

## Технический документ Т-134

# ТЕМПЕРАТУРНАЯ СЕГРЕГАЦИЯ как причина разрушения асфальтового покрытия

Дж. Дон Брок, Г. Джейкоб  
(J. Don Brock, Herb Jakob)



---

## ВВЕДЕНИЕ

Вследствие чрезвычайно высокой интенсивности движения в Соединенных Штатах возросла необходимость создавать более качественные дорожные покрытия с большим сроком службы. Такие покрытия должны служить дольше, выдерживать более высокие нагрузки и требовать меньшего ремонта. Покрытия из горячей асфальтовой смеси более гладкие, гибкие, тихие, служат дольше и требуют меньшего нарушения движения при ремонте. В течение последних четырех десятилетий покрытие из горячей асфальтовой смеси остается самым распространенным, и исследователи продолжают улучшать его долговечность, устойчивость к разрушению и усталостному образованию трещин.

С помощью современной техники, имеющейся сейчас у дорожных строителей, эти усовершенствованные смеси могут укладываться значительно более гладко, чем в прошлом. Гладкие дороги имеют больший срок службы и уменьшают расходы на обслуживание, расход горючего и износ шин автомобилей. Укладка более гладких дорог приводит к тому, что водители меньше устают, и таким образом дорожная система становится безопаснее.

## СЕГРЕГАЦИЯ

В течение последних двух десятилетий, по мере увеличения объемов производства и укладки асфальта, двумя наиболее распространенными причинами преждевременного разрушения асфальтовых дорог являются сегрегация и разлом по продольным стыкам. По вопросу сегрегации написано множество работ. Первой был Технический бюллетень Astec T-117, который несколько раз пересматривался и дополнялся новыми данными. Национальная ассоциация асфальтовых дорог (NAPA) продала более 40 000 экземпляров данной работы, а недавно Американская ассоциация работников дорожной и транспортной отрасли (ASSHTO) опубликовала последнюю редакцию бюллетеня Astec.

Ключевыми понятиями для производства асфальтовой смеси с длительным сроком службы являются однородность и консистенция. Однородность гранулометрического состава, содержания битума и воздушных полостей.

Традиционно определение сегрегации производится визуальным наблюдением при укладке смеси на дорогу. Когда для основного и связующего материала используется смесь с крупными частицами, участки сегрегации можно легко заметить. Однако, при использовании смесей с более мелкими частицами, часто при укладке невозможно визуально определить очевидные точки сегрегации, которые могут проявиться только через шесть-двенадцать месяцев. Поскольку верхний слой покрытия больше всего подвергается влиянию движения и погодных условий, любая сегрегация в нем, как и в любом другом слое, приводит к сокращению срока службы покрытия и его преждевременному разрушению. Проблема поверхностной сегрегации исследовалась во многих штатах, но тесты часто показывали, что частицы не очень сильно отличались друг от друга по размерам, причем даже участки с явной сегрегацией успешно проходили все тесты однородности размеров частиц.

Авторы данной работы, совместно с доктором Реем Брауном из NCAT и работниками NCAT, искали пути неразрушающего определения сегрегации. Успешно использовались такие приборы, как микроволновые и радиационные датчики асфальта, радиационные датчики плотности и другие.

---

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ СЕГРЕГАЦИЯ – РАЗРУШЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ-ЗА РАЗНИЦЫ ТЕМПЕРАТУР ВНУТРИ СМЕСИ

С недавнего времени работники Astec Industries начали использовать высокоточную инфракрасную камеру, чтобы оценить возможность ее применения с целью обнаружения сегрегации компонентов. При использовании камеры для наблюдения за смесью, выгружаемой из кузова самосвала, стало очевидным, что разница температур в кузове значительно больше, чем ранее полагалось. Разница температур до 27 градусов по Цельсию имела место в смесях, которые при температуре в 143 градуса перевозились всего на 16-24 км. Температура некоторых участков снизилась до 99 градусов.

Стив Рид, студент последнего курса Университета Вашингтона, первым обнаружил данный феномен летом 1996 года, когда проводил исследование проблемы сегрегации при укладке асфальта в рамках своей дипломной работы. Дипломная работа под названием “Повреждения асфальтового покрытия вследствие разницы температур при укладке” была подготовлена под руководством его консультанта, доктора Джо Мэгони и по согласованию с Департаментом транспорта штата Вашингтон. Департамент транспорта поручил Риду изучить явление, которое было известно под названием повреждения при перевозке, точечной сегрегации, сегрегации в конце порции и, в последнее время, циклической сегрегации. Целью данного исследования было определение причины и потенциального решения проблемы циклической сегрегации асфальтовых покрытий штата Вашингтон. В своей работе Рид утверждает: “Когда данное явление влияет на работы по восстановлению покрытия, ожидаемый срок службы верхнего слоя может быть уменьшен примерно в половину от срока в 12-15 лет, который обычно ожидает Департамент транспорта штата Вашингтон. Не было никакой возможности предугадать, какие проекты пострадают от циклической сегрегации, и проблема признавалась особенно сложной из-за того, что она могла не проявлять себя в ходе строительства, но обнаружиться в течение двух лет после его окончания”.

В главе 4 своей работы Рид пишет: “В то время как подход к данному исследованию был направлен на то, что считалось проблемой с сегрегированной смесью, по мере накопления данных стало очевидно, что наблюдаемое явление не было фракционной сегрегацией. Проблема, которая была названа “циклической сегрегацией”, оказалась связанной с разницей температур внутри массы асфальта в грузовиках, которая возникала при перевозке смеси от завода до рабочей площадки. Данное явление было соответственно названо “повреждение вследствие разницы температур”. Подобный термин кажется уместным, поскольку механизм, который вызывает эту проблему, связан с разницей температур в порциях асфальтовой смеси перед укладкой, и ущерб проекту возникает в процессе строительства. Другие проблемы (например, снятие поверхностного слоя, низкое уплотнение, расслоение, и т. д.) являются просто симптомами повреждения, которое уже произошло в смеси в ходе строительства. Процесс возникновения повреждения вследствие разницы температур начинается, когда порция асфальтовой смеси выгружается в бункер укладчика из кузова грузовика. Если в смеси имеется разница температур, очень холодный материал по краям партии вытесняется к краям бункера укладчика. Когда самосвал разгружен, и смесь в бункере израсходована, этот холодный материал осыпается вниз, чтобы оказаться поверх материала на конвейерах. Когда прибывает следующий грузовик и разгружается в укладчик, эта холодная смесь передается обратно в шнековую камеру и разравнивается. Плита укладчика не может уплотнить более холодную смесь и на полотне появляются явные участки с сегрегацией (повреждения вследствие

разницы температур). Поскольку данный процесс может повторяться для каждой укладываемой порции асфальта, циклическая природа данного явления становится очевидной”.

Хотя Рид не пользовался инфракрасной камерой, он точно определил проблему и ее причину.

Видеосъемка и снимки отдельных участков дорог инфракрасной камерой, а также компьютерная программа, с помощью которой можно строить профиль выявили, что имели место значительные различия температур. На рис. 1 и 2 показаны различия температур при выгрузке смеси из кузова самосвала, а также температуры отдельных точек. На рис. 3 и 4 показана смесь в бункере укладчика вместе с температурами различных точек в бункере. Очевидно, что более холодный материал немного задерживается в крыльях бункера укладчика. Если эти крылья разгружаются, значительное количество холодного материала окажется уложенным на дорогу, что приведет к возникновению участков повреждения из-за разности температур.

На рис. 5 и 6 показано покрытие позади укладчика вместе с температурами отдельных точек. Как можно увидеть, эти холодные точки имеют довольно низкие температуры, так что добиться уплотнения на этих участках будет невозможно. После того, как Джо Мэгони узнал об инфракрасной камере, он совместно с Департаментом транспорта штата Вашингтон попросил сотрудника Astec Industries Герба Джейкоба привезти камеру в Вашингтон для исследования нескольких проектов летом 1998 года. На рисунке 7 показан проект на юге от города Блейна, где смесь перевозилась на расстояние около 89 км. Материал был уложен укладчиком со смесителем Cedarapids 551. Прямо за укладчиком с помощью инфракрасной камеры были отмечены холодные и неоднородные участки покрытия. После завершения уплотнения, в однородной и неоднородной области были произведены измерения радиоактивным плотномером. Кроме проверки плотности, для определения воздушных полостей и гранулометрического состава в каждой из этих областей были взяты пробы внутреннего слоя. В таблице 1 на странице 22 приведены результаты данного исследования.



Рисунок 1

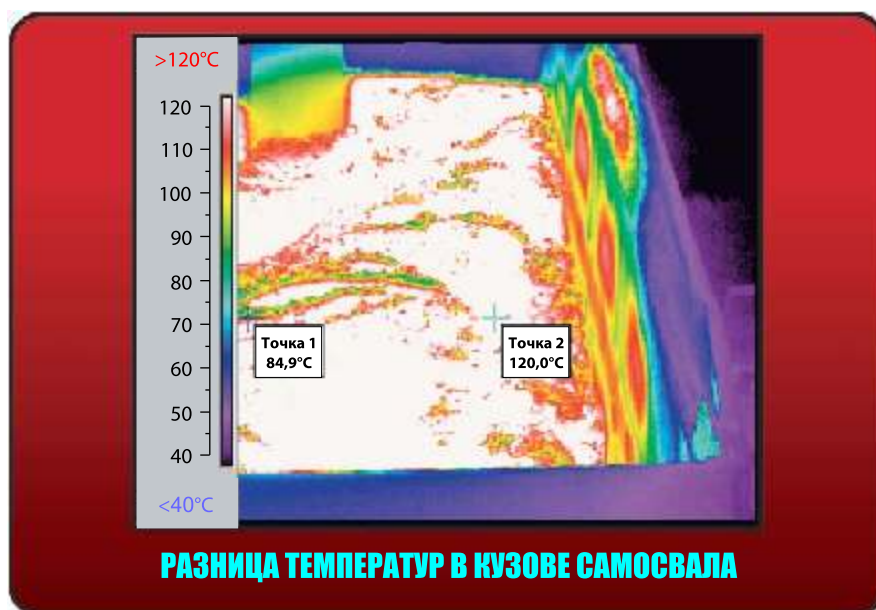
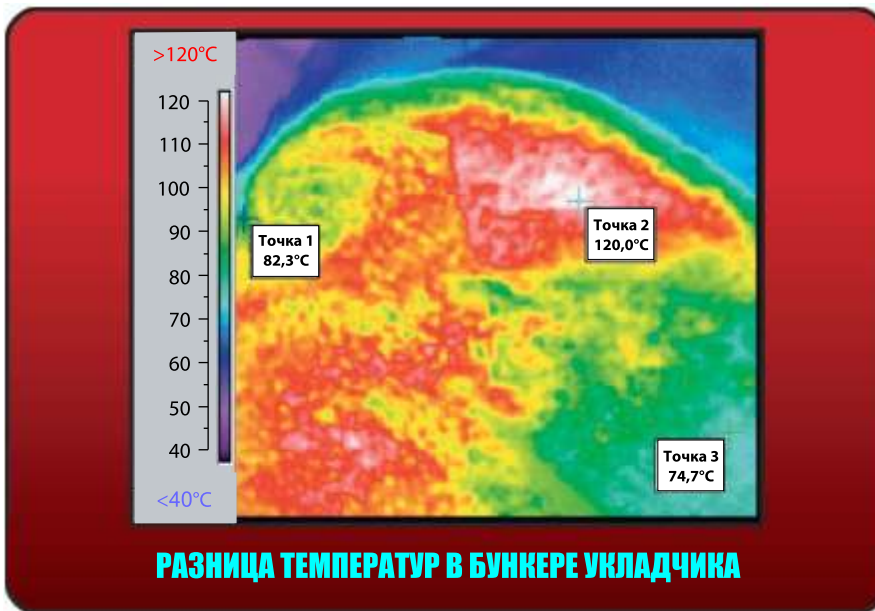


Рисунок 2



**Рисунок 3**

Горячая смесь в бункере укладчика



**Рисунок 4**

Диаграмма температуры и температуры точек горячей смеси в бункере укладчика



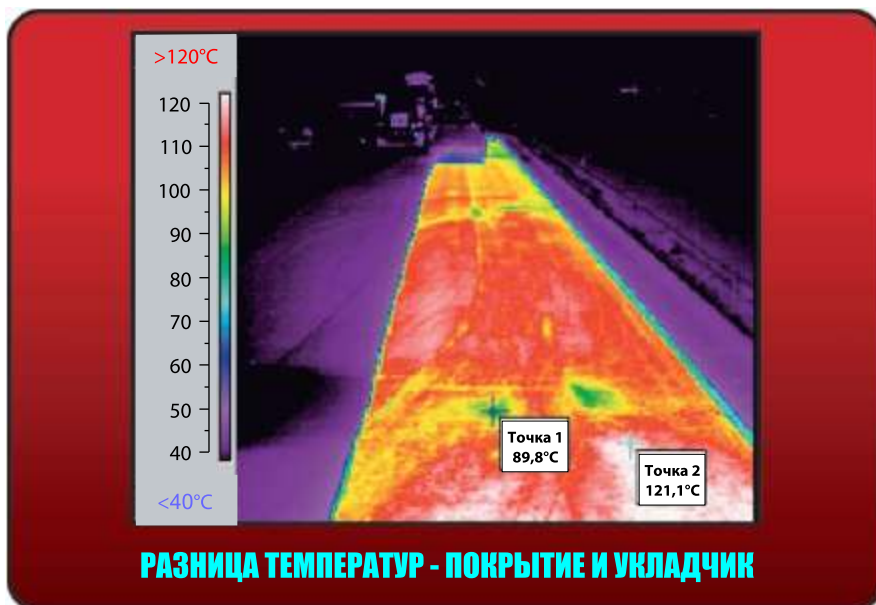
**Рисунок 5**

Разгрузка самосвала в бункер укладчика и покрытие за укладчиком

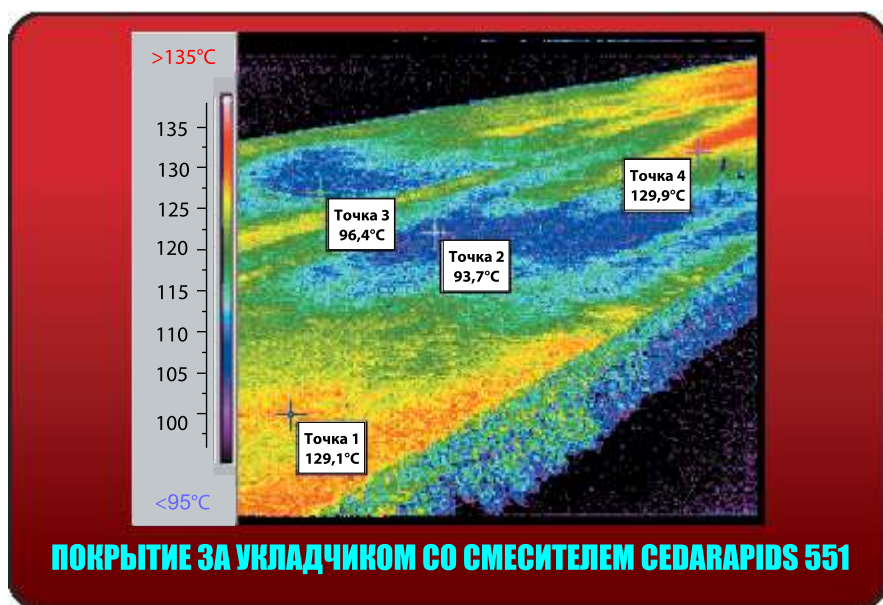


**Рисунок 6**

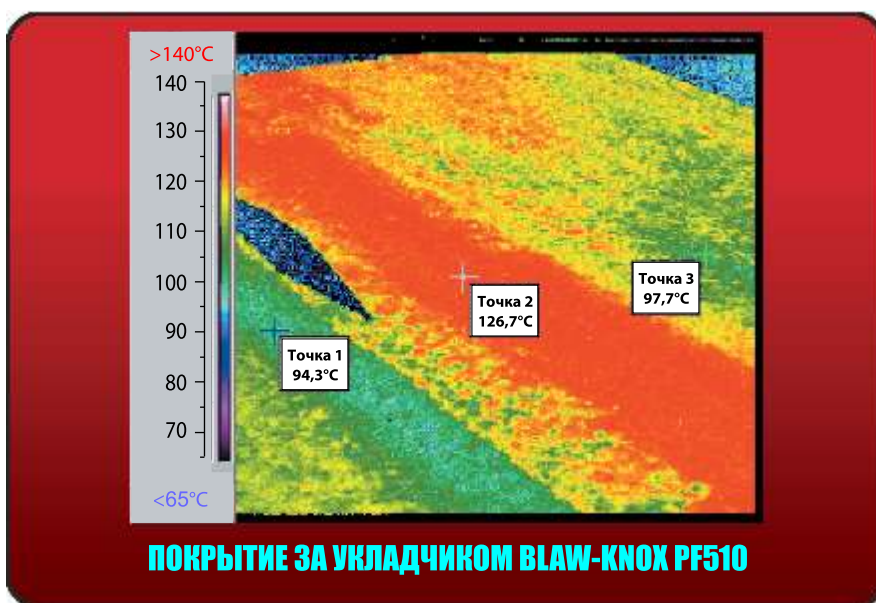
Диаграмма температуры и температуры точек покрытия после укладчика без повторного перемешивания



**Рисунок 7**



**Рисунок 8**



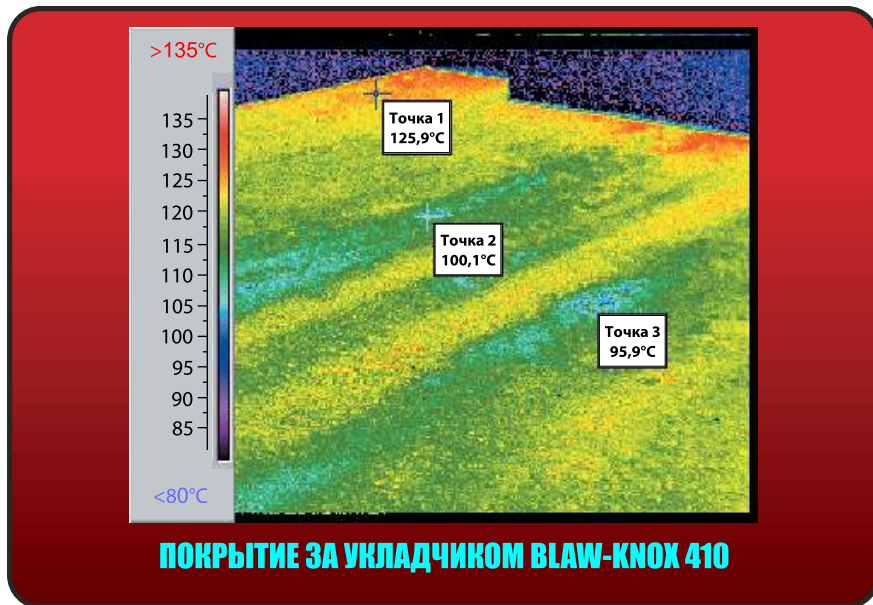


Рисунок 9

Рисунок 8 это инфракрасное изображение второго проекта, который проходил в городе Спокан (шт. Вашингтон), где материал перевозился на расстояние 10 км и укладывался асфальтоукладчиком Wlaw-Knox PF 510. В таблице 2 (стр. 22) приведены данные по плотности и воздушным пустотам на участках с однородным и неоднородным покрытием. На рисунке 9 инфракрасный снимок с проекта в административном центре Колфакс (шт. Вашингтон). Смесь перевозилась на расстояние 0.2 км, укладка производилась асфальтоукладчиком Wlaw-Knox 410. В таблице 3 (стр. 23) приведены данные по плотности и воздушным пустотам на участках с однородным и неоднородным покрытием. Рисунок 10 это инфракрасное

изображение работ, производимых на Шоссе 99, в городе Сиэтл (шт. Вашингтон), время перевозки материала 20 минут, укладка машиной Caterpillar 1055B. В таблице 4 (стр. 23) приведены данные по плотности и воздушным пустотам. Как видно из результатов, на плотность и содержание воздушных пустот в значительной мере влияет пониженная температура в холодных участках.

Центр NCAT исследовал сегрегацию на 19 объектах, расположенных в штате Джорджия и имеющих пористую структуру, низкую плотность и участки, подверженные расслоению, растрескиванию и повреждениям от влаги. Наиболее важные цитаты из этого отчета следующие:

- «Независимо от источников сегрегации, она всегда особо выделялась в конце партии материала. Если бы было возможным решить этот вопрос, проблема сегрегации потеряла бы свою первостепенность».
- «Во многих случаях сегрегацию трудно заметить при укладке. При обнаружении сегрегации, ее не всегда просто устранить».
- Заключение из отчета по проекту Браун и других: «Участки с сегрегацией обычно на 8 - 15% более крупнозернистые (грубые) по ситу №8, чем без сегрегации, воздушных полостей обычно на 3 - 5% больше и содержание битума ниже на 1 - 2%».

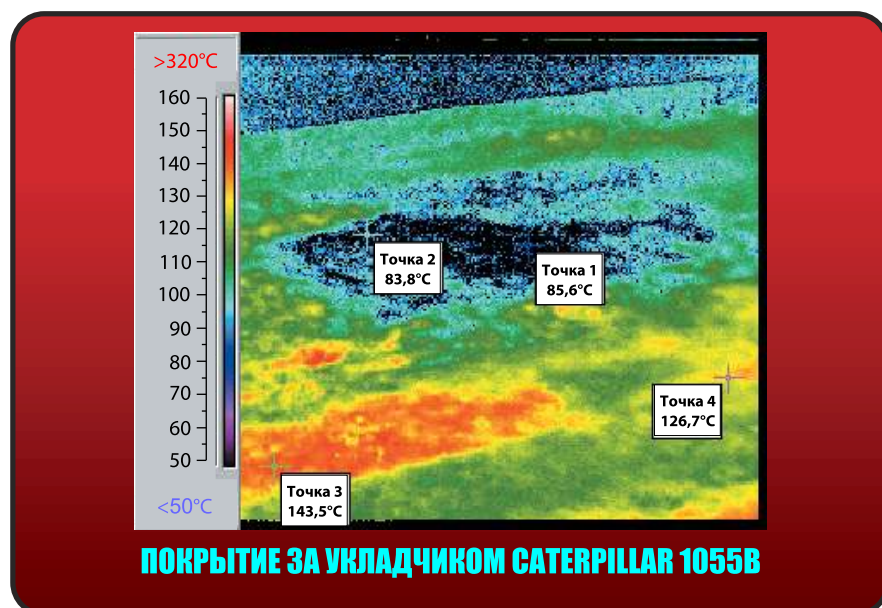


Рисунок 10



- Рекомендация из отчета: «Рекомендуется применение радиоактивных датчиков для определения участков с сегрегацией, так как вероятно, что таковой будет иметься на площадке для измерения плотности. По результатам данного исследования, любая зона сегрегации, имеющая плотность ниже на 19 - 24 кг/м<sup>2</sup>, нежели примыкающий участок без сегрегации, будет иметь значительное снижение характеристик смеси и, следовательно, должен быть удален и заменен».

В исследовании по штату Вашингтон стоит отметить, что пробы гранулометрического состава показали, что ни один из холодных участков не превосходил 8 - 15% по ситу №8. В основном гранулометрический состав был схож с составом однородных участков. Однако плотность и содержание воздушных пустот превышали рекомендуемые исследованием NCAT значения.

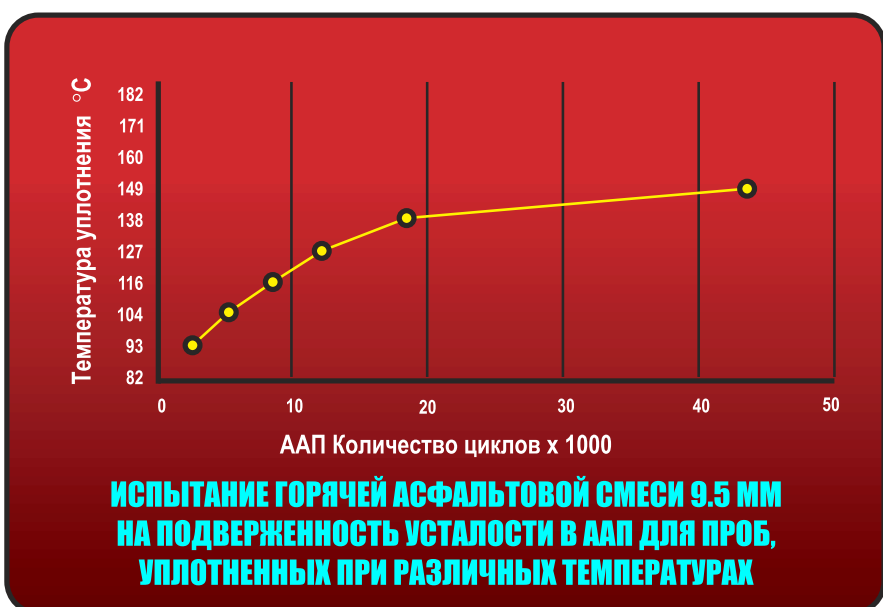
В попытке определить серьезность повреждений от холодных участков, Рон Коллинз из компании Pavement Technology, используя виброкаток РТ1 и анализатор асфальтового покрытия, уплотнил обычную для штата Джорджия смесь при 149°C, 143°C, 138°C, 127°C, 116°C, 104°C и 93°C. Виброкаток использовался для уплотнения смеси при 149°C до примерно 7% воздушных полостей. Время, необходимое для уплотнения (около 17 секунд) и давление прижима, амплитуда и частота вибрации сохранялись без изменения, когда температура смеси снижалась.

На рисунке 11 видно воздействие на воздушные полости при снижении температуры. Как видно, содержание воздушных полостей изменяется с 6.8% при уплотнении при 149°C до 9.3% при уплотнении при 93°C. Каждая полоса, произведенная из этого исследования, была помещена в анализатор асфальтового покрытия, и проводились испытания на выносливость до разрушения полос. Одна из таких полос показана на рисунке 13. А на рисунке 12 видно, что циклы,



**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ВОЗДУШНЫХ ПУСТОТ (уплотнение виброкатком)**

Рисунок 11

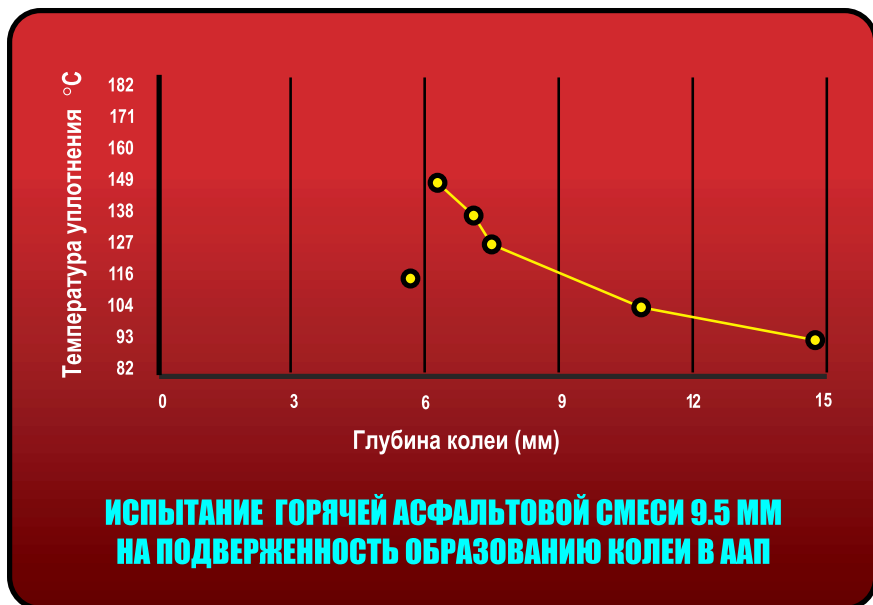


**ИСПЫТАНИЕ ГОРЯЧЕЙ АСФАЛЬТОВОЙ СМЕСИ 9.5 ММ НА ПОДВЕРЖЕННОСТЬ УСТАЛОСТИ В ААП ДЛЯ ПРОБ, УПЛОТНЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Рисунок 12



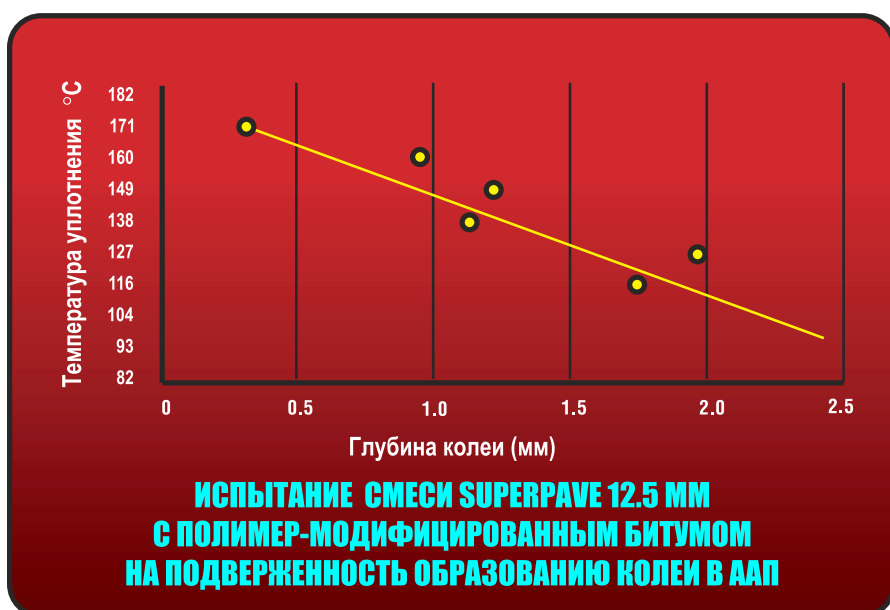
Рисунок 13



**Рисунок 14**

**Таблица 5: Характеристики пробы смеси Superpave, испытываемой в ААП**

Температура уплотнения (°C)	Содержание воздушных полостей (%)		Колея (мм)	Усталость (количество циклов)
	Испытание на образование колеи	Испытание на усталость		
149	6.7	6.8	6.38	46,718
143	7.1	7.4	6.26	20,956
138	7.0	7.5	6.06	19,690
132	7.6	8.0	7.47	13,198
116	8.5	8.4	9.50	8,010
104	8.2	8.6	10.72	4,578
93	9.1	9.5	14.84	4,250



**Рисунок 15**

которые должны разрушиться, снижается значительно при возрастании содержания воздушных полостей в покрытии. Смесь, уплотняемая при 104°C, будет иметь примерно 10 - 12% от срока службы смеси, уплотненной при 149°C.

Рисунок 14 и таблица 5 показывают воздействие температур уплотнения на образовании колеи и усталость для 9.5 мм горячей асфальтовой смеси с гранулометрическим составом, дающим плотную смесь. Рисунок 15 и таблица 6 показывают восприимчивость к образованию колеи смеси Superpave 12.5 мм с полимер-модифицированным битумом при изменении температур уплотнения.

Ранее в работе было указано, что на основе исследования в штате Вашингтон, срок службы покрытия снижается в половину по причине циклической сегрегации. На основании лабораторных данных, видно, что это устаревшее предположение.

Наличие холодных областей в покрытии приведет к неравномерной плотности полотна, что вызовет возникновение воздушных пузырей и неровности поверхности. Во-вторых, высокое содержание воздушных полостей в этих областях позволит воде проникать внутрь смеси, вода зимой будет замерзать и разрушать полотно, образуя рытвины. Важно отметить, что описанное явление будет оказывать такое же действие, как точки сегрегации с концентрацией грубых частиц, приводящие к образованию рытвин. Однако в этом случае вместо разделения частиц источником является температурная сегрегация. При исследовании этих явлений и понимании причин становится ясно, что при укладке асфальта подрядчик не может контролировать многие из причин неравномерного остывания смеси.

## ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВСЛЕДСТВИЕ РАЗНИЦЫ ТЕМПЕРАТУР

Даже когда смесь правильно готовится на заводе, правильно хранится в бункере и правильно грузится на самосвал, вследствие сегрегации температур может быть уложено покрытие низкого качества.

Когда смесь погружена на самосвал (рис. 17), по его периметру немедленно начинаются потери тепла (рис. 18). Надо отметить, что самосвал на рис. 18 изолирован с боков. Обратите внимание на более высокую температуру у неизолированного заднего борта. Смесь в этой области будет выгружена первой и соединится с холодной смесью со сторон предыдущей порции. На рис. 19 приведено уравнение для теплотерь вещества, где "Q" - количество тепла, потерянного за заданное время, "U" - общий коэффициент теплопередачи, "A" - площадь передачи тепла, "T<sub>с</sub>" - температура на поверхности, а "T<sub>а</sub>" - температура окружающей среды.

Очевидно, что чем выше температура смеси, тем большие разницы температур и потери тепла возникнут в ней. Также более крупные потери тепла будут иметь место при более низкой окружающей температуре. Асфальт и компоненты смеси в целом имеют относительно низкую теплопроводность, что приводит к тому, что большая часть остывания имеет место по краям кузова, где происходят потери тепла. Тепло от центра смеси медленно передается от центра к краям, но из-за низкой теплопроводности между центром и краями возникает большая разница температур, показанная на рис. 20 и 21. По сути, смесь сама себя изолирует.

Таблица 5: Характеристики пробы смеси Supergrave, испытываемой в ААП

Температура уплотнения (°C)	Содержание воздушных полостей (%)		Колея (мм)	Усталость (количество циклов)
	Испытание на образование колеи	Испытание на усталость		
171	7.4	7.4	0.53	300,000*
166	8.6	7.4	0.88	226,962
160	8.6	8.3	0.89	175,972
149	9.5	9.5	1.13	172,390
138	9.3	10.3	0.91	79,146
127	8.7	9.4	2.00	71,094
116	9.5	9.8	1.55	51,798

\* Циклический процесс остановлен



Рисунок 16



Рисунок 17



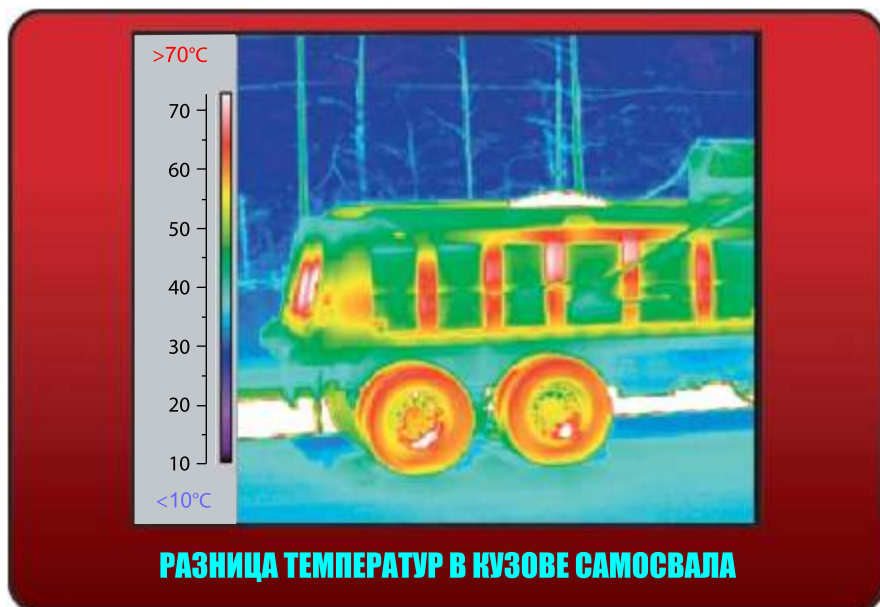


Рисунок 18

$$Q = UA(T_s - T_A)$$

Q = количество тепла, потерянного за заданное время; U = общий коэффициент теплопередачи;  
A = площадь передачи тепла;  $T_s$  = температура на поверхности;  $T_A$  = температура окружающей среды

**УРАВНЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОПТЕРЬ ВЕЩЕСТВА**

Рисунок 19



Рисунок 20

На величину тепловых потерь и разницы температур внутри самосвала оказывают влияние множество факторов.

Это следующие факторы:

- Температура смеси при погрузке в самосвал
- Температура окружающего воздуха
- Наличие изоляции кузова самосвала
- Размер кузова по отношению к количеству перевозимой смеси
- Дальность перевозки
- Скорость перевозки
- Время ожидания перед укладчиком
- Наличие покрывала над смесью
- Задержки в пути

Как можно заметить из вышеприведенного списка, подрядчик, занимающийся укладкой асфальта, не может контролировать многие из этих переменных. Новые полимермодифицированные смеси, смеси Supergrade и другие, обладающие повышенной устойчивостью к образованию колеи, требуют для укладки более высоких температур, чем обычные смеси. Чтобы эти плотные смеси можно было нормально уплотнить, их необходимо изготавливать и грузить в самосвалы при более высокой температуре, что приводит к большей разнице температур между смесью и окружающим воздухом, и, следовательно, к большим повреждениям из-за разницы температур. Длинные расстояния перевозки и дополнительные задержки при движении могут потребовать дополнительного повышения температуры на заводе, что приведет к таким же результатам.

## ВЛИЯНИЕ НА УПЛОТНЕНИЕ И РОВНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

Много статей было посвящено вопросу правильного использования катков для достижения уплотнения полотна. На рис. 22 и 23 показаны различные методы применения катков для новых смесей Superpave, предложенные Comtraction America. Эти способы доказали свою высокую эффективность при укладке жестких смесей, которые встречаются со смесью Superpave. Однако как видно из предыдущих параграфов, температура внутри зон уплотнения не однородна, и даже если схемы прокатки соблюдаются, это не гарантирует достижение однородной плотности.

Схемы прокатки разнесены по дороге в попытке обеспечить одинаковое усилие сжатия для каждого квадратного метра полотна, чтобы достичь однородной плотности с правильным содержанием воздушных полостей. Поскольку уплотняемость смеси различна в зависимости от ее температуры, переменная температура покрытия приведет к неравномерной плотности готового полотна.

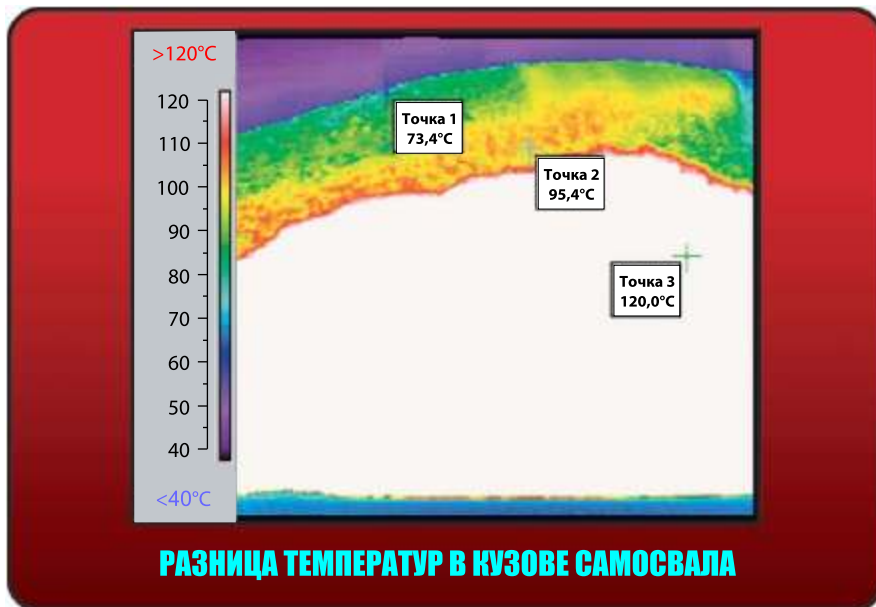


Рисунок 21

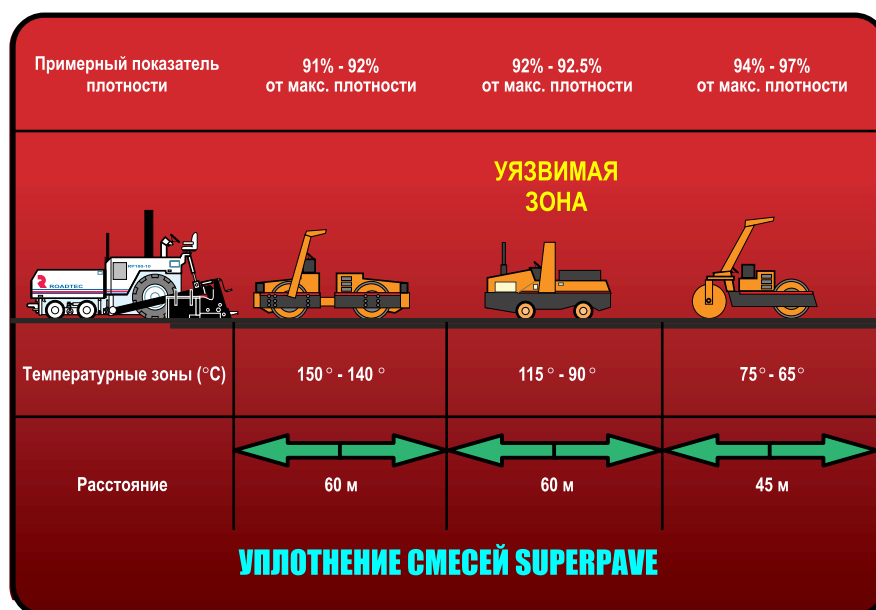


Рисунок 22

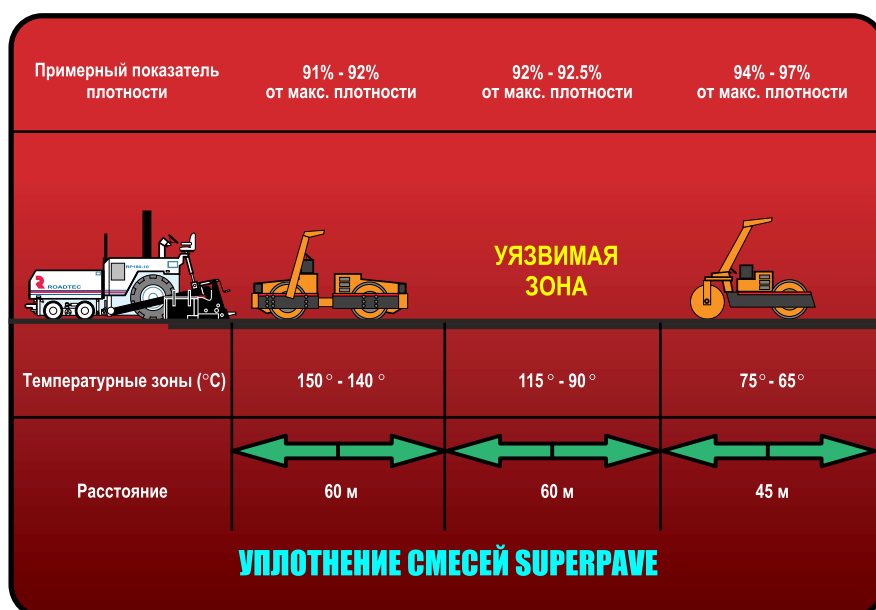


Рисунок 23





**Рисунок 24**



**Рисунок 25**

Равномерная плотность достигается тогда, когда все части полотна уплотняются или укатываются в одинаковой степени, то есть, при укладке покрытия толщиной 51 мм перед плитой укладчика укладывается 64 мм, а плита и катки уплотняют или спрессовывают материал до 51 мм. Если в определенных местах смесь является холодной, при сжатии произойдет одно из двух - смесь в холодных токах не уплотнится полностью, вызывая подъем или опускание плиты укладчика, оставляя тем самым на полотне неровный участок, или произойдет растрескивание холодного участка, поскольку на него придется весь вес катка. В любом случае результатом будет некачественное покрытие с коротким сроком службы.

При неравномерной плотности нарушается ровность покрытия. Температурная сегрегация и размер частиц заполнителя вместе могут сильно ухудшить гладкость покрытия. Плиты укладчиков будут подниматься и опускаться в зависимости от изменения температуры и соответствующей жесткости смеси.

## РЕШЕНИЯ

Это приводит нас к выводу, что для получения однородной температуры необходимо производить дополнительное перемешивание непосредственно перед укладкой. Рид изучил различные оборудование для перегрузки, чтобы определить их влияние на повреждение вследствие разницы температур. Это подборщик из валиков (рис. 24 и 26), транспортер Вlaw-Кнох и перегружатель асфальтовой смеси Shuttle Buggy производства Roadtec.

Придя к выводу, что подборщик из валиков уменьшает температурную сегрегацию, он отметил, что поддержание постоянного точного количества смеси в валике было довольно трудным делом. Также было очевидно, что избыток или недостаток материала в валике приводит к тому, что смесь в бункере укладчика задерживается на большее или меньшее время, что увеличивает температурную сегрегацию. Кроме того, большие прицепы с донной разгрузкой обычно сначала выгружают материал из центра, а затем - с краев, что приводит к концентрации холодного материала в конце каждой партии. Хотя качество покрытия улучшалось, температурная сегрегация полностью не устранялась.

На рисунке 26 изображен укладчик в валики, часто эксплуатируемый в штате Миссисипи и предназначенный для смешивания материала в валике перед его сборкой подборщиком. Как видно из инфракрасного снимка (рис. 27), сделанного вслед за машиной, влияние повторного смешивания на температуру при использовании данной машины минимально. Перед тем, как был произведен снимок, смесь проделала путь в 16 км.

На рисунке 28 изображен проект в Новой Шотландии (Канада), где



Рисунок 26

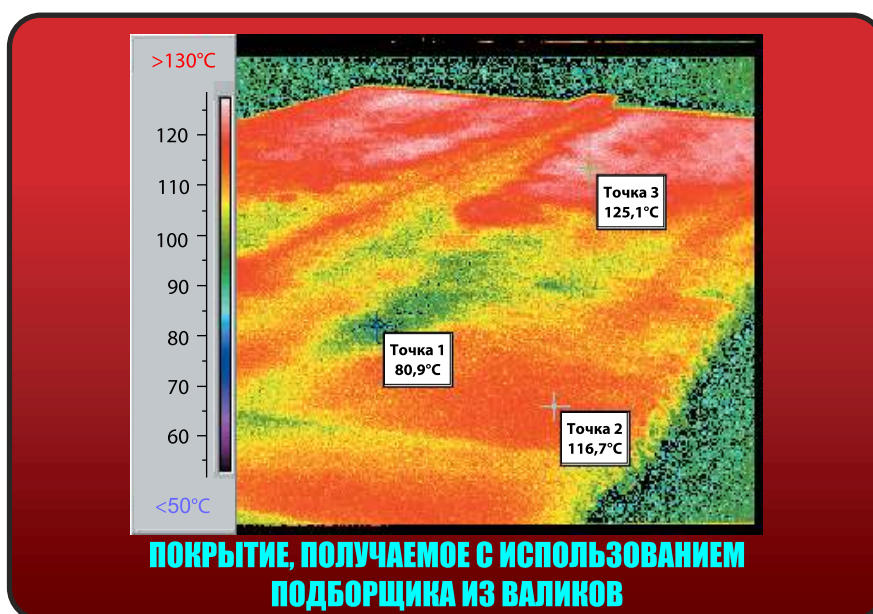
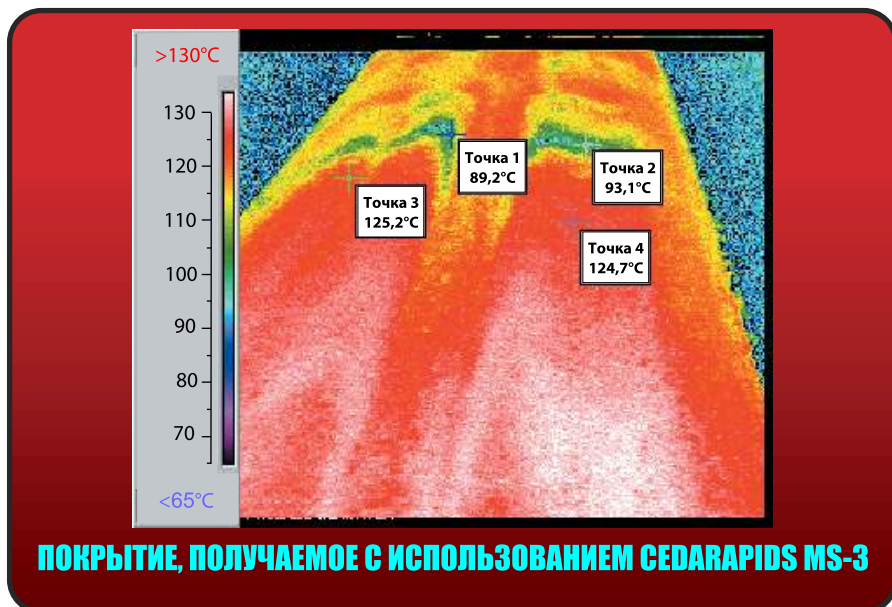


Рисунок 27



Рисунок 28





**Рисунок 29**

применялась машина Cedarapids MS-3, рисунок 29 – это инфракрасный снимок, сделанный вслед за ней. Транспортёр материала MS-3 позволяет помещать больше материала в укладчик и, как видно из инфракрасного снимка, производит незначительное перемешивание. На рисунке 30 изображен укладчик со смесителем Cedarapids, а на рисунке 31 щеки внутри него. Инфракрасный снимок (рис. 32) смеси, перевезенной на 89 км, сделанный за укладчиком показывает, что при использовании данной машины смешивание оказывает незначительное влияние на температуру.

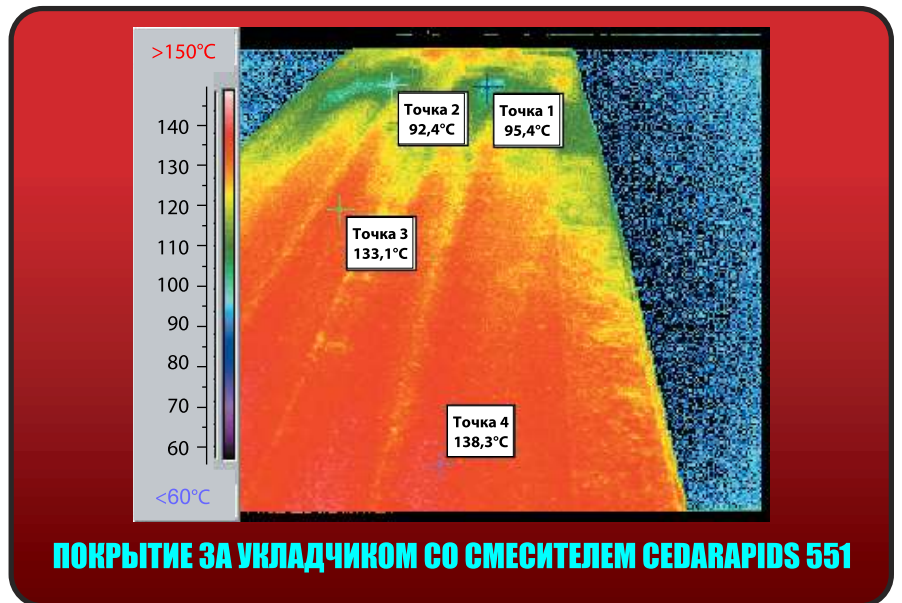


**Рисунок 30**

Транспортер Вlaw-Кнох (рис. 33), в сущности, является ленточным конвейером с минимальным дополнительным перемешиванием. Хотя эта машина улучшает



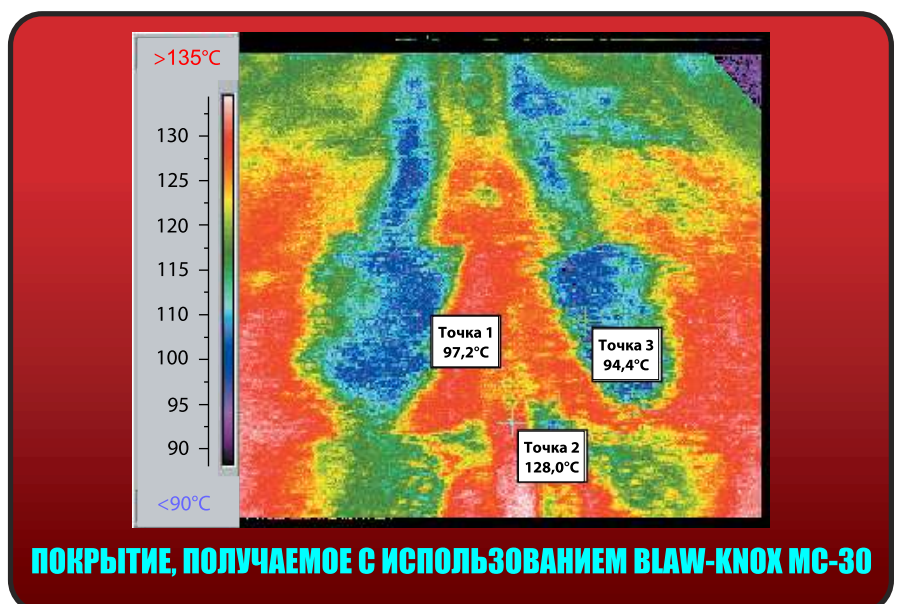
**Рисунок 31**



**Рисунок 32**



**Рисунок 33**



**Рисунок 34**





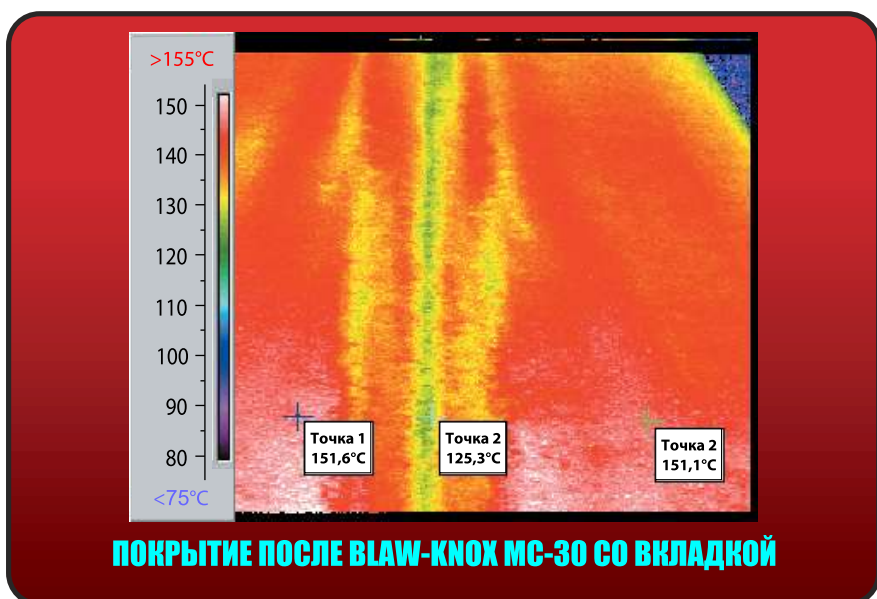
**Рисунок 35**

покрытие, оно обнаруживает такую же степень температурной сегрегации, как показано на рисунке 34. На рисунке 35 показано улучшение этой машины с помощью вкладки (рис. 36), укомплектованной смесителем в нижней части бункера укладчика. На рисунке 37 показано инфракрасное изображение температуры полотна за этой машиной. Даже внесенное улучшение не изменяет сильного перепада температур.

Перегрузчик асфальтовой смеси компании Roadtec (рис. 38) имеет трехшаговые шнеки (рис. 40) в нижней части и вмещает около 25 тонн материала. При работе шнеков с постоянным витком (рис. 39)



**Рисунок 36**



**Рисунок 37**



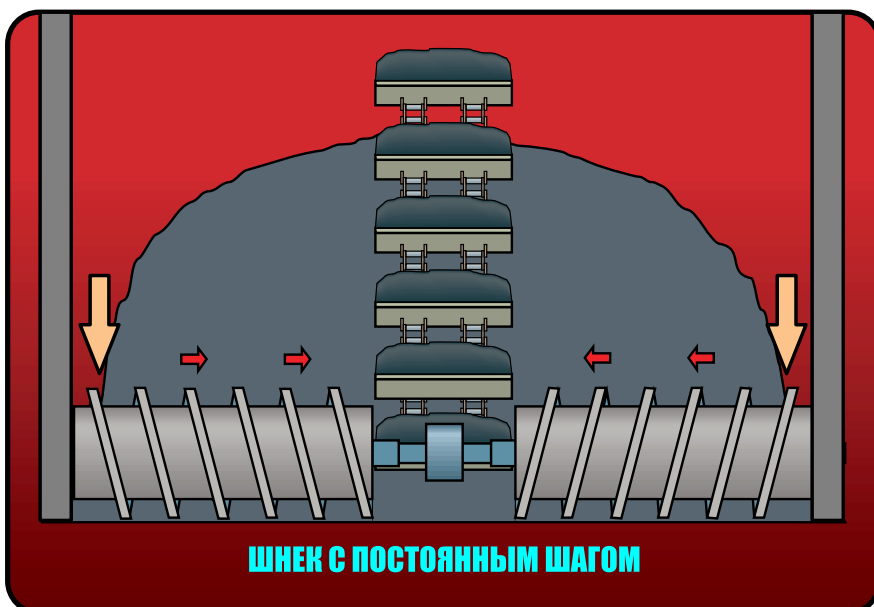
перемешивания не происходит, так как весь материал забирается на входе шнека. В результате весь объем материала будет выгружаться с внешних сторон бункера, и в последнюю очередь из центра.

При изменении шага шнека, как показано на рис. 40, новый материал может попадать в витки шнека по мере их увеличения или с изменением шага. Поскольку на каждом крае бункера шаг изменяется дважды, происходит перемешивание смеси из шести разных точек бункера, причем холодный или грубый материал перемешивается с горячим или мелким с четырех сторон и центральной части.

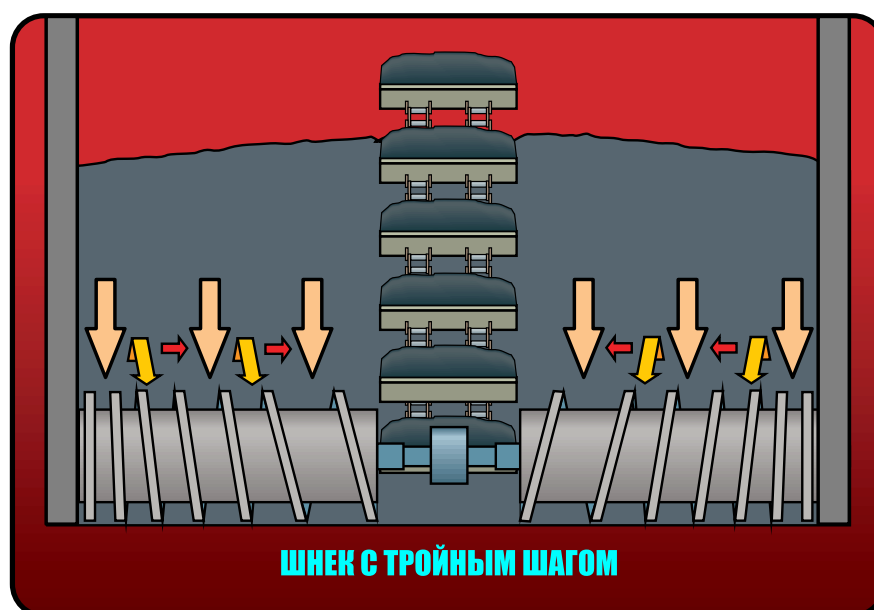
Рисунки 41, 42 и 43 показывают три инфракрасных снимка, сделанных за перегружателем Roadtec Shuttle Buggy. Как видно, по сравнению с другим оборудованием для перевозки, перепад температур во всех трех случаях не превышает 12°C.



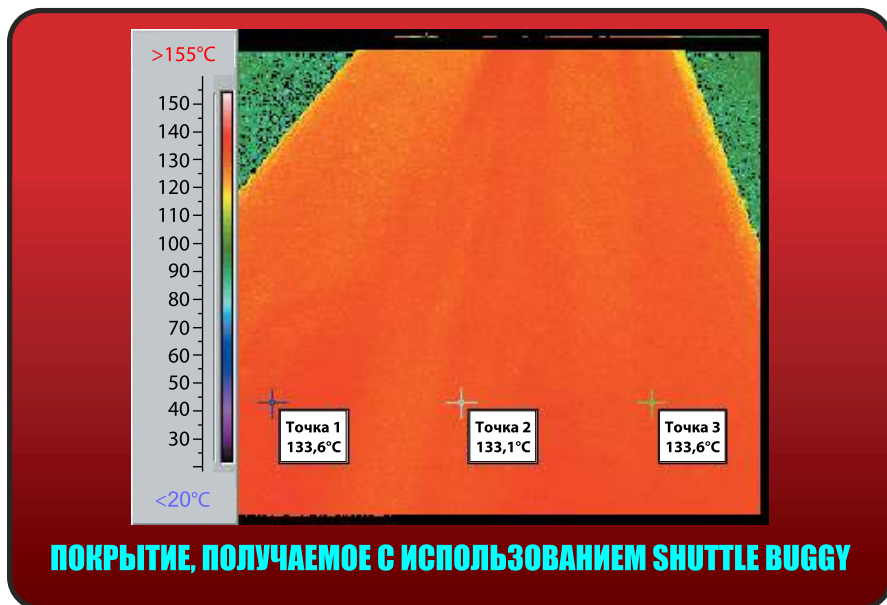
**Рисунок 38**



**Рисунок 39**

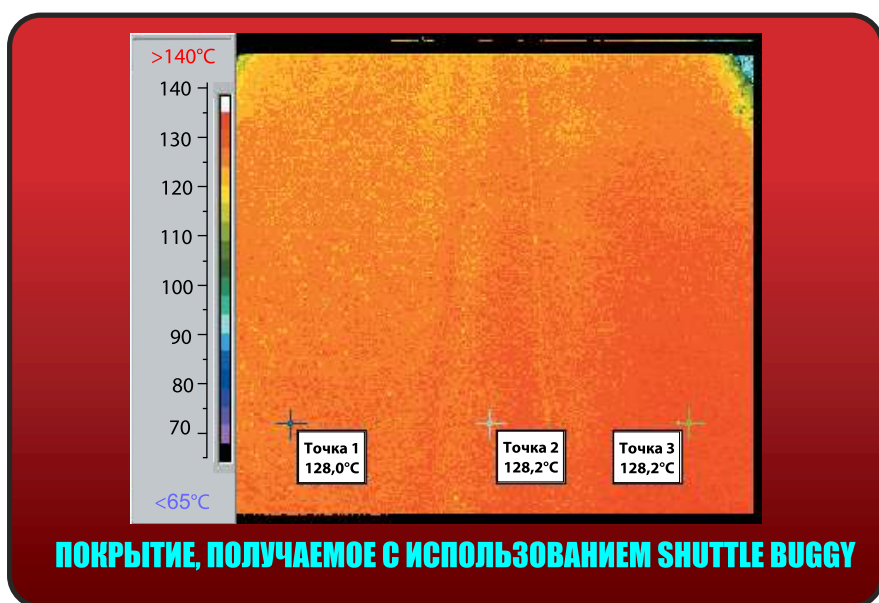


**Рисунок 40**



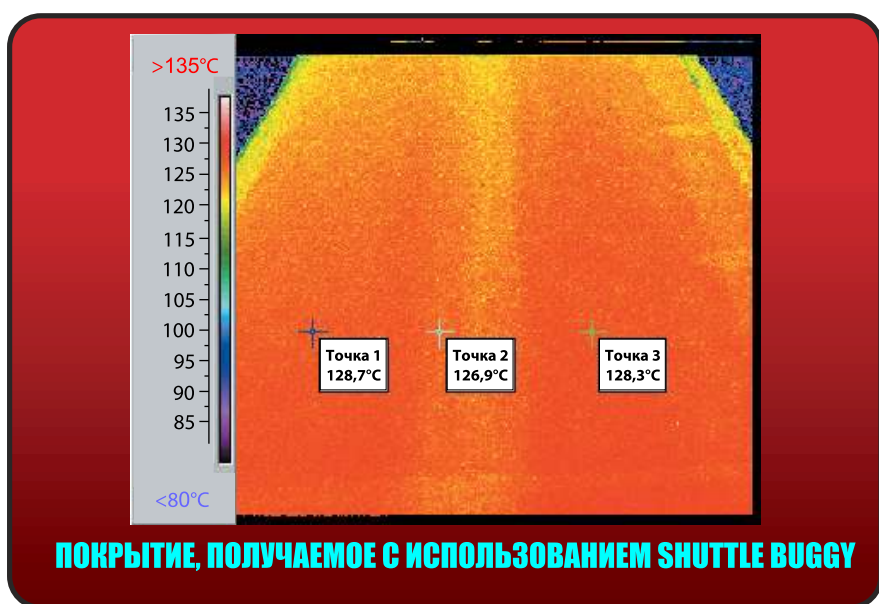
**Рисунок 41**

Этот снимок был произведен в июне 1998 года в провинции Новая Шотландия на трассе 210.



**Рисунок 42**

Этот снимок из Эверетта, штат Вашингтон с шоссе I-S South, июнь 1998.



**Рисунок 43**

Этот снимок был произведен на шоссе 336 в Ньюкомбвилле, Новая Шотландия, в июне 1998 года.

Данное явление впервые было обнаружено примерно три года назад, когда подрядчик из Арканзаса, укладывая тонкий слой асфальта, заметил, что при использовании Shuttle Buggy значительно повысилась ровность поверхности, и плотность возрастала с 80 до 100%. По его наблюдениям, перемешивание в машине приводило к выравниванию температуры, это было важнее, чем устранение сегрегации. На рис. 44 показан участок дороги, уложенный без использования Shuttle Buggy. На рис. 21 показан участок дороги, уложенный с использованием Shuttle Buggy. Откровенно говоря, в то время значение величины температурной сегрегации еще не осознавалось.



**Рисунок 44**



**Рисунок 45**





**Рисунок 46**



**Рисунок 47**



**Рисунок 48**

Еще один пример. В начале 1997 года подрядчик из Австралии перевозил смесь на расстояние в 241 км в одну сторону, что приводило к остыванию смеси до 800С по внешним сторонам; сверху температура смеси составляла 960С, но в центре она по-прежнему была 152°С. После повторного перемешивания в перегружателе компании Roadtec, температура выгружаемой смеси равнялась 140 градусам (см. рис. 46, 47 и 48). В итоге покрытие имело постоянную плотность и ровность.

Из этого становится очевидным, что для получения однородной консистентной смеси в полотне, прямо перед загрузкой смеси в укладчик, следует произвести ее повторное перемешивание, за исключением того случая, когда смесь перевозится на небольшое расстояние при хорошей погоде. При использовании грузовиков с донной разгрузкой и укладки из валиков, Shuttle Buggy с насадкой для подборки из валиков, дает преимущество хранения и перемешивания. Соединяя шнеки и плиту в задней части машины, получаем Shuttle Buggy, работающий как укладчик. Эта комплексная машина выполняет ту же работу, что укладчик и подборщик, кроме того, обеспечивает равномерную температуру дорожного полотна за укладчиком. Такое устройство показано на рисунке 49.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием инфракрасной камеры стало ясно, что разница температур в смеси, выгружаемой из самосвала, значительно больше, чем считалось ранее. Хотя и скрытое, это явление оставалось серьезной проблемой в течение многих лет. При изучении инфракрасных снимков, становится ясно, что беспорядочные изменения плотности, достаточно распространенные, вызваны скоплением в покрытии холодного материала. Также очевиден тот факт, что наличие областей холодного материала повлечет за собой повреждение дорожного полотна или образованию рытвин. По мере того, как смеси становятся жестче, как, например, новые смеси Superpave и ЩМА, температуры смеси часто значительно повышаются для борьбы со случайной проблемой с плотностью. Все это подводит нас к заключению, что необходимо проводить повторное перемешивание смеси перед укладкой. Если горячая асфальтовая смесь может производиться однородной на асфальтовом заводе, при тщательном соблюдении всех этапов производства, с момента погрузки смеси в самосвал тепловые потери становятся неизбежны. На время перевозки смеси с завода на площадку оказывают влияние различные параметры, что приводит к различию температур смеси на поверхности кузова, и подрядчик не может контролировать ситуацию.



Рисунок 49

Результаты исследований показывают, что перемешивания внутри укладчика недостаточно для полного устранения данного явления. Однако для производства ровного покрытия с долгим сроком службы и постоянной плотностью и, следовательно, с единым содержанием воздушных пустот, необходимо устройство для повторного перемешивания прямо перед укладкой. Наиболее вероятно, что компании и предприниматели в ближайшие годы разработают несколько машин для выполнения повторного перемешивания. Достаточно ли хорошо та или иная машина производит смешивание можно легко определить с помощью инфракрасной камеры. При появлении изменения температур, камера выявляет их, исключая допущения.

С помощью повторного перемешивания перед укладкой, покрытие получается более ровным, оно обладает высоким сроком службы без преждевременного разрушения в некоторых частях дороги. Дорожное полотно получается более рентабельным и долговечным, снижается количество трещин, обеспечивая комфортную езду для всех.



**Таблица 1: I-5 (Блейн) Температура, плотность и содержание воздушных пустот**

Код образца <sup>(1)</sup>	Температура по прибору (°C)	Плотность по Райсу (кг/м <sup>3</sup> ) лаб. образец    керн		Ядерная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Объемная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Градиент ядерной плотности (N-C) (кг/м <sup>3</sup> )	Содержание воздушных пустот на основе ядерной плотности <sup>(3)</sup> (%)	Повышение содержания воздушных пустот (C-N) (%)
3N	141	2506	2511	2205	2071	138	12.0	6.8
4C	113	2546	2497	2067	2056		18.8	
5N	141	2519	2498	2202	2120	101	12.6	4.4
6C	112	2532	2521	2102	2133		17.0	
7N	124	2514	2500	2176	2107	90	13.4	4.0
8C	93	2529	2534	2087	-		17.5	
9C	101	2521	2521	2176	2186		13.7	
10N	119	2511	2516	2117	2122	80	15.7	3.5
11C	107	2521	2506	2037	2109		19.2	
12C	109	2510	-	2083	-	54	17.0	2.1
13N	147	2511	-	2138	-		14.9	
14N	141	2505	-	2170	-	72	13.4	3.5
15C	121	2522	-	2098	-		16.8	
16N	121	2521	2503		2274		10.4	
Передн. ч. кузова		2534						
Средн. ч. кузова		2522						
Задняя ч. кузова		2521						

**Таблица 2: SR2 (Спокан) Температура, плотность и содержание воздушных пустот**

Код образца <sup>(1)</sup>	Температура по прибору (°C)	Плотность по Райсу (кг/м <sup>3</sup> ) лаб. образец    керн		Ядерная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Объемная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Градиент ядерной плотности (N-C) (кг/м <sup>3</sup> )	Содержание воздушных пустот на основе ядерной плотности <sup>(3)</sup> (%)	Повышение содержания воздушных пустот (C-N) (%)
1C	99	2498	2474	2199	2309	109	12.0	3.7
2N	127	2518	2492	2308	2378		8.3	
3C	84	2482	2433	2175	2218	67	12.4	2.2
4N	106	2495	2481	2242	2276		10.1	
5C	92	2510	2486	2135	2191	82	14.9	3.3
6N	134	2510	2487	2216	2260		11.7	
7C	105	2505	2482	2237	2224	29	10.7	1.6
8N	111	2494	2486	2266	2295		9.1	

Таблица 3: SR195 (Колфакс). Температура, плотность и содержание воздушных пустот

Код образца <sup>(1)</sup>	Температура по прибору (°C)	Плотность по Райсу (кг/м <sup>3</sup> ) лаб. образец    керн	Ядерная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Объемная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Градиент ядерной плотности (N-C) (кг/м <sup>3</sup> )	Содержание воздушных пустот на основе ядерной плотности <sup>(3)</sup> (%)	Повышение содержания воздушных пустот (C-N) (%)
1C	100	2659    2662	2385	2349		10.3	
2N	130	2651    2654	2526	2513	111	4.7	4.9
3C	128	2673    2657	2415	2421		9.7	
4C	104	2654    2688	2280	2337	205	14.1	7.8
5N	132	2652    2654	2486	2433		6.3	

Таблица 4: SR99 (Сиэтл). Температура, плотность и содержание воздушных пустот

Код образца <sup>(1)</sup>	Температура по прибору (°C)	Плотность по Райсу (кг/м <sup>3</sup> ) лаб. образец    керн	Ядерная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Объемная плотность (кг/м <sup>3</sup> )	Градиент ядерной плотности (N-C) (кг/м <sup>3</sup> )	Содержание воздушных пустот на основе ядерной плотности <sup>(3)</sup> (%)	Повышение содержания воздушных пустот (C-N) (%)
1C	110	2514    2470	-	2348	35	6.6	1.6
2N	149	2510    2474	-	2383		5.0	
3C	103	2526    2487	-	2327		7.9	
Передн. ч. кузова		2516					
Средн. ч. кузова		2511					
Задняя ч. кузова		2492					

(1) Код образца

· 1...3 = номер образца

· N нормальная температура, C проба с холодного участка

(2) Градиент температуры = N - C

(3) Содержание воздушных пустот на основе ядерной плотности и плотности лабораторного образца по Райсу (%)

Данные предоставлены Джо Мэгони из Университета штата Вашингтон

