

**Расчетное моделирование для планирования
мер по подготовке дорог Архангельской области
к росту нагрузок**

Тимо Сааренкето,
Управляющий директор
Roadscanners Oy
Финляндия





Состав рабочего пакета «Архангельская область»

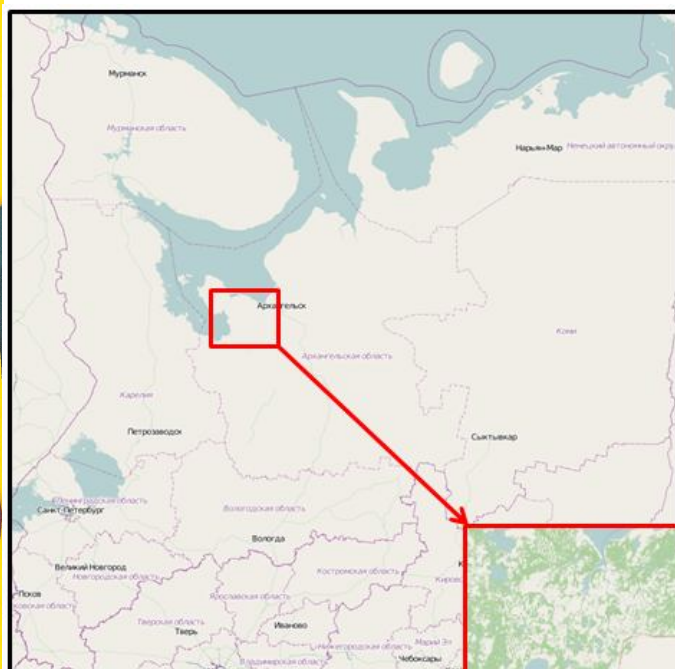
- **Оценка влияния роста тяжести грузового движения на дороги Архангельской области с помощью расчетной модели (подготовлена в составе Рабочего пакета Лапландия) на основе входных данных для пилотной дороги**
- **Рекомендации по улучшению эксплуатационных характеристик дорог Архангельской области и их подготовке к росту нагрузок**

Пилотная дорога

Автомобильная дорога регионального значения с низкой интенсивностью движения «Архангельск – Онега»

Два пилотных участка с типичными характеристиками:

- км 47- 49 (вблизи моста ч/з р.Верховка)
- км 57- 59



Типичные проблемы дорог с низкой интенсивностью в Архангельской области

1. Колейность
2. Наличие неровностей покрытия и осадок
3. Пыление
4. «Гребенка» (эффект «стиральной доски»)



Типичные проблемы дорог с низкой интенсивностью

Колейность, неровности и осадки покрытия





Типичные проблемы дорог с низкой интенсивностью

Пыление и «гребенка» из-за плохого состава материала покрытия



Прочностные характеристики существующей дорожной конструкции (модули упругости слоев)

Пилотный участок, км 47-49

Несвязный слой (100 мм), 120 МПа

Несвязный слой (500 мм), 100 МПа

Основание, 43 МПа





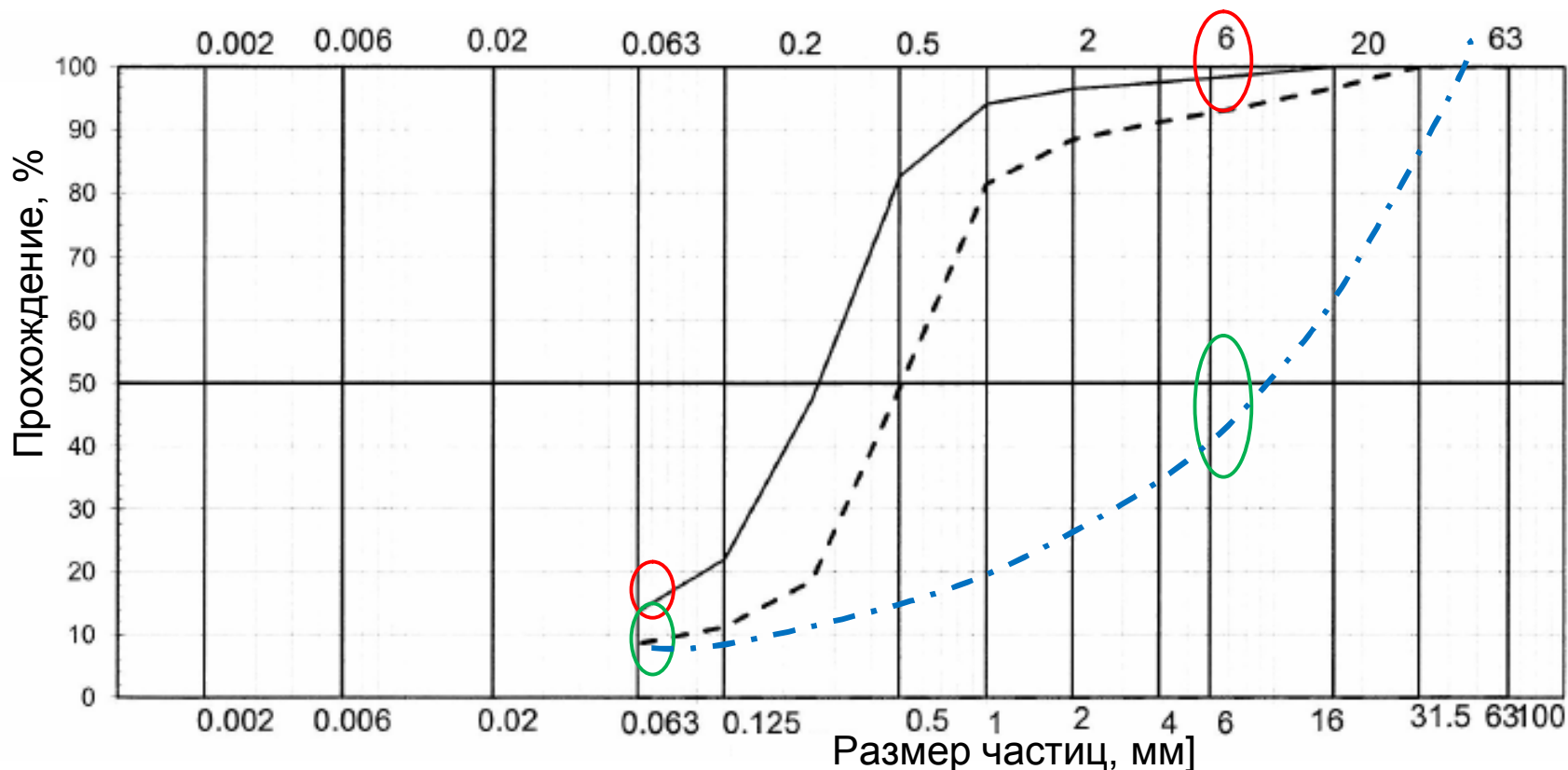
Результаты лабораторных испытаний материала

• Гранулометрический состав, относительное количество частиц <0,063мм

• 13,6% (км 48)

• 8,5% (км 58)

ТРЕБОВАНИЕ < 4%!



• Коэффициент водопоглощения материалом

• 5,72% (км 48)

• 5,42% (км 58)

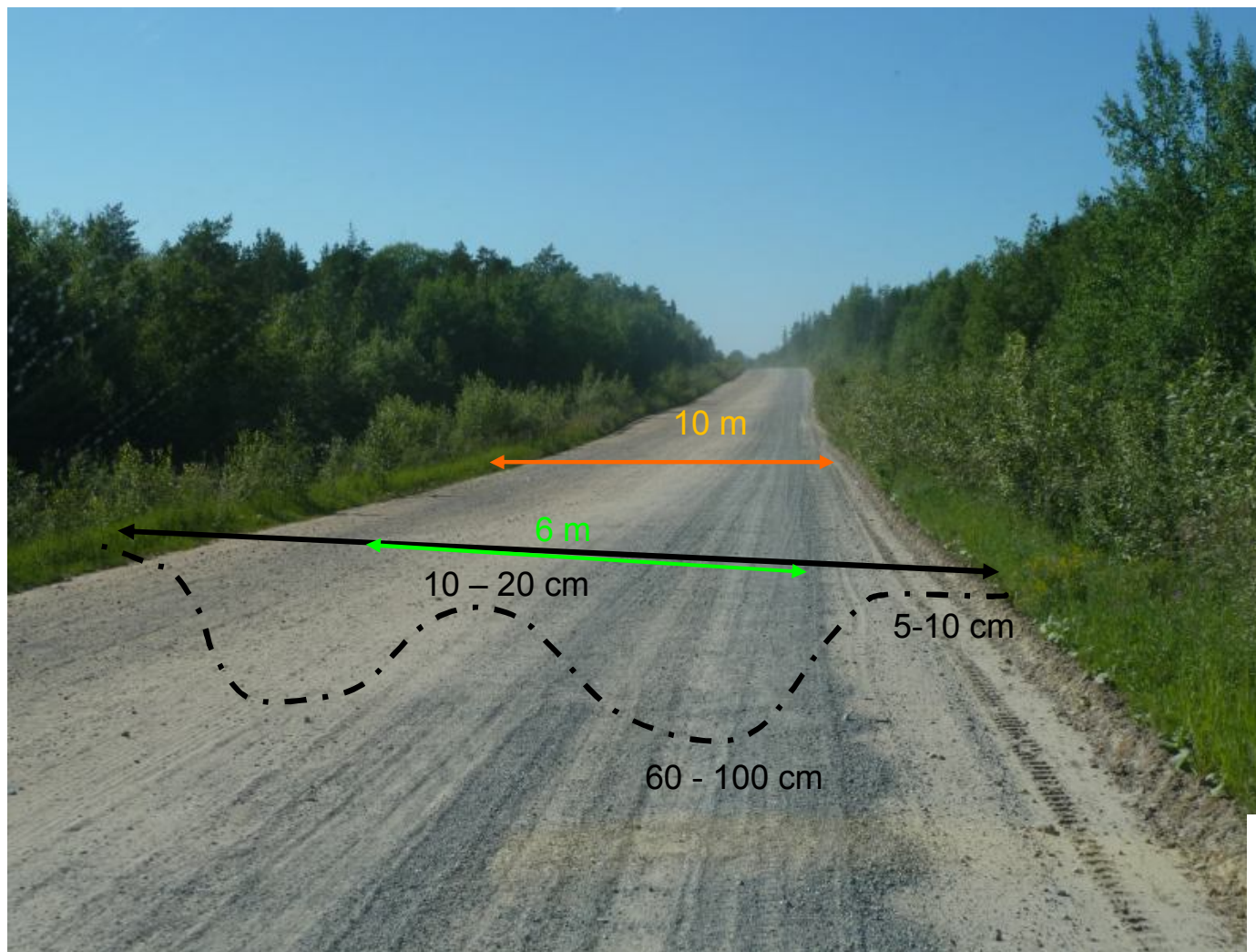
ТРЕБОВАНИЕ < 3%!

Общие причины проблем дорог с низкой интенсивностью

- 1. Неудовлетворительное состояние водоотвода из-за:**
 - нарушения геометрии дороги (избыточная ширина, отсутствие поперечного профиля)
 - отсутствия функциональности обочин, откосов и канав по отводу воды
- 2. Неудовлетворительный гранулометрический состав материала дорожной одежды и конструкции из-за:**
 - перемешивания материала покрытия с материалом земполотна при грейдерованиях
 - дефицита качественного местного минерального материала
- 3. Слабость оснований дорог (болота) на значительном протяжении из-за:**
 - неадекватности типовых строительных решений для сложной специфики местности

Причины проблем дорог с низкой интенсивностью

Колейность из-за остаточных деформаций, накопившихся в дорожной конструкции



Причины проблем дорог с низкой интенсивностью

Избыточность ширины (результат частого и неправильного грейдерования) и потеря дорожной геометрии и способности к водоотводу



Причины проблем дорог с низкой интенсивностью

Потеря покрытием проектной толщины на внутренней полосе движения на кривой из-за грейдерования



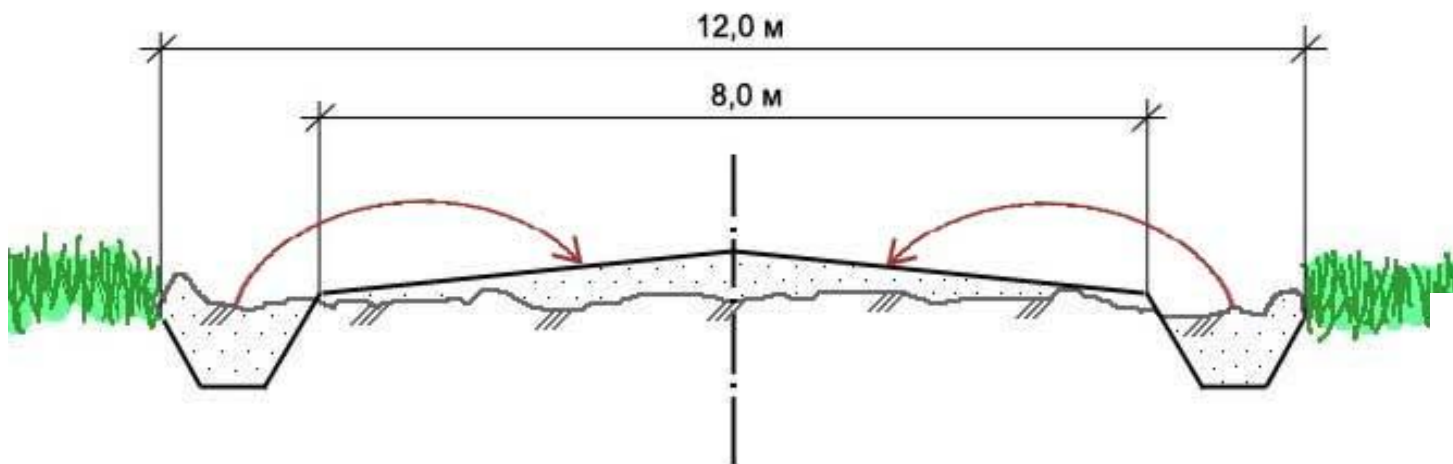
Следствия:

1. Низкая скорость движения
2. Некомфортность, негативное влияние на здоровье пользователей и сокращение срока службы транспортных средств (пыль, вибрация)
3. Высокие риски аварийности
4. Низкая несущая способность дорог, особенно весной
5. Повышенная потребность в частом профилировании
6. Нехватка средств на содержание, что требует впоследствии в разы больших средств на ремонты дорог



Первая помощь для улучшения дорог – восстановительные меры

1. Контроль ширины дороги в рамках проектных 8 м - лишнюю ширину убрать путем нарезки откосов и боковых канав.
2. Корректировка поперечного профиля с использованием имеющегося материала, который должен быть проверен в лаборатории на качество и подготовлен – устранение органических включений (корни растений, торф).
3. В начале весны валы снега следует столкнуть с обочин для предупреждения стока талой воды на дорогу и обеспечения равномерного прогрева и просыхания дорожной конструкции



Восстановительные меры для дорог

- 1. Ширина дороги избыточна, поперечный уклон нефункционален для отвода воды**
Действие №1 - сужение дороги, обеспечение поперечного профиля для отвода воды с поверхности дороги
- 2. Продольный водоотвод не обеспечен**
Действие №2 - восстановление системы продольного водоотвода
- 3. Неоднородность слоев и перемешивание материала при ухудшении прочностных свойств**
Действие №3 – гомогенизация материала верхнего слоя существующей дорожной конструкции перед устройством новых слоев

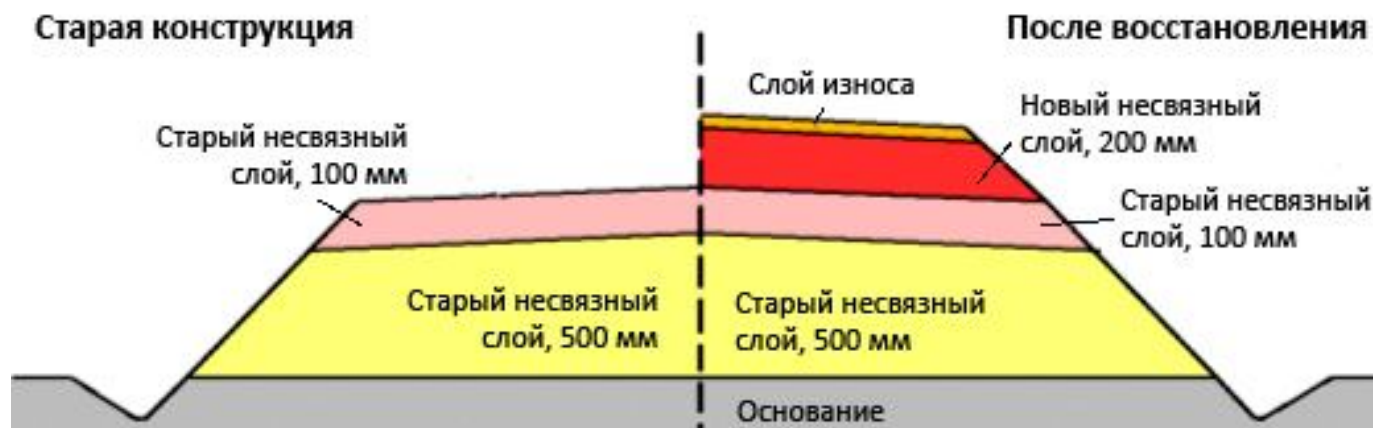


Важно!

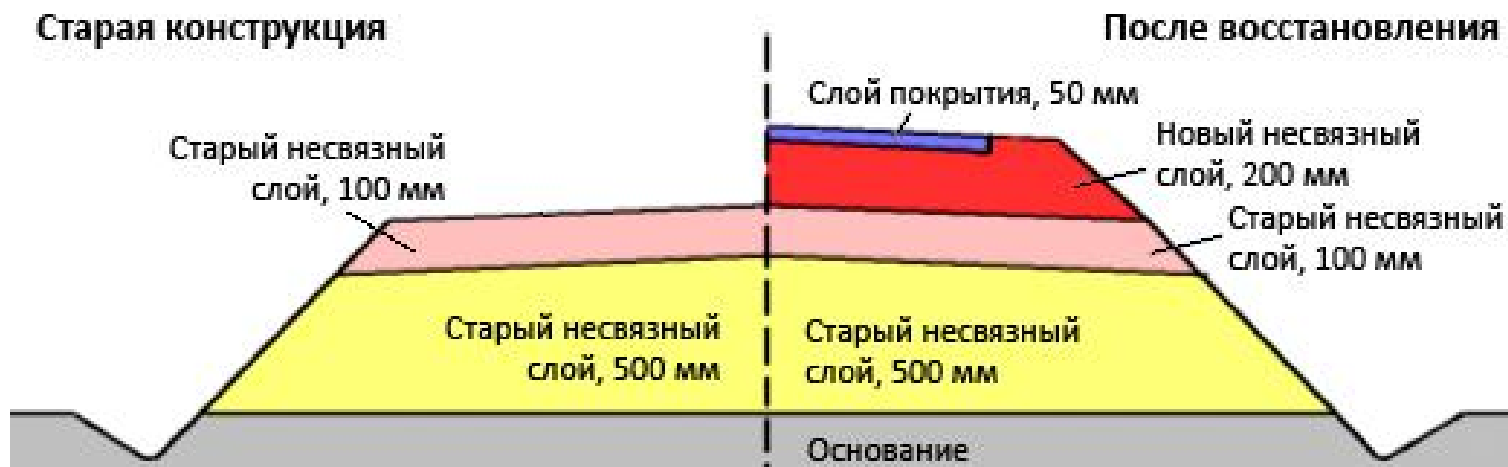
- Между восстановительными мерами и мерами по повышению несущей способности дорог должен быть предусмотрен **период эксплуатации не менее 1 года.**
- Этот период:
 1. Нужен дорожной конструкции для **восстановления естественной прочности,** утраченной из-за нарушений водоотвода и геометрии;
 2. **Минимизирует риски деформаций** при работе дорожной техники и после конструктивных улучшений

Конструкционные решения для повышения несущей способности

Восстановление дороги как гравийной

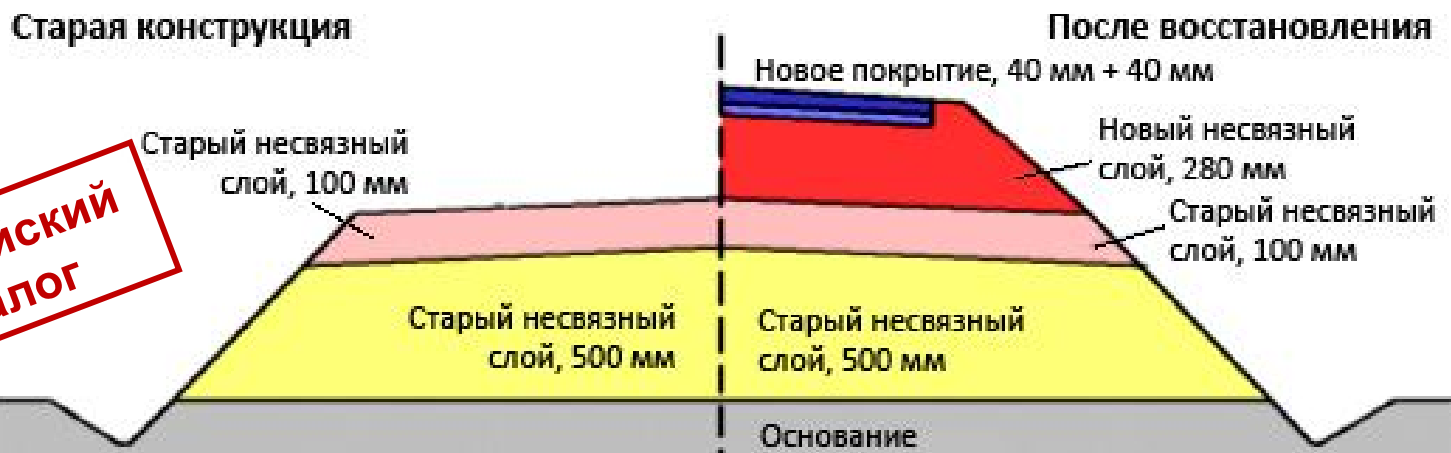


Восстановление дороги под устройство твердого покрытия

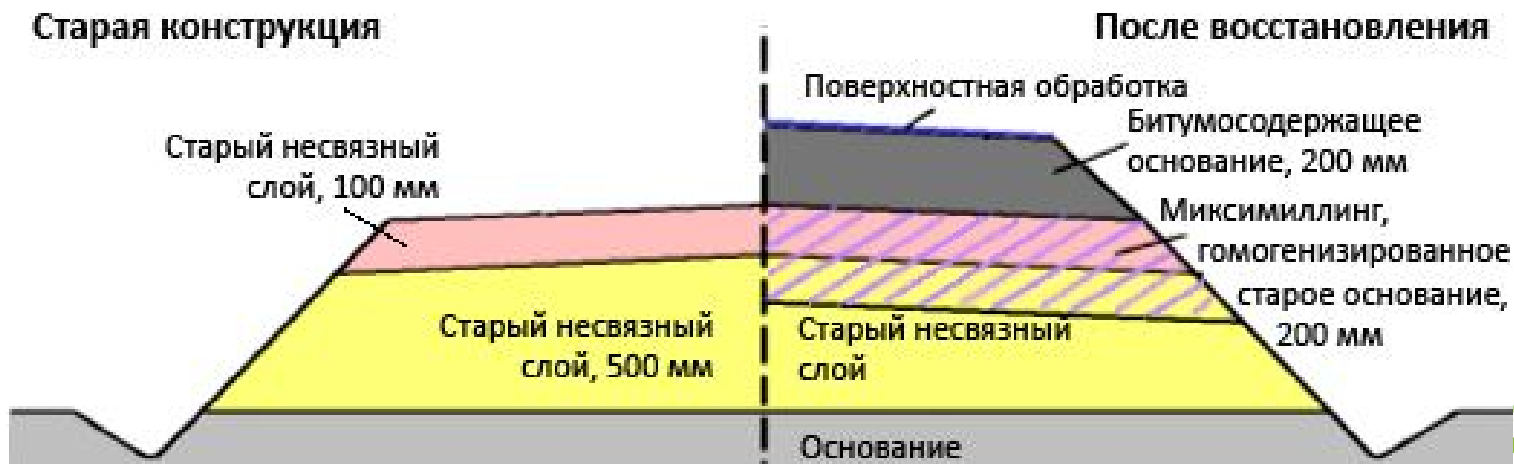


Конструкционные решения для повышения несущей способности

Восстановление: основание 280мм + покрытие 40+40мм



Восстановление с обработкой слоев битумом

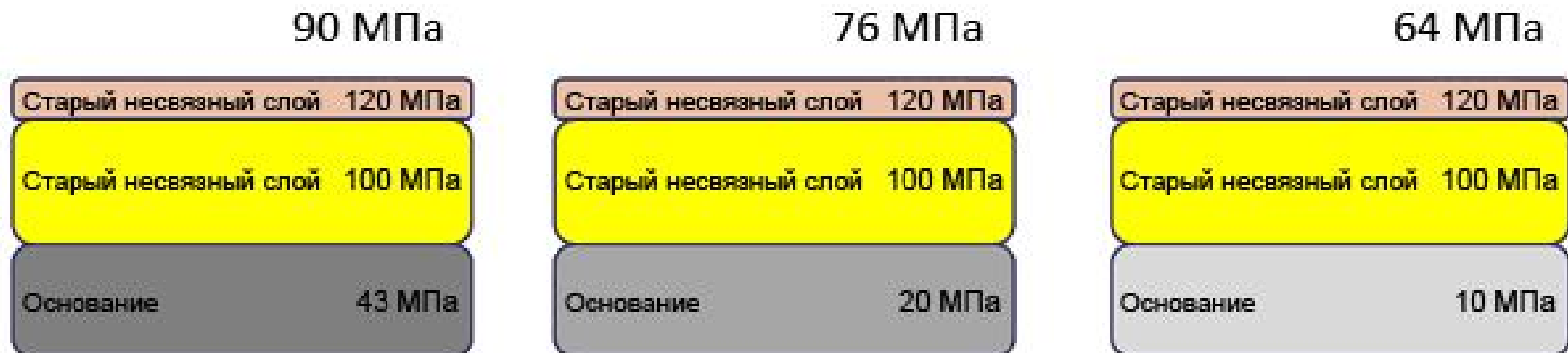


ROADEX
Implementing Accessibility

Расчеты несущей способности по Одемарку

Расчеты напряжений и несущей способности по Одемарку выполнялись для существующей дороги по трем величинам модуля упругости основания дорожной конструкции:

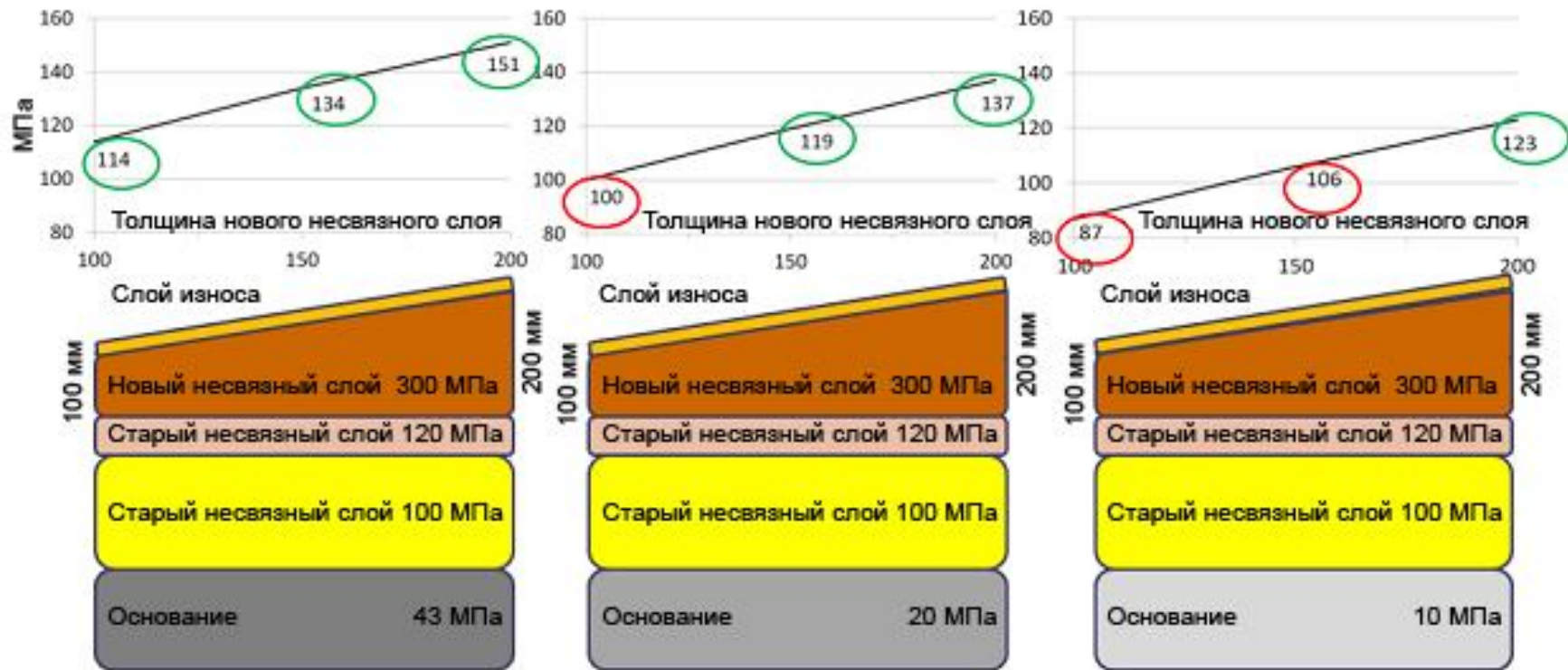
- 43 МПа (по данным измерений)
- 20 МПа (по данным для материала земполотна: суглинок, глины, морены с высоким содержанием пылеватых частиц)
- 10 МПа (ослабленное основание в весенний период)



Расчеты несущей способности по Одемарку

Усиление гравийной дороги

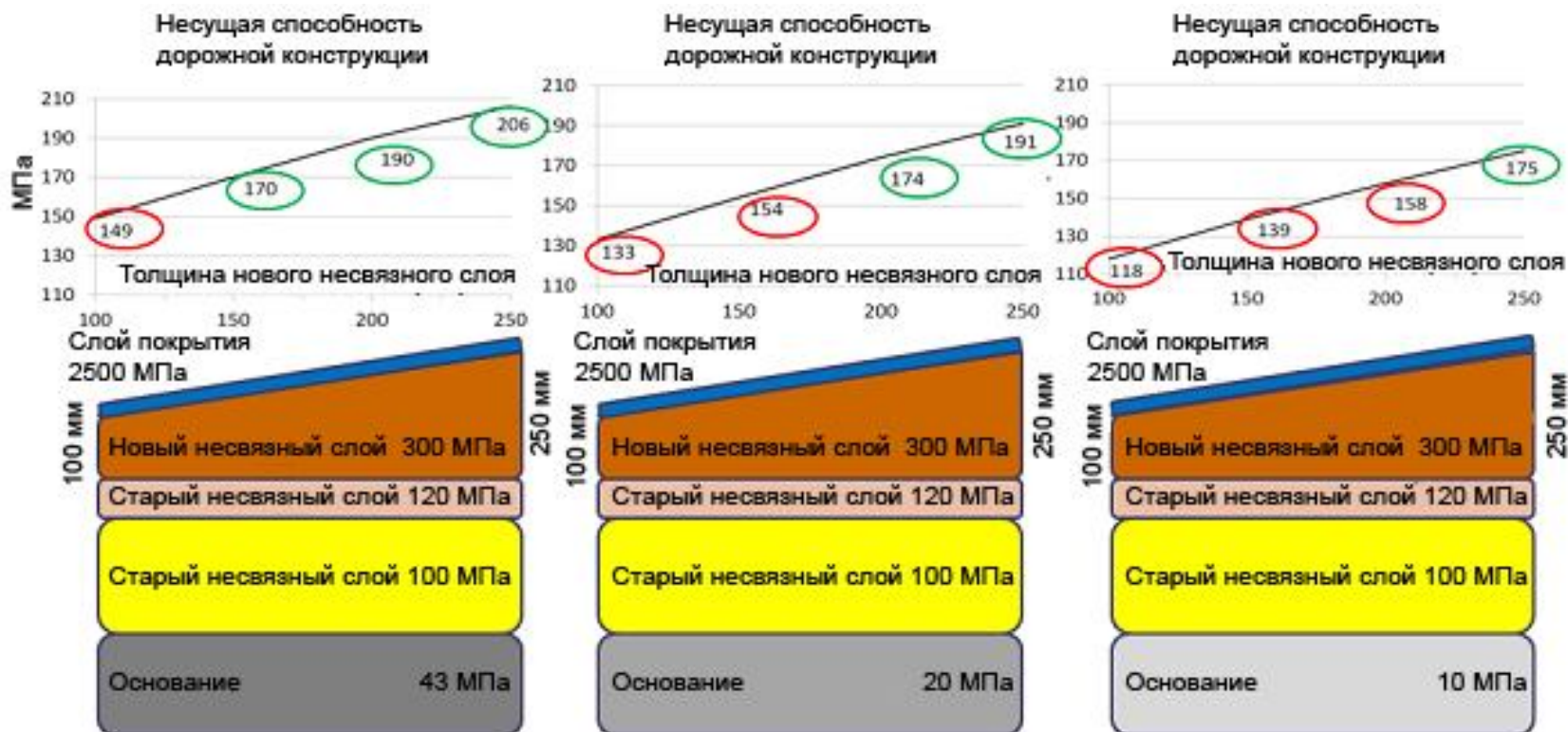
Цель - несущая способность 110МПа



Расчеты несущей способности по Одемарку

Усиление дороги с переводом в дорогу с твердым покрытием

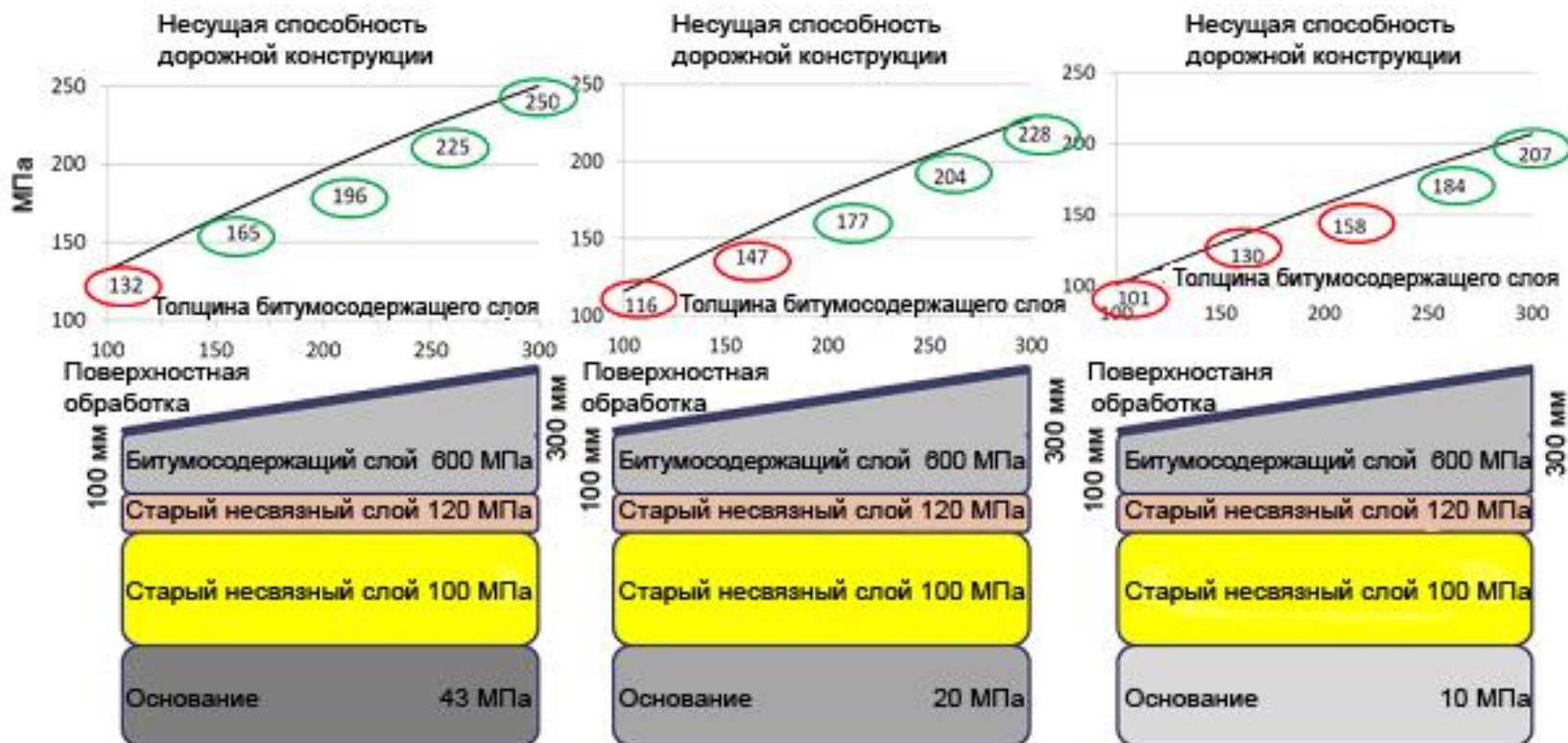
Цель - несущая способность 160 МПа



Расчет несущей способности по Одemarkу

Усиление дороги с добавлением битумного вяжущего: укрепление основания + поверхностная обработка

Выгода: Применение местных материалов!





Наилучшее решение для повышения несущей способности дорог в условиях Архангельской области:

Устройство слоя дорожной одежды 200мм с укреплением битумом (2%) и поверхностной обработкой, что:

1) компенсирует:

- **Невысокое качество местных дорожно-строительных материалов**
- **Слабость грунтов в основании дороги (10МПа)**

2) обеспечивает:

- **Устойчивость к горизонтальным и вертикальным напряжениям с приемлемым риском деформаций (весной)**
- **Пропуск более тяжелых грузовых автомобилей**



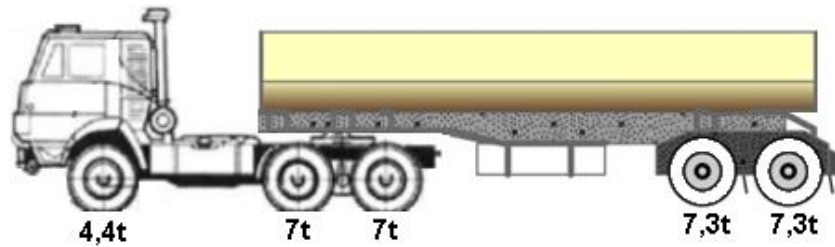
Комментарий к российскому аналогу усиления:

280мм несвязного основания и покрытие 40+40 мм с содержанием битумного вяжущего

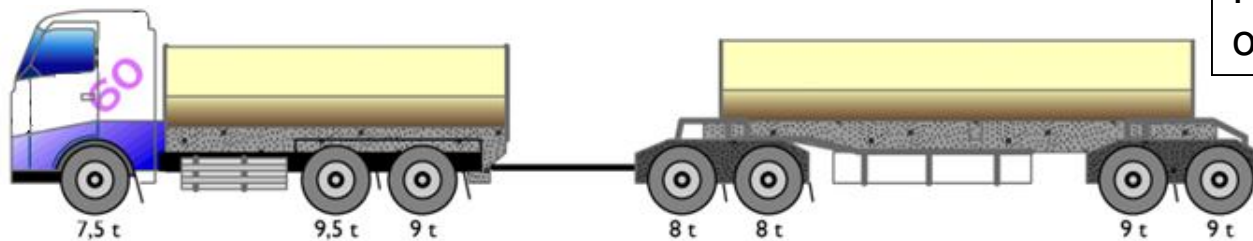
Сравнение показывает, что в условиях Архангельской области:

- 1. Аналог более затратен т.к. предусматривает ненужный запас прочности;**
- 2. Устройство прочных связных слоев (2400 и 1400 мПа) на несвязном основании (450Мпа, что слишком оптимистично) похоже на строительство дорогого здания на песке. Низкое качество местных дорожно-строительных материалов, повышенная зависимость их прочности от влажности, слабость грунтов в основании дорожной конструкции и традиционная недооценка значения водоотвода для прочности и долговечности дороги означает бессмысленность инвестиций в устройство прочного покрытия «с запасом». Финансовый ресурс, которого не хватает для содержания дорог, растрачивается напрасно.**

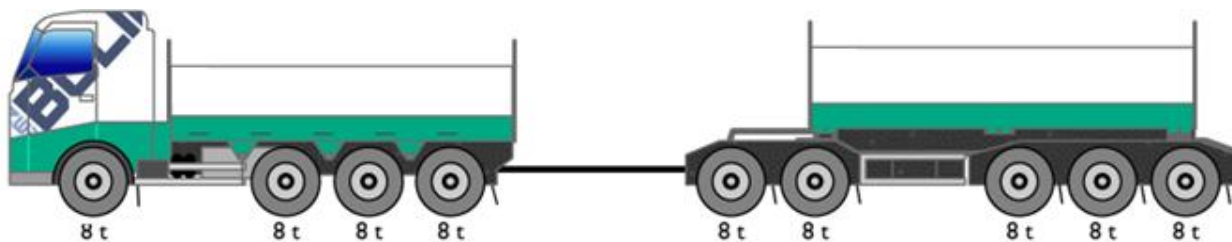
Расчетные конфигурации грузовых автомобилей, использованные при моделировании



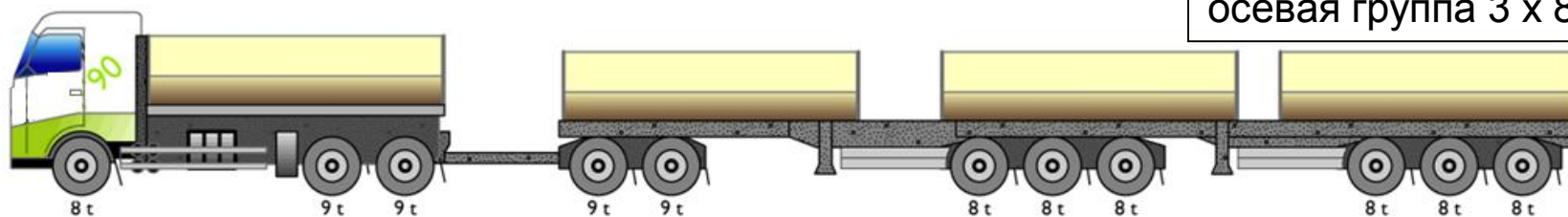
КАМАЗ 33 т
Наиболее тяжелая осевая группа 2 x 7,3т



Стандартный 60-тонный.
Наиболее тяжелая осевая группа 9 т + 9,5т



72-тонный "Boliden"
Наиболее тяжелая осевая группа 3 x 8 т



90-тонный "En trave till"
Наиболее тяжелая осевая группа 3 x 8т

Расчет напряжений и смещений/осадок для разных грузовых автомобилей и дорожных конструкций

Для дорог с низкой интенсивностью движения (< 500 Авт/сут.).

 - безопасный уровень напряжений и усилий и низкий риск остаточных деформаций

 - умеренный уровень напряжений и умеренный риск остаточных деформаций.

 - высокий уровень напряжений и высокий риск остаточных деформаций.

 – высокая вероятность разрушений

Напряжения и смещения для разных видов грузовых автомобилей и дорожных конструкций

(модуль упругости основания 43 МПа)

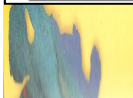
Грузовой автомобиль/измеряемая осевая группа	Дорожная конструкция	Макс. горизонтальные напряжения в связных слоях	Макс. вертикальные напряжения в несвязных слоях	Макс. вертикальные напряжения в земляном полотне	Макс. смещение земляного полотна
КА МА 3 33т / 2х7.3т Стандартный 60т / 9,5т + 9т "Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция		-3067	-652	947
	Существующая конструкция		-4525	-901	1230
	Существующая конструкция		-4552	-763	1377
КА МА 3 33т / 2х7.3т Стандартный 60т / 9,5т + 9т "Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1110	-383	800
	Существующая конструкция + 200мм основание		-1700	-515	1028
	Существующая конструкция + 200мм основание		-1726	-458	1201
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	242	-1010	-306	725
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	370	-1466	-408	929
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	365	-1385	-378	1105
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	184	-603	-273	668
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	276	-867	-312	854
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	264	-806	-306	1034
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	318	-773	-352	773
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	448	-1075	-471	992
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	376	-926	-425	1166



Напряжения и смещения для разных видов грузовых автомобилей и дорожных конструкций

(модуль упругости основания 20 МПа)

Грузовой автомобиль/измеряемая осевая группа	Дорожная конструкция	Макс. горизонтальные напряжения в связных слоях	Макс. вертикальные напряжения в несвязных слоях	Макс. вертикальные напряжения в землях	Макс. смещение земляного полотна
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция		-3006	-1044	1875
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция		-4425	-1429	2416
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция		-4465	-1247	2780
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1074	-628	1559
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1653	-835	1998
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1679	-785	2390
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	230	-998	-502	1390
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	354	-1450	-661	1778
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	350	-1368	-650	2160
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	175	-593	-394	1270
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	264	-854	-513	1623
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	251	-792	-535	2000
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	316	-766	-579	1498
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	446	-1066	-767	1918
"Boliden" 72т и "En trave till" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	372	-917	-732	2306





Напряжения и смещения для разных видов грузовых автомобилей и дорожных конструкций

(модуль упругости основания 10 МПа)

Грузовой автомобиль/измеряемая осевая группа	Дорожная конструкция	Макс. горизонтальные напряжения в связных слоях	Макс. вертикальные напряжения в несвязных слоях	Макс. вертикальные напряжения в земполотне	Макс. смещение земполотна
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция		-2933	-1534	3440
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция		-4307	-2073	4412
"Boliden" 72т и "En trave til" 90т / 3х8т	Существующая конструкция		-4352	-1894	5205
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1030	-939	2799
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1598	-1236	3579
"Boliden" 72т и "En trave til" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание		-1619	-1230	4366
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	216	-984	-743	2449
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	336	-1432	-971	3131
"Boliden" 72т и "En trave til" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание + 50мм покрытие	330	-1347	-1007	3870
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	164	-582	-593	2222
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	250	-840	-765	2839
"Boliden" 72т и "En trave til" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 280мм основание + 80мм покрытие	235	-776	-837	3547
КА МА 3 33т / 2х7.3т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	315	-760	-865	2673
Стандартный 60т / 9,5т + 9т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	444	-1058	-1135	3417
"Boliden" 72т и "En trave til" 90т / 3х8т	Существующая конструкция + 200мм основание, обработанное битумом	369	-909	-1147	4188



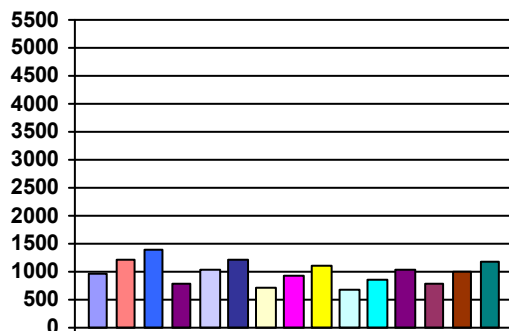
Деформации основания дороги

Модуль упругости земляного полотна

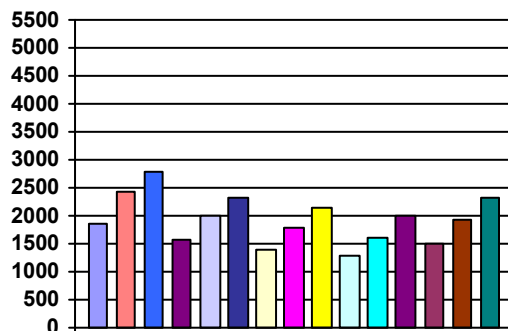
43 МПа

20МПа

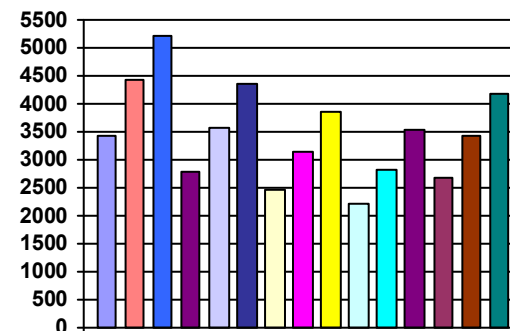
10МПа



- 33т, суцдор.констр.
- 60т, суцдор.констр.
- 72/90т, суцдор.констр.
- 33т, суц+200мм основание
- 60т, суц+200мм основание
- 72/90т, суц+200мм основание
- 33т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 60т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 72/90т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 33т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 60т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 72/90т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 33т, суц+200мм битумосод. основание
- 60т, суц+200мм битумосод. основание
- 72/90т, суц+200мм битумосод.основание



- 33т, суцдор.констр.
- 60т, суцдор.констр.
- 72/90т, суцдор.констр.
- 33т, суц+200мм основание
- 60т, суц+200мм основание
- 72/90т, суц+200мм основание
- 33т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 60т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 72/90т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 33т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 60т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 72/90т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 33т, суц+200мм битумосод. основание
- 60т, суц+200мм битумосод. основание
- 72/90т, суц+200мм битумосод.основание



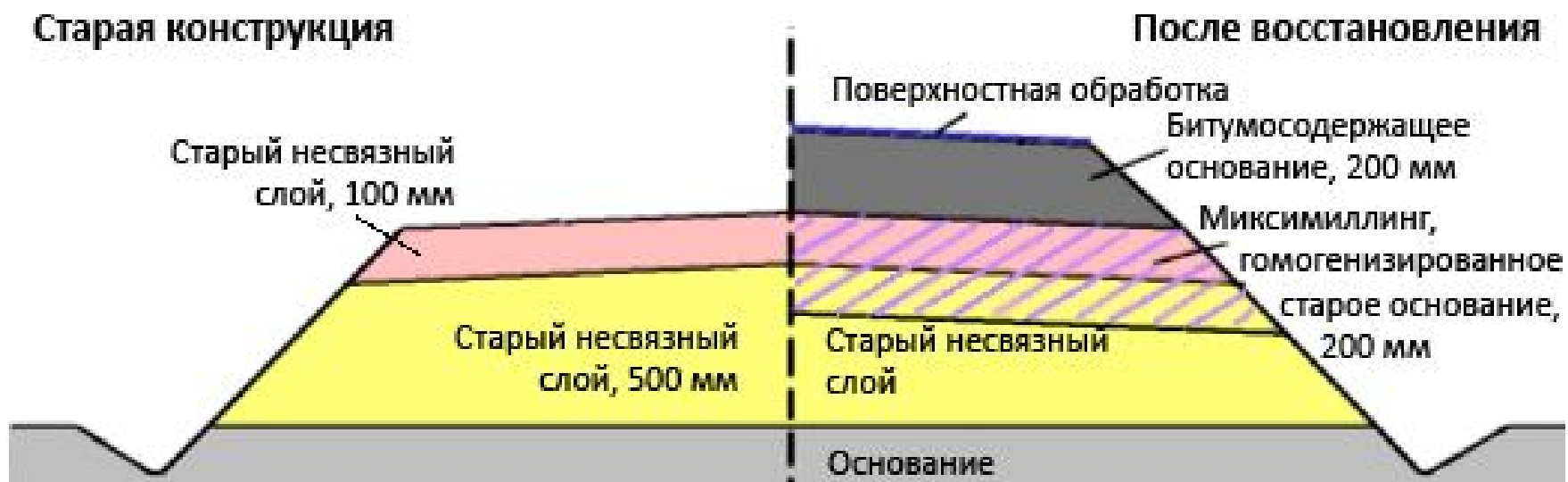
- 33т, суцдор.констр.
- 60т, суцдор.констр.
- 72/90т, суцдор.констр.
- 33т, суц+200мм основание
- 60т, суц+200мм основание
- 72/90т, суц+200мм основание
- 33т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 60т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 72/90т, суц+200мм основание+50мм покрытие
- 33т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 60т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 72/90т, суц+280мм основание+80мм покрытие
- 33т, суц+200мм битумосод. основание
- 60т, суц+200мм битумосод. основание
- 72/90т, суц+200мм битумосод.основание

Заключение:

- Расчеты с помощью модели показывают, что в существующем состоянии дороги Архангельской области с низкой интенсивностью **не готовы к росту нагрузок.**
- План действий для подготовки дорог к росту нагрузок должен включать:
 1. Восстановление геометрии, поперечного профиля, водоотвода дорог и гомогенизацию материала дорожной конструкции на глубину 200мм;
 2. Добавление слоя материала (200мм) с обработкой битумным вяжущим (2%) и двумя слоями поверхностной обработки.



Рекомендуемая общая дорожная конструкция для подготовки дорог с низкой интенсивностью движения к росту нагрузок в Архангельской области





Спасибо за внимание!