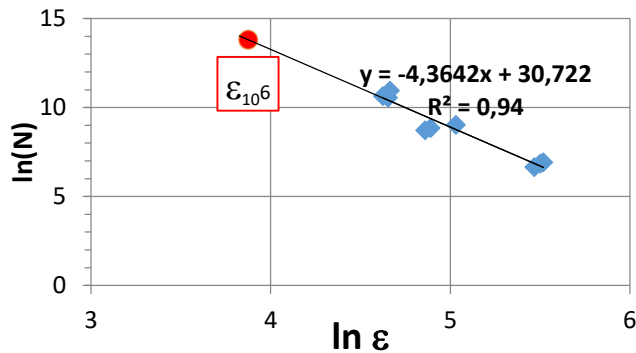
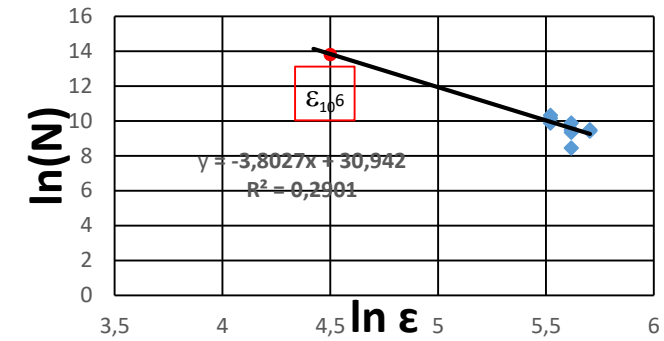
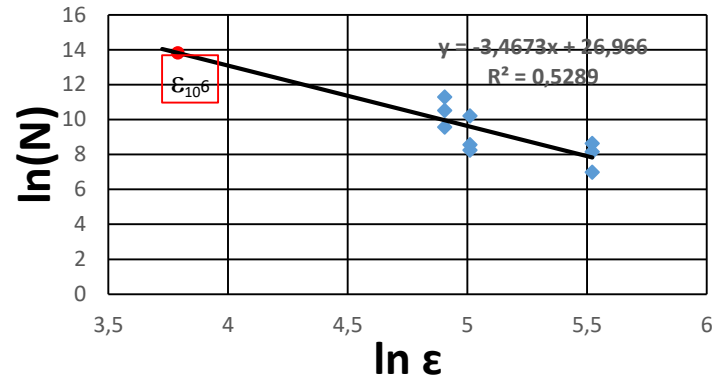
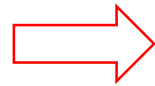
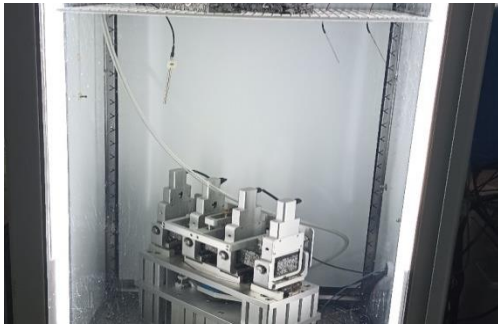
РАСЧЕТНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В ходе исследований были выполнены работы:

- Проведен анализ лучших мировых практик в области проектирования нежестких дорожных одежд в части прогнозирования усталостного трещинообразования
- Выполнен комплекс натурных испытаний по определению сжимающих и растягивающих деформаций на различной глубине пакета асфальтобетонных слоев от воздействия различных нагрузок на крупномасштабной модели дорожной одежды и на участках эксплуатируемых автомобильных дорог и проведено сопоставление с результатами численного моделирования
- Выполнены лабораторные исследования жесткости и усталостных свойств асфальтобетонов покрытия и основания
- Разработана структура метода прогнозирования усталостных разрушений



РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ



В ходе лабораторных испытаний установлено:

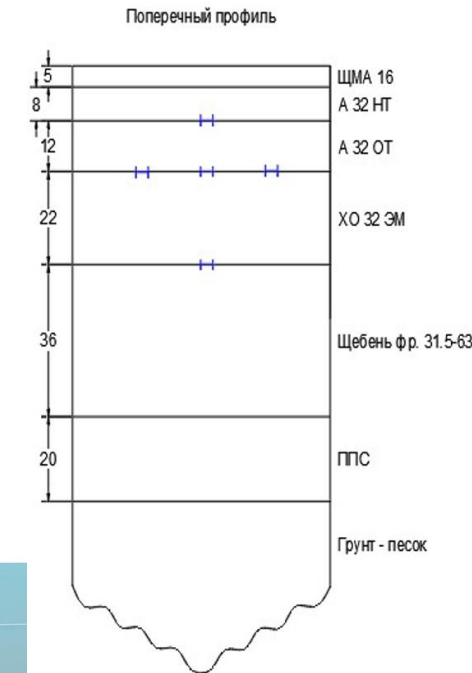
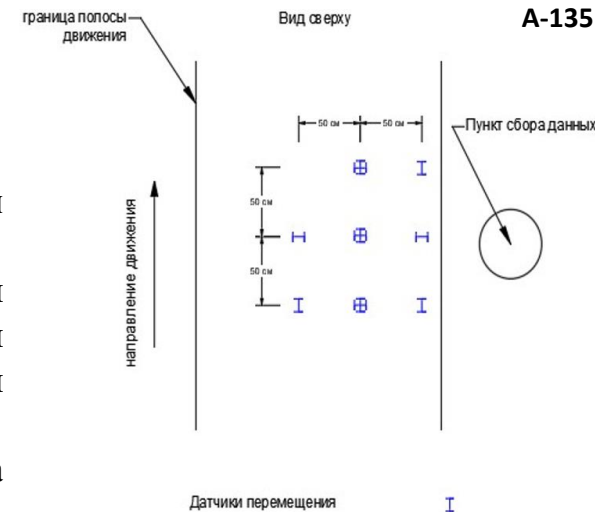
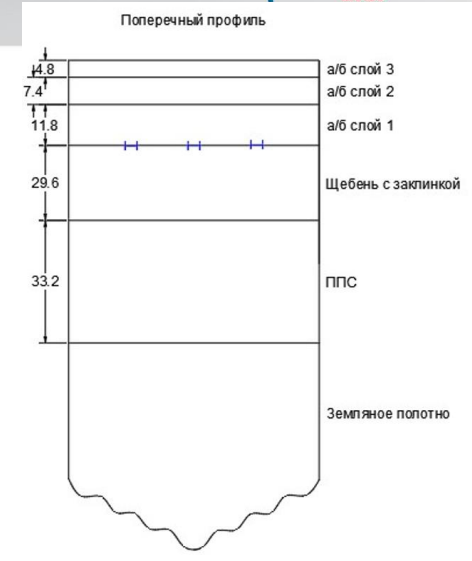
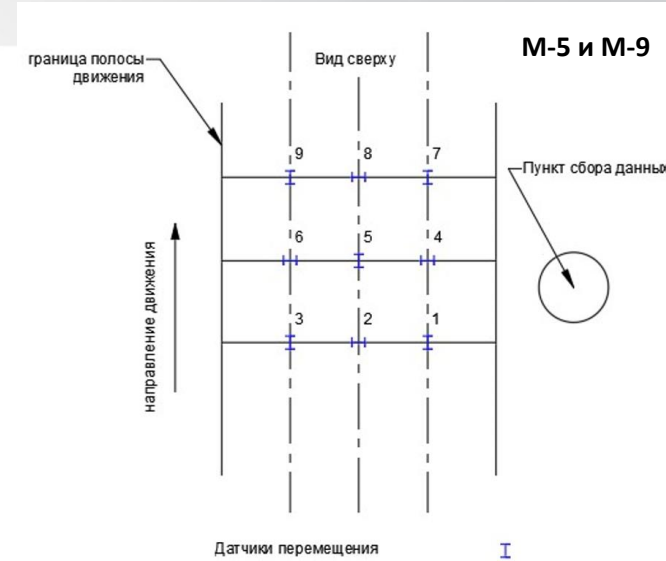
- С точки зрения применимости для построения усталостных кривых и моделей работоспособности различных видов асфальтобетонов, наиболее целесообразным является выполнения их испытаний **на установках непрямого растяжения**, в силу значительно большей однородности получаемых результатов, подтверждающейся высокими значениями коэффициентов детерминации R^2
- По результатам испытаний будут получены модели работоспособности различных видов асфальтобетонов $\varepsilon_p(N)$, и формироваться **база данных расчетными характеристиками** различных видов асфальтобетонов по критерию усталостной долговечности

РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Автомобильная дорога М-5 «Урал» (III ДКЗ)		
Датчик растягивающих деформаций, №	Расчетная модель*, м/м	Фактические значения, м/м
1	0.000098	0.000058
2	-0.000006	-0.000008
3	0.0000013	0.0000025
Автомобильная дорога А-135 (IV ДКЗ)		
1	0.000001	0.0000008
2	0.000092	0.000059
3	0.000072	0.000015
Автомобильная дорога М-9 (II ДКЗ)		
1	0.000292	0.000226
2	-0.000044	-0.000034
3	-0.000044	-0.000067

* В качестве расчетной модели применена модель расчета НДС многослойного упругого слоистого полупространства без приведения к упрощенным схемам

- Экспериментально зарегистрировано и теоретически обосновано **совпадение зон** растяжения и сжатия в слоях асфальтобетона при воздействии нагрузок;
- **Установлено расхождение** между абсолютными значениями расчетных и фактических растягивающих деформаций, что обусловлено вязкостными свойствами слоев асфальтобетона и неоднородностью их свойств в продольном и поперечном направлении
- Для устранения данных различий в последующих этапах **будет выполнена верификация** расчетной модели и введение эмпирических коэффициентов



Исследования в части уточнения расчетных
характеристик дорожно-строительных
материалов с определением соответствующих
методов

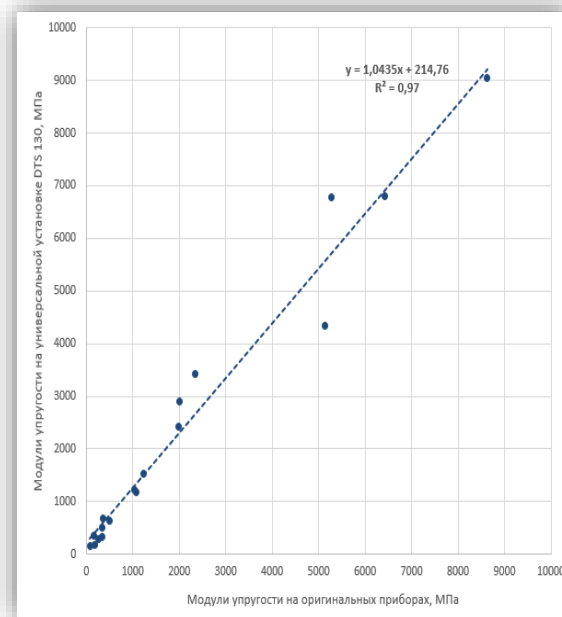
Определение лабораторного модуля упругости асфальтобетона по ВСН 46-83



оригинальные приборы по
ВСН 46-83



Был изготовлен по спец-
заказу испытательный
модуль позволяющий
воспроизвести методику из
ВСН 46-83



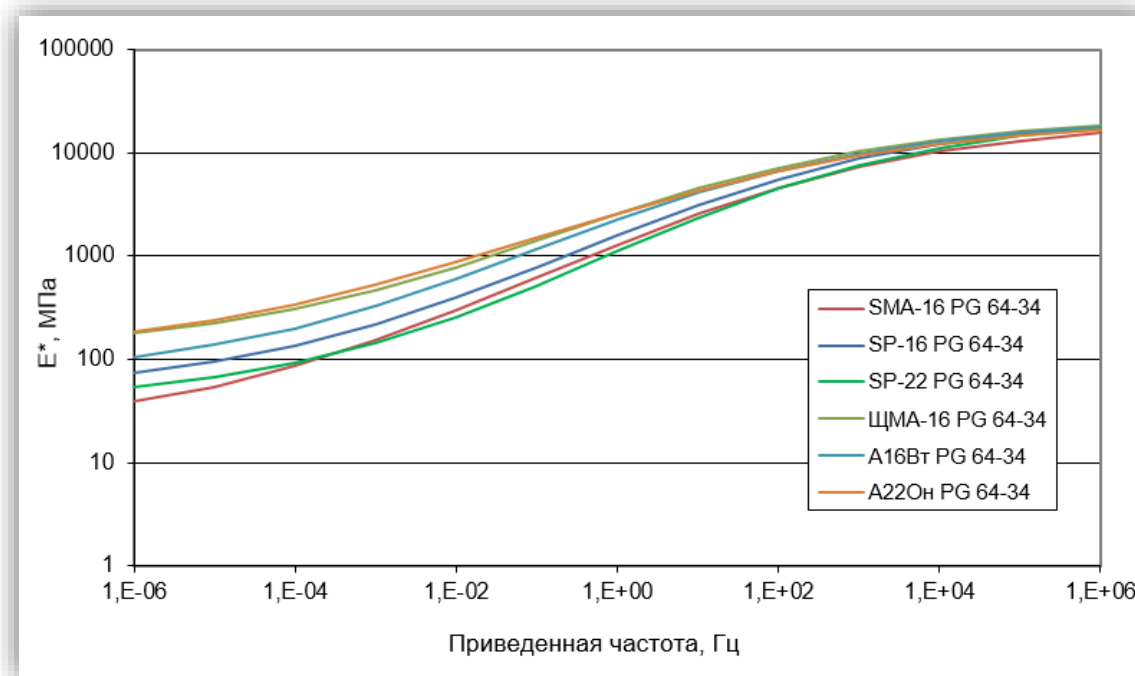
динамическая установка DTS-130

Определение динамического модуля упругости на приборе (АМРТ)

При каждой температуре испытания к образцу прикладывают циклическую гаверсинусоидальную нагрузку при различных частотах (сначала 25Гц, затем 10 Гц, 5Гц, 1 Гц, 0,5 Гц и 0,1 Гц)

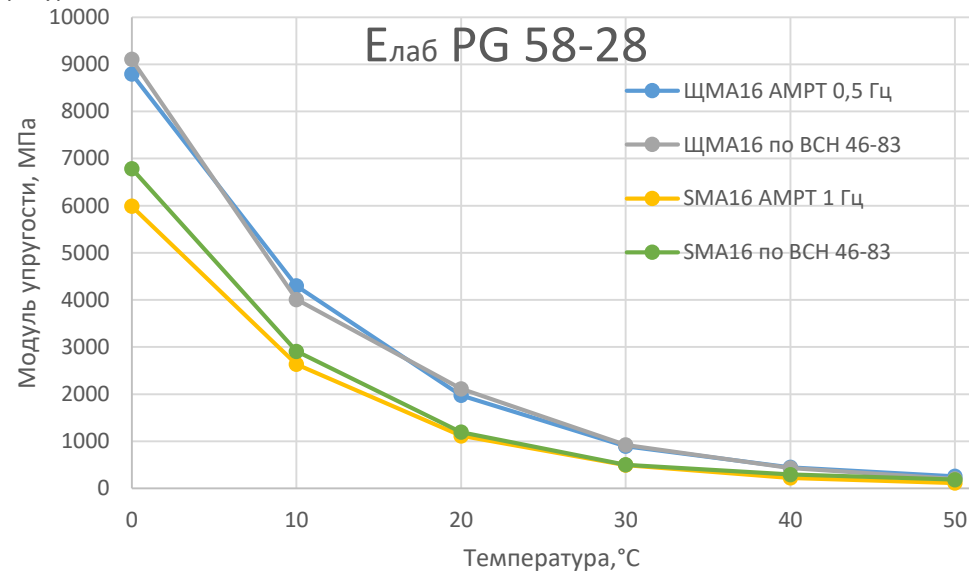
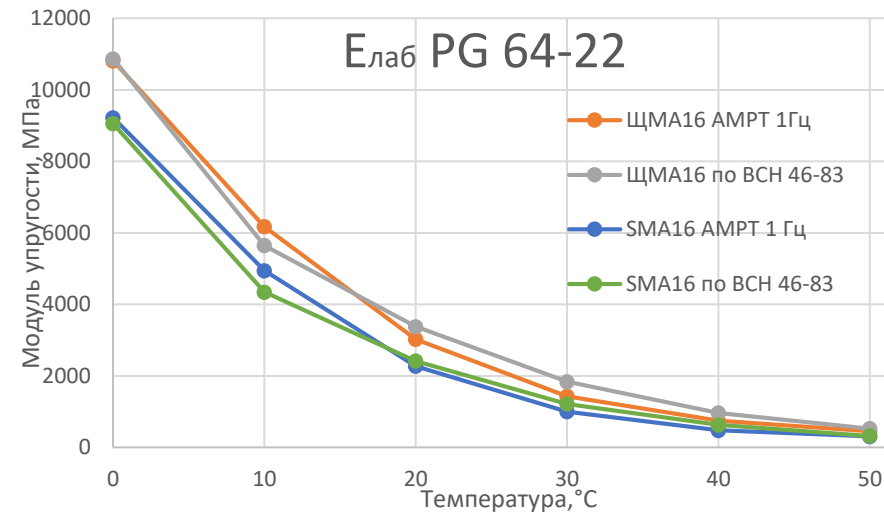
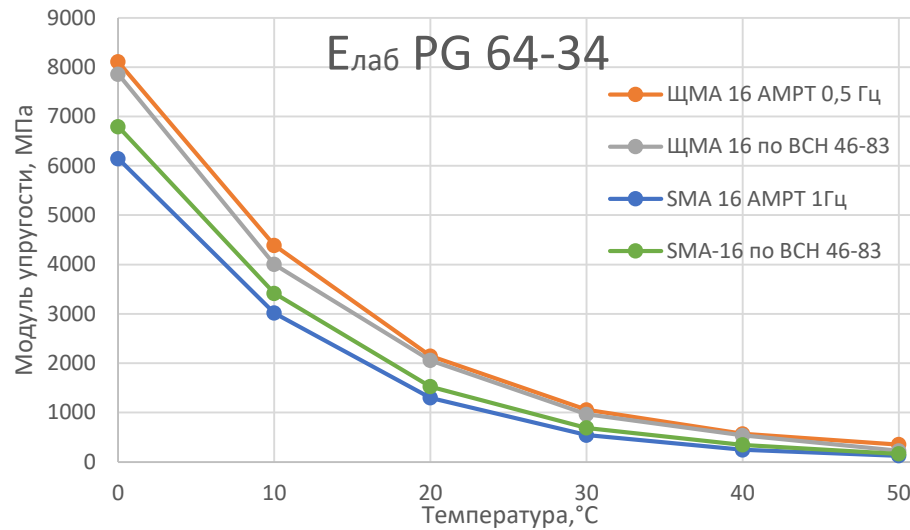


динамическая установка АМРТ

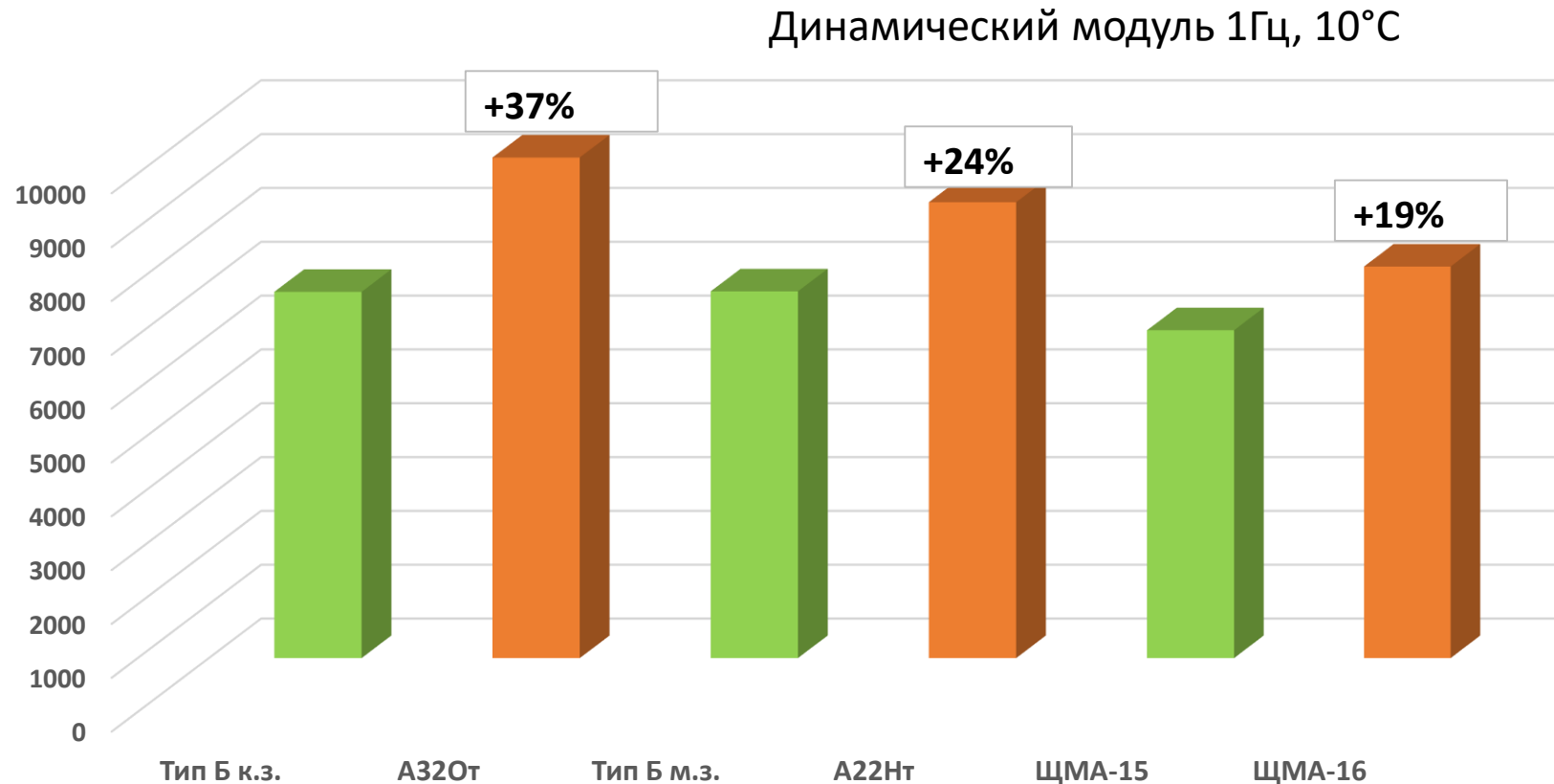


Обобщающие мастер-кривые температурно-временной суперпозиции

Сопоставление расчетного модуля упругости по методике ВСН и на приборе АМРТ

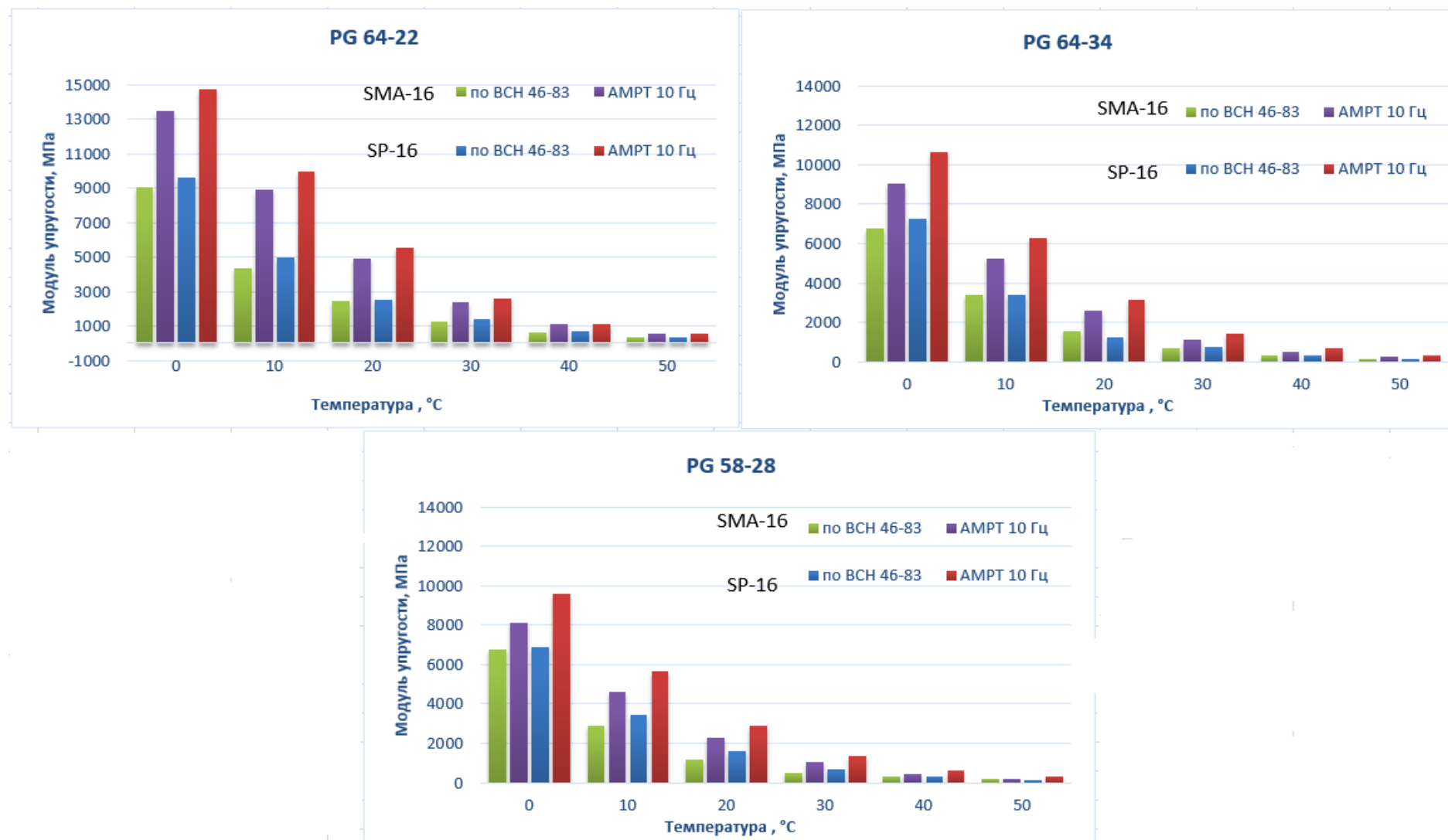


Наиболее близкими оказались значения модулей упругости полученные по ВСН 46-83 (0,1 с) и значения динамического модуля упругости (АМРТ) при частоте 1 Гц



Фактические модули упругости асфальтобетонов по новым нормативным документам практически во всем температурном диапазоне выше, чем по ГОСТ 9128

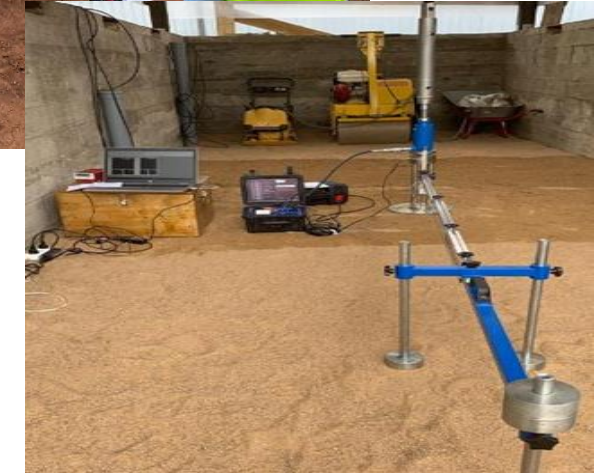
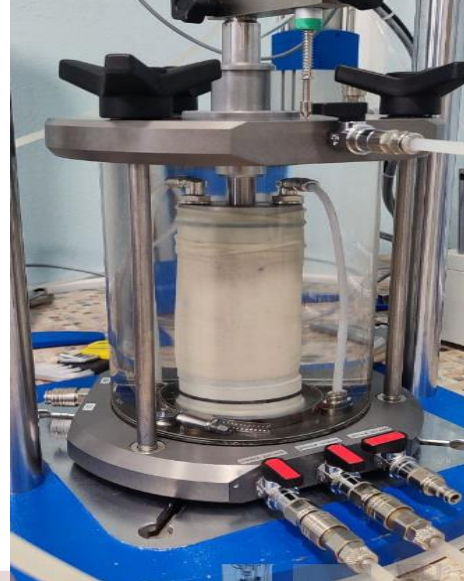
Сравнение модулей упругости плотного и щебеночно-мастичного асфальтобетонов



Модули упругости плотных асфальтобетонов при всех температурах несколько выше, чем модули упругости щебеночно-мастичных асфальтобетонов, что связано с большим содержанием битумного вяжущего в ЩМА



Определение расчетных характеристик грунтов методом «трехосного сжатия»



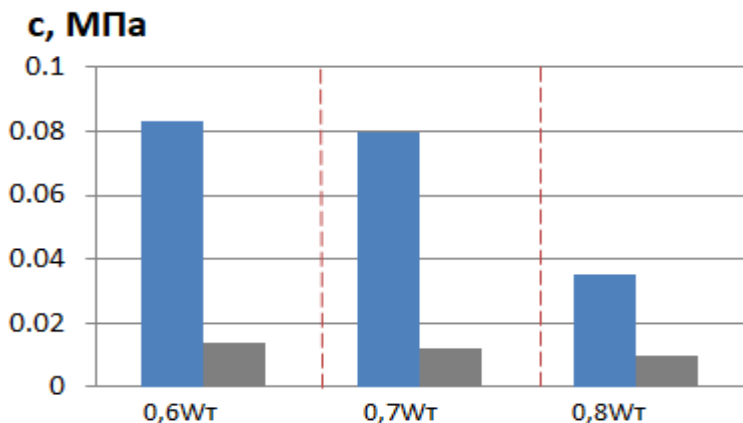
Определение модуля упругости грунтов статическим штампом на строительном объекте и на крупномасштабной модели

Расчетные характеристики грунтов

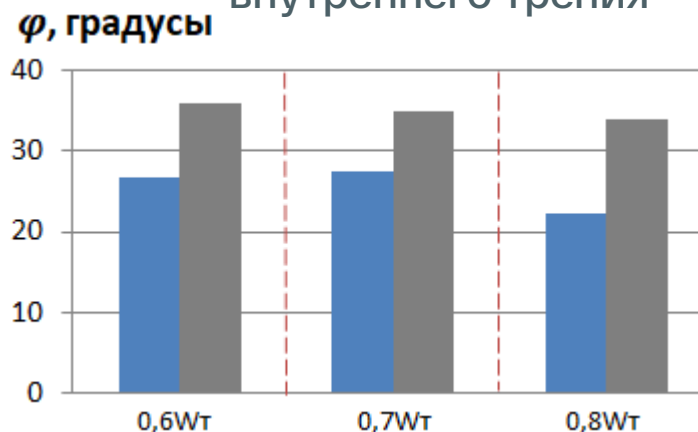
Материал	Условия проведения испытания	Характеристика фактическое значение	
		с, МПа	φ, градусы
Супесь	0,6 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,083	26,8
	0,7 W _T , скорость 0,2 мм/мин	0,081	27,1
	0,7 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,080	27,4
	0,8 W _T , скорость 0,2 мм/мин	0,025	24,3
	0,8 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,035	22,2
Суглинок	0,6 W _T , скорость 0,1 мм/мин	0,061	10,7
	0,6 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,057	12,6
	0,7 W _T , скорость 0,1 мм/мин	0,028	6,9
	0,7 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,026	8,5
	0,8 W _T , скорость 0,1 мм/мин	0,015	7,7
	0,8 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,021	5,2
Глина	0,6 W _T , скорость 0,05 мм/мин	0,081	12,1
	0,6 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,053	16,7
	0,7 W _T , скорость 0,05 мм/мин	0,022	12,2
	0,7 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,021	12,2
	0,8 W _T , скорость 0,05 мм/мин	0,016	6,2
	0,8 W _T , скорость 1,0 мм/мин	0,016	4,8
Песок мелкий	W _{opt} , скорость 0,5 мм/мин	0,009	35,3
	W _{opt} , скорость 2,0 мм/мин	0,005	37,2
Песок средний	0,8W _{opt} , скорость 0,5 мм/мин	0,006	37,4
	W _{opt} , скорость 0,5 мм/мин	0,015	40,6
	1,2W _{opt} , скорость 0,5 мм/мин	0,011	39,3

В ходе исследований установлено, что в заданных диапазонах значение скорости нагружения не оказывает существенного влияния на результаты испытаний

Результаты определения сцепления



Результаты определения угла внутреннего трения

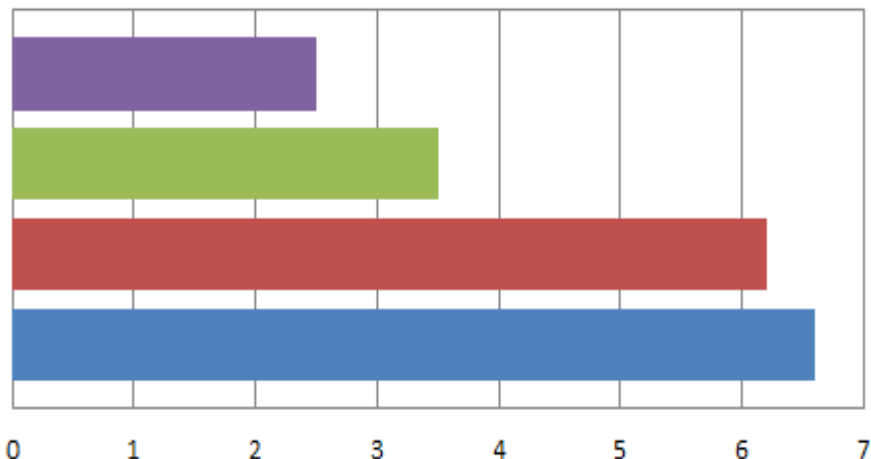


Супесь

- результаты испытаний
- значения по ПНСТ 542

Вывод: При применении полученных значений характеристик в программном комплексе при расчете конструкции на сдвиг, Кпр по сдвигу на статическую нагрузку уменьшается незначительно, а по сдвигу на динамическую нагрузку существенно.

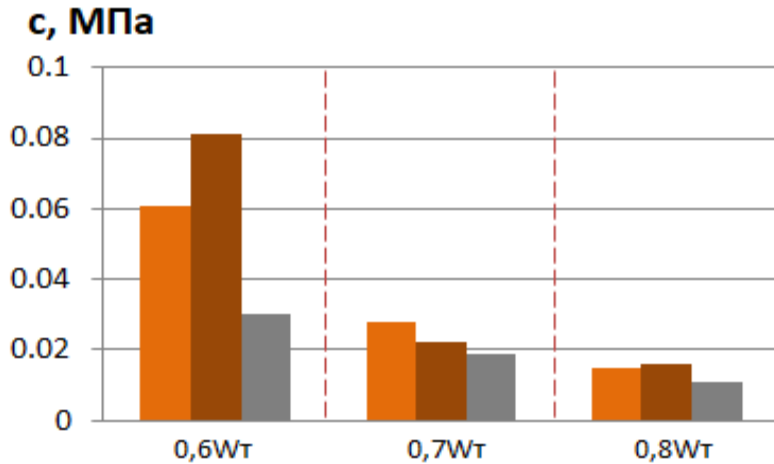
Значения коэффициентов прочности по сдвигу



- 1 – Кпр по сдвигу на динамическую нагрузку с фактическими значениями с и φ
- 2 – Кпр по сдвигу на динамическую нагрузку с значениями с и φ по ПНСТ 542
- 3 – Кпр по сдвигу на статическую нагрузку с фактическими значениями с и φ
- 4 – Кпр по сдвигу на статическую нагрузку с значениями с и φ по ПНСТ 542

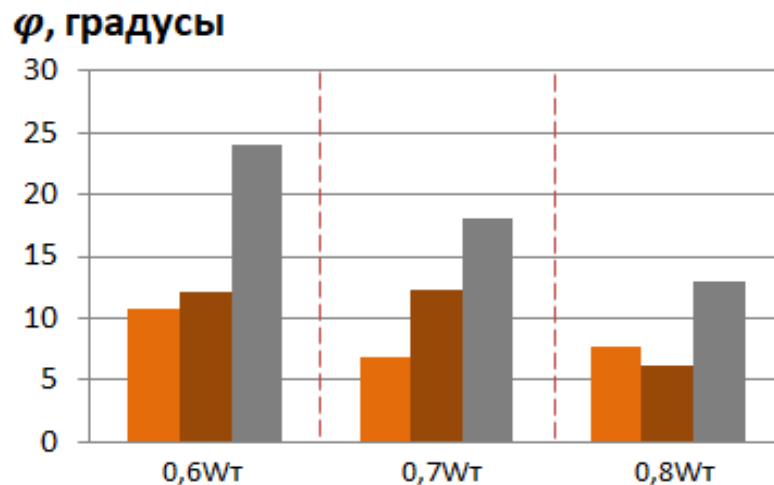
Суглинки и глины

Результаты определения сцепления



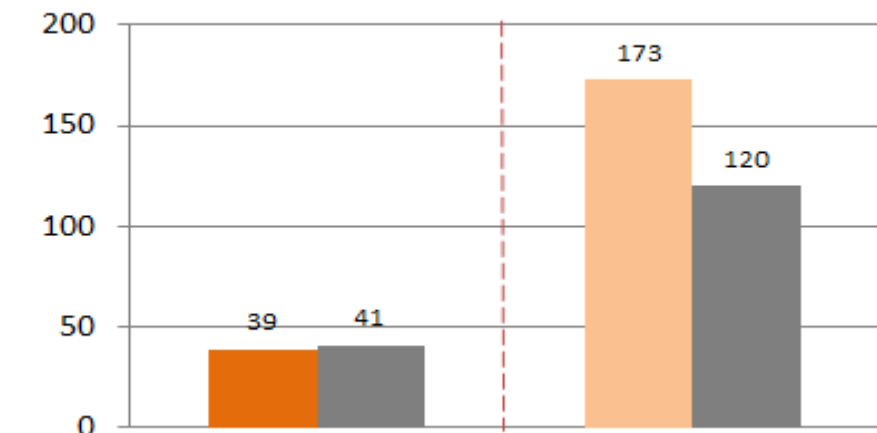
- результаты испытаний суглинка
- результаты испытаний глины
- значения по ПНСТ 542

Результаты определения угла внутреннего трения



При применении полученных значений характеристик в программном комплексе при расчете конструкции на сдвиг, $K_{пр}$ по сдвигу на статическую нагрузку уменьшается незначительно, а по сдвигу на динамическую нагрузку существенно.

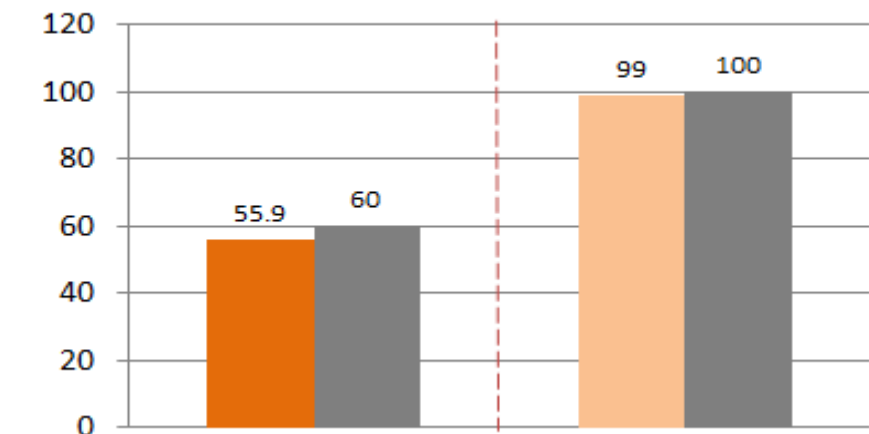
Результаты определения E_y в крупномасштабной модели



Полевые испытания

- испытания песка
- испытания суглинка
- значения по ПНСТ 542

Результаты определения E_y на строительном объекте



Вывод: Значения модулей упругости грунтов, получаемые при проведении полевых испытаний, близки к тем, которые на данный момент указаны в ПНСТ 542



Определение E_u
(BSI 46-83)



Определ
ение E_u
при
сжатии
(ASTM C
469, EN
13286-
43)



Определение E_u при
двухлучевом растяжении
(ASTM C 469, EN 13286-43)

Определение
 E_u на основе
методики
ГОСТ Р
58401.21

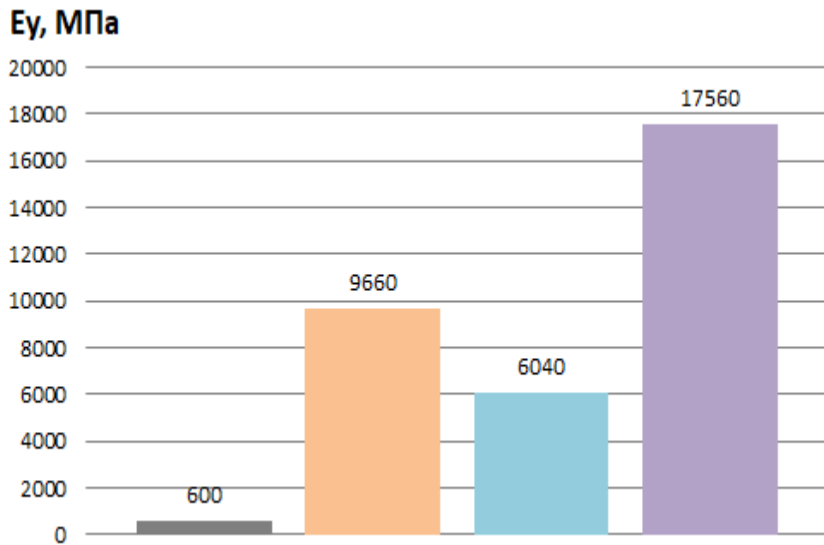


Определение E_u статическим и динамическим
штампом

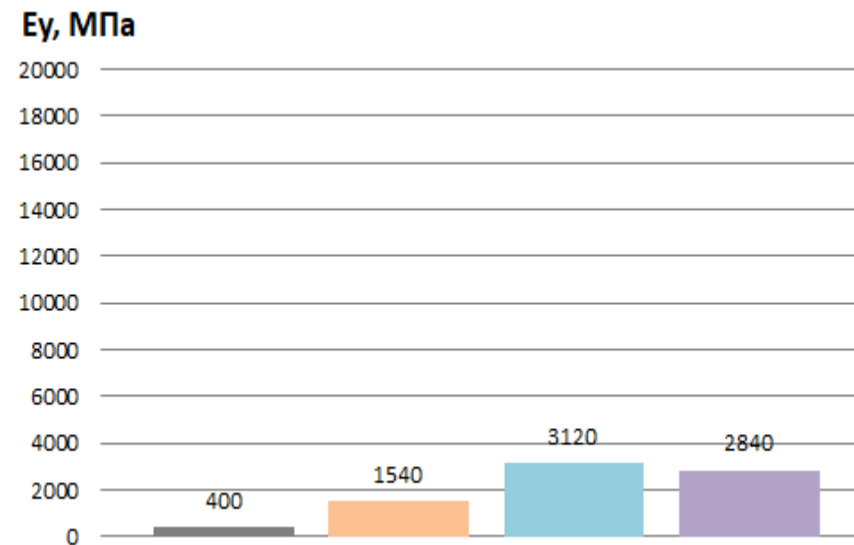
Расчетные характеристики укрепленных грунтов

Лабораторные испытания

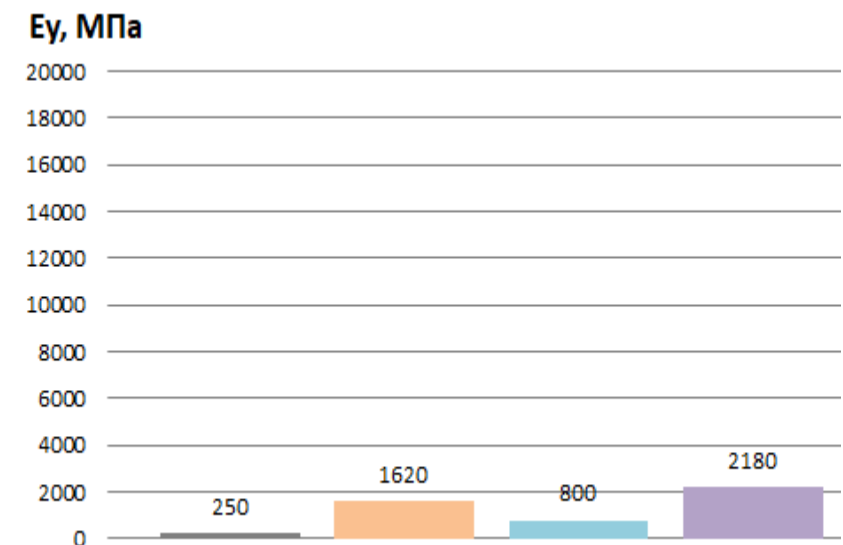
Марка М60



Марка М40



Марка М20

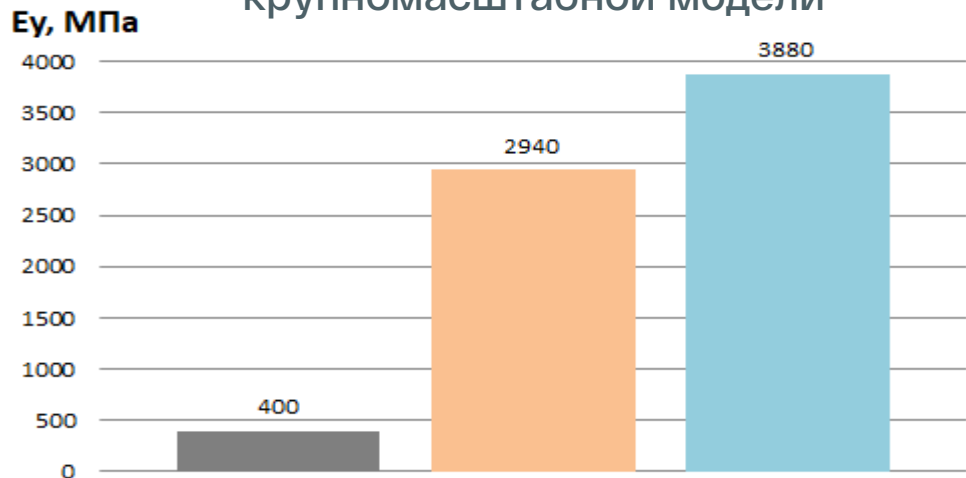


- Значения E_y по ПНСТ 542
- Значения E_y фактические по ASTM C 469
- Значения E_y фактические по ВСН 46-83
- Значения E_y фактические по EN 13286 (при сжатии)

Полученные модули упругости по всем примененным методикам существенно выше нормированных

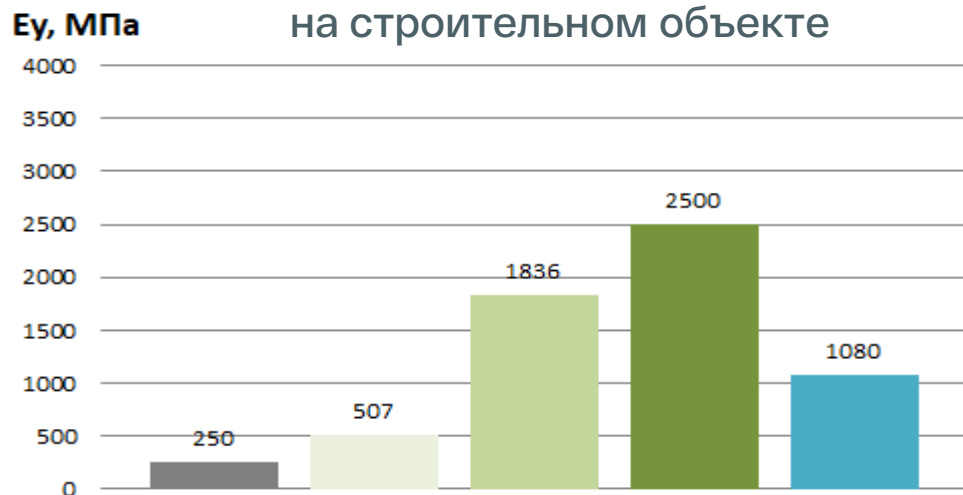
Расчетные характеристики укрепленных грунтов

Результаты определения E_y в крупномасштабной модели



- Значение E_y по ПНСТ 542
- Значение E_y укрепленного песка (штамп, 28 сут)
- Значение E_y укрепленного песка по кернам 28 сут по ASTM C 469

Результаты определения E_y на строительном объекте

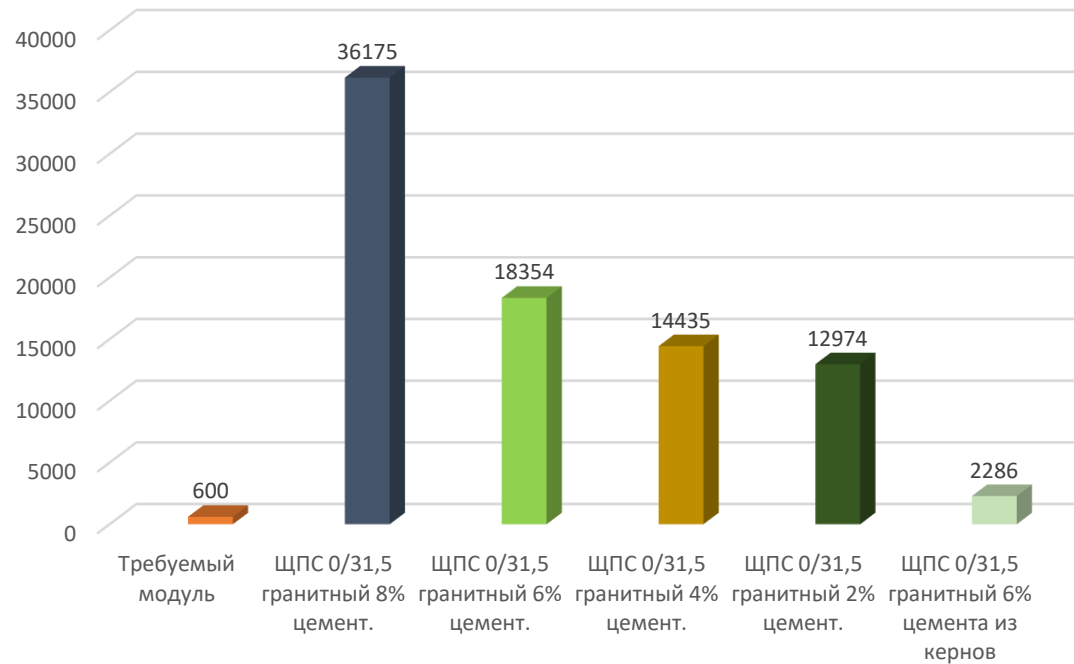


- Значение E_y по ПНСТ 542
- Значение E_y укрепленного суглинка (штамп, 3 сут)
- Значение E_y укрепленного суглинка (штамп, 10 сут)
- Значение E_y укрепленного суглинка (штамп, 28 сут)
- Значение E_y укрепленного суглинка по кернам 28 сут по ASTM C 469

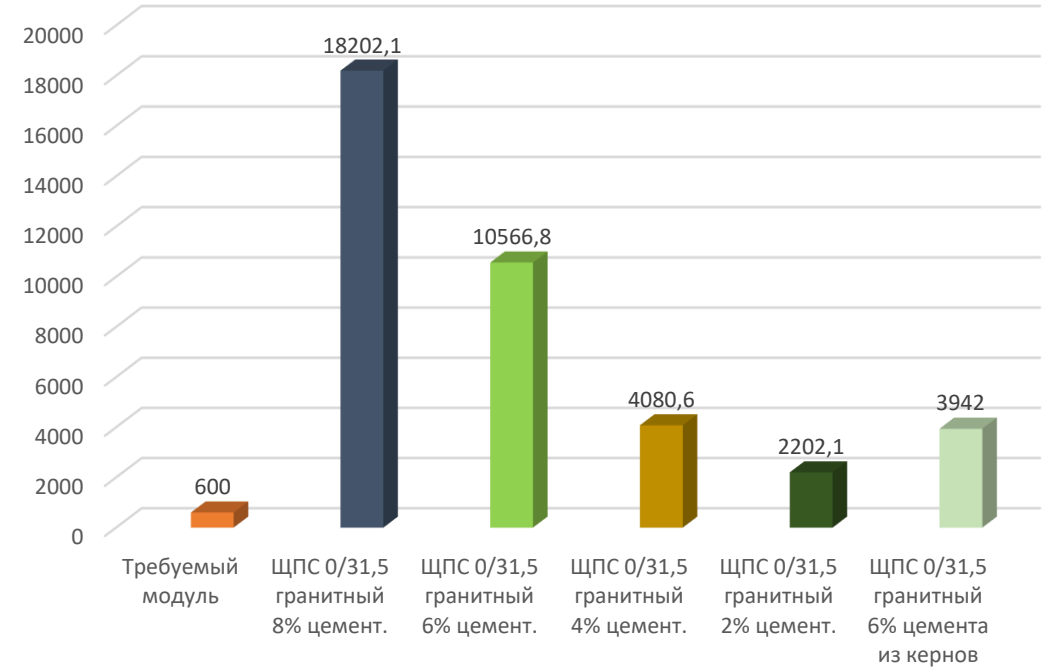
Полученные модули упругости существенно выше нормированных

Расчетные характеристики укрепленных ЩПС

Результаты испытаний модуля упругости укрепленных ЩПС по ASTM C469, МПа.

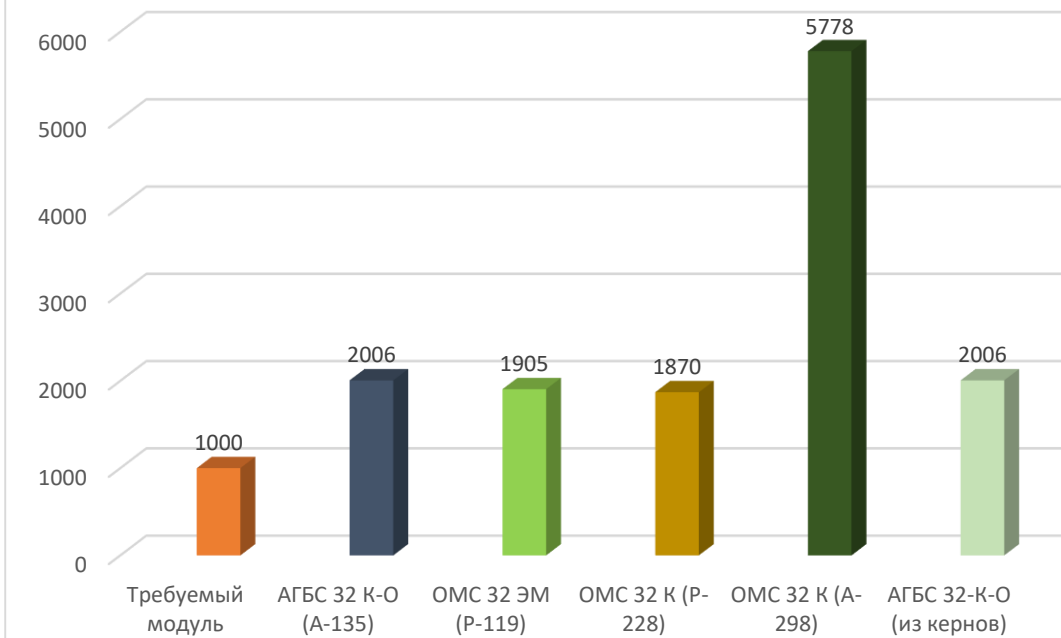


Результаты испытаний модуля упругости укрепленных ЩПС по ГОСТ Р 58401.21, МПа.

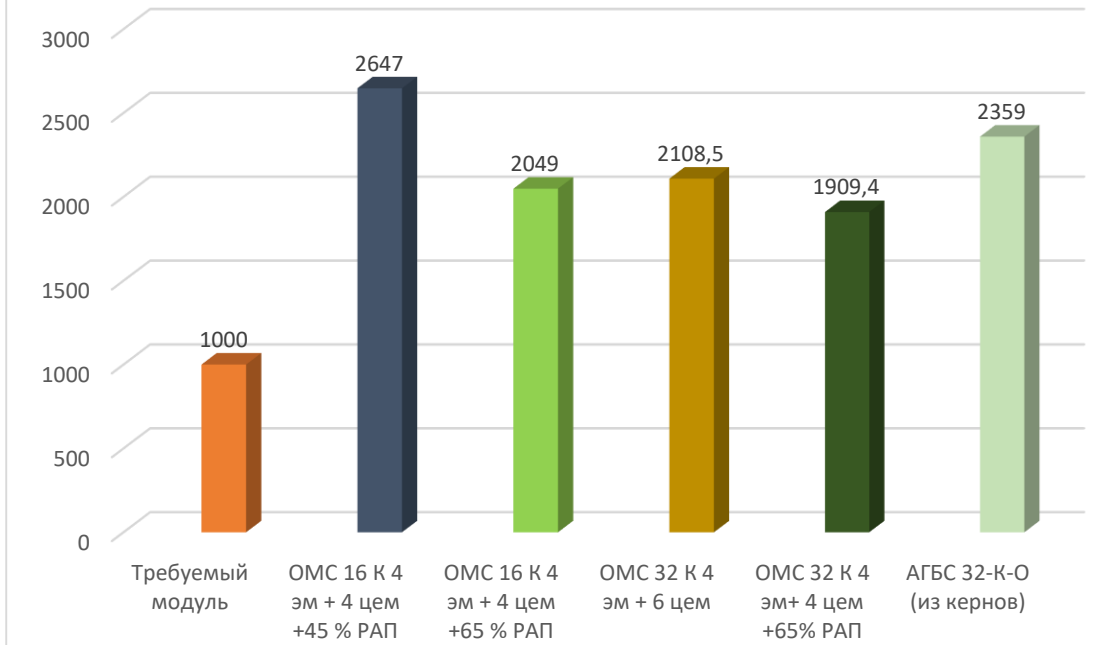


Полученные модули упругости по всем примененным методикам существенно выше нормированных

Результаты испытаний модуля упругости ОМС по ASTM C469, МПа.



Результаты испытаний модуля упругости ОМС по ГОСТ Р 58401.21, МПа.



Полученные модули упругости по всем примененным методикам несколько выше нормированных

Исследования расчетных характеристик дорожно-строительных материалов

