СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С ТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕГРЕГАЦИЕЙ ПРИ УКЛАДКЕ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Вопросы, связанные с качеством и долговечностью автомобильных дорог - предмет непрекращающихся дискуссий в профессиональном сообществе, начиная с проектирования и подбора смесей и заканчивая методиками проведения работ на объектах и применяемые технические решения. На конечный результат влияет множество факторов и, определенные критерии качества закладываются еще на этапе проектирования.

С вступлением в действие на территории РФ Технического Регламента Таможенного Союза «Безопасность автомобильных дорог» и последующим вступлением в действие ряда новых внутригосударственных стандартов существенно повысились требования как к отдельным составляющим асфальтобетонной смеси, так и к ней в целом. Эти изменения позволяют заказчикам и подрядчикам совершенно на новом уровне подходить к вопросам качества при ремонте и строительстве дорог. Так как большинство стандартов гармонизированы с ведущими практиками Европы и США, ожидается в ближайшем будущем получить аналогичное качество покрытия. Так ли это и есть ли нюансы, попробуем разобраться в данной статье на примере температурной сегрегации.

Предположим, что удалось достичь идеальных условий на всех стадиях подготовки к укладке верхнего слоя асфальтобетонного покрытия. У вас есть безупречный проект, включающий в себя самые современные требования к материалам, в вашей лаборатории подобрана идеальная смесь согласно всем требованиям категории данной дороги и климатическим особенностям, АБЗ расположен недалеко от объекта и выпускает смесь безупречного качества, и вы используете самые современные перегружатели, асфальтоукладчики и уплотнители ведущих мировых производителей. Вы проводите работы в штатном режиме в теплую и сухую погоду, однако в ходе эксплуатации через некоторое время все равно сталкиваетесь с преждевременным появлением деформаций на верхнем слое покрытия.

Данная проблема является предметом дискуссии в мировом дорожном сообществе уже много лет, и началом ее решения стало обнаружение зависимости между наличием температурной сегрегации и плотностью асфальтобетонной смеси.

Выделяют два типа сегрегации: фракционную и температурную.

Для обеспечения качественного асфальтобетонного покрытия необходимо чтобы температура укладываемой смеси была однородной. При неоднородном распределении температуры в смеси ее плотность будет значительно различаться после уплотнения. Если укладывать такую смесь в покрытие, образуются многочисленные участки с более рыхлой структурой, так называемые «холодные пятна» и «холодные стыки», которые впоследствии и приведут к появлению различных дефектов покрытия.

Причины появления температурной сегрегации

Температурная сегрегация возникает при транспортировке смеси и выгрузке в бункер укладчика. Когда смесь погружена на самосвал, по периметру начинаются потери тепла. Тепло передается от центра к краям и основные потери температуры

происходят по именно по краям кузова. На величину разницы температур оказывают влияние многие факторы:
- Температура смеси при погрузке в самосвал
- Температура окружающего воздуха
- Наличие изоляции и покрывала на кузове самосвала
- Размер кузова по отношению к количеству перевозимой смеси
- Дальность и скорость перевозки
- Время ожидания перед укладчиком
- Задержка в пути

Процесс воздействия температур на процесс начинается, когда порция асфальтовой смеси выгружается в бункер укладчика из кузова грузовика: холодный материал по краям партии вытесняется к краям бункера укладчика. Когда смесь в бункере израсходована, холодный материал осыпается и оказывается сверху на конвейерах. При разгрузке следующего грузовика холодная смесь передается обратно в шнековую камеру и разравнивается. Такая ситуация повторяется для каждой укладываемой порции асфальта, в связи с чем явление сегрегации обычно имеет циклический характер.

Существующие подходы к проблеме температурной сегрегации

Первым шагом на пути борьбы с температурной сегрегацией является применение перегружателей смеси, которые позволяют предотвратить фракционную и температурную сегрегацию за счет перемешивания и равномерной подачи смеси в бункер асфальтоукладчика, однако встает вопрос контроля качества укладки непосредственно за ним.

Обычная практика предусматривает использования ручных биметаллических термометров, инфракрасных пирометров и инфракрасных камер, которые являются сравнительно недорогими и простыми в использовании средствами получения температурных профилей. Однако, данные средства обладают и рядом недостатков. Главными из них являются невозможность предоставления полной информации по всему участку в режиме реального времени и невозможность учета остановок укладчика, а также наличие постоянного оператора.

Так как органолептически невозможно определить наличие или отсутствие сегрегации - визуально участок с температурной сегрегацией за асфальтоукладчиком ничем не отличается от участка без нее, усложняются и функции строительного контроля, а также приемка выполненных работ, поскольку проблемы возникают не сразу, а с течением времени. Зачастую, гарантия на работы уже заканчивается и ответственность перекладывается.

Современные решения

Одним из наиболее эффективных технических средств выявления температурной сегрегации является комплексная система Pave IR Scanner, устанавливающаяся на асфальтоукладчик.

История создания Pave IR

В 2003 году начались исследования Техасского транспортного института (Texas Transportation Institute) для изучения связи между температурной сегрегацией и плотностью, а также с целью разработки методов практического сбора данных,

которые проводились при поддержке Департамента транспорта штата Техас (TxDOT). Изначально в ходе исследования научный сотрудник располагался в задней части пикапа и, используя температурную камеру, выявлял температурную сегрегацию. Первоначальный метод оказался крайне непрактичным и неудобным. Прежде всего, он имел очевидные недостатки в плане безопасности. Более того, ряд инфракрасных изображений нужно было совмещать для получения завершенного профиля. Сложно было сопоставлять данные о пройденном расстоянии и положении укладчика.

Принимая все это во внимание, в 2003 году была разработана система Pave-IR первого поколения, в октябре она была испытана в реальных условиях. Практическое использование системы выявило ряд конструктивных и эксплуатационных недостатков. Система представляла собой независимое передвигаемое вручную устройство, которым должны были управлять два оператора. Монтаж и настройка системы требовали существенных временных затрат. Система работала от батареи и отличалась неустойчивыми колесами и неплотными соединениями проводов.

Вышеупомянутые недостатки привели к модернизации системы, и в мае 2004 года впервые была испытана на практике Pave-IR второго поколения. Новая модель выгодно отличалась от предыдущей благодаря возможности быстрого монтажа и наличию центрального пульта управления. Также система нового поколения была оборудована устойчивыми колесами. Однако она по-прежнему работала от батареи и должна была управляться вручную двумя операторами. Более того, увеличился ее вес в связи с внедрением более стабильных колес. Система могла использоваться только на ограниченном пространстве.

Третье поколение Pave-IR впервые была испытана в январе 2005. Новая модель монтировалась на асфальтоукладчик, что решало ряд эргономических и эксплуатационных проблем, в частности она обладала такими характеристиками, как легкость и быстрота установки и сокращение количества управляющих операторов.

В 2005 году Техасский транспортный институт опубликовал отчеты об исследовании, где была описана связь между температурной сегрегацией и плотностью. (*Отчеты доступны в режиме онлайн по следующим адресам:*
http://d2dtl5nnlpfr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/0-4577-2.pdf
http://d2dtl5nnlpfr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/5-4577-01-1.pdf) В этих отчетах также были изложены методы сбора данных о температуре. Система Pave-IR была определена в качестве наиболее удачного инструмента сбора температурных данных.

К 2007 году Транспортному институту удалось оформить идею использования инфракрасных температурных датчиков в зрелую завершенную концепцию. На тот момент оборудование было наделено функциями сбора, обработки и отображения термограмм горячего слоя асфальтобетона (асфальтового мата) в интерактивном режиме, а в 2009 году была выпущена первая рабочая версия системы Pave IR и

использована на практике компанией APAC в Далласе.

В 2014 году система Pave IR претерпела серьезные изменения: с появлением на рыке высокоточных цифровых пирометров, появилась возможность сильно упростить конструкцию системы. Место рейки с многочисленными датчиками занял подвижный высокоточный пирометр, который позволяет снимать всю ширину укладываемого покрытия. Систему отличает простота, легкость монтажа и компактность.

Элементы системы PAVE-IR

Доступная в настоящий момент система PAVE-IR выполнена в следующей комплектации:

- сканер с одним подвижным пирометром
- одометр
- бортовой компьютер
- GPS антенна;
- ПО
- Накопительное устройство

Кронштейн с подвижным **сканером** устанавливается над плитой асфальтоукладчика на болтовом соединении. Подвижный инфракрасный датчик позволяют постоянно следить и фиксировать области укладки и температуру асфальтобетона по мере выполнения работ. Система фиксирует в файл протокол значения температур по показаниям **пирометра**, **одометра** и **GPS**.

Одометр (датчик измерения расстояния) устанавливается на колесо или моментную ступицу при помощи магнита.

Компьютер крепится в любом удобном месте, обычно на стойки крыши укладчика. Компьютер работает под управлением Windows CE и оснащен сенсорным цветным дисплеем. Компьютер обрабатывает и отображает данные, полученные от сканера. Оператор получает информацию о качестве покрытия и областях с температурной сегрегацией в режиме реального времени. Также записываются скорость, остановки укладчика и GPS – координаты, что позволяет подрядчикам оптимизировать укладочные работы. Настройка системы, а также отображение и анализ текущих данных осуществляется программой **PaveApp.**

Накопитель памяти емкостью 2 ГБ подсоединяется непосредственно к компьютеру. Данные сохраняются на флэш-накопителе для последующей компьютерной обработки и дополнительного анализа в условиях офиса. После сбора информации файл проекта переносится на компьютер посредством USB-кабеля.

Менеджер проектов укладки (PPM) — это программа для постобработки, при помощи которой можно просматривать и анализировать данные системы Pave IR после завершения укладки. Каждый файл протокола, созданный в системе Pave IR, можно открыть в PPM. Программа PPM позволяет получить результат полного анализа по всему проекту в формате PDF, а также генерирует автоматические отчеты по проектам.

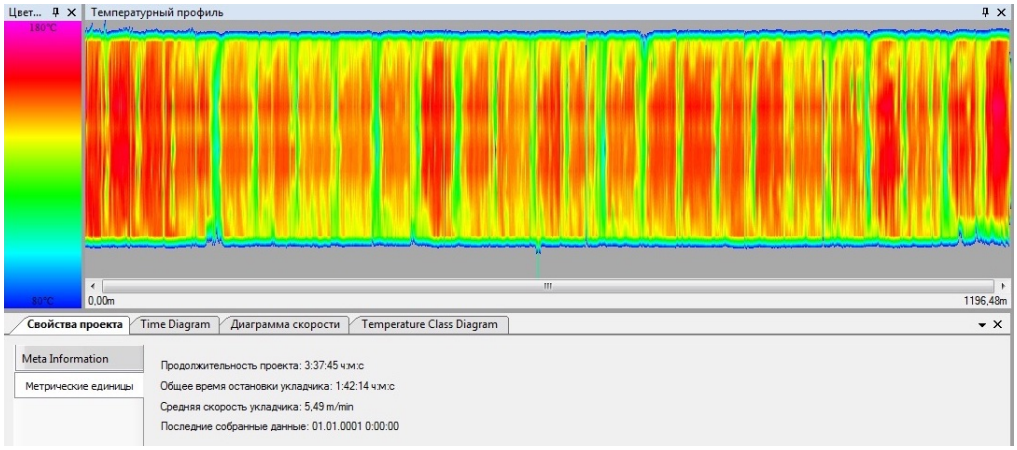
Применение системы Pave IR в США

В настоящее время в США использование Pave-IR носит рекомендательный характер согласно положениям 341-024 стандартных спецификаций Департамент Транспорта штата Техас. В некоторых штатах США, а также странах Европы (Испания, Швеция, Англия) ведутся работы по введению системы в регламент контроля качества. Подрядчики, которые не используют Pave- IR, должны снимать профили плотности при каждой остановке укладчика, а также на участках, где обнаружена температурная сегрегация, используя портативный инфракрасный термометр. Если на участке неудовлетворительная плотность, подрядчик автоматически лишается премии, покрытие на данном участке подлежит снятию и замене.

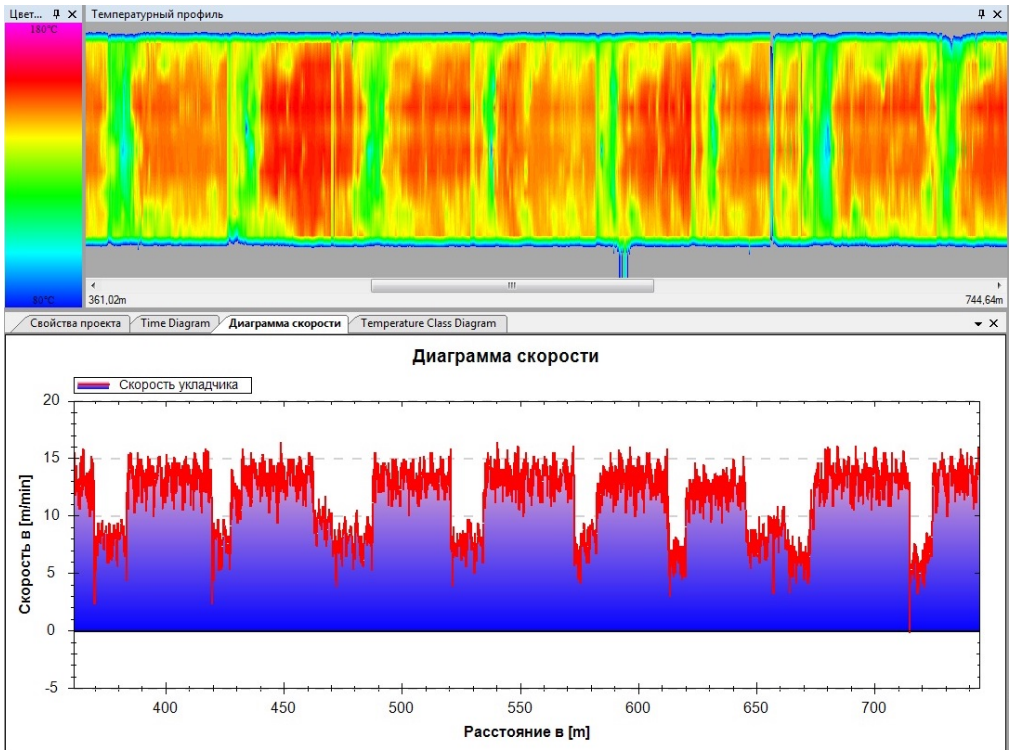
Предлагаю проанализировать 2 типичных примера укладки с использованием данных, снятых с помощью системы Pave IR.

Пример 1. Участок длиной 1200 м. Продолжительность работ – 3 часа 45 минут, общее время остановок укладчика - 1 час 42 минуты.

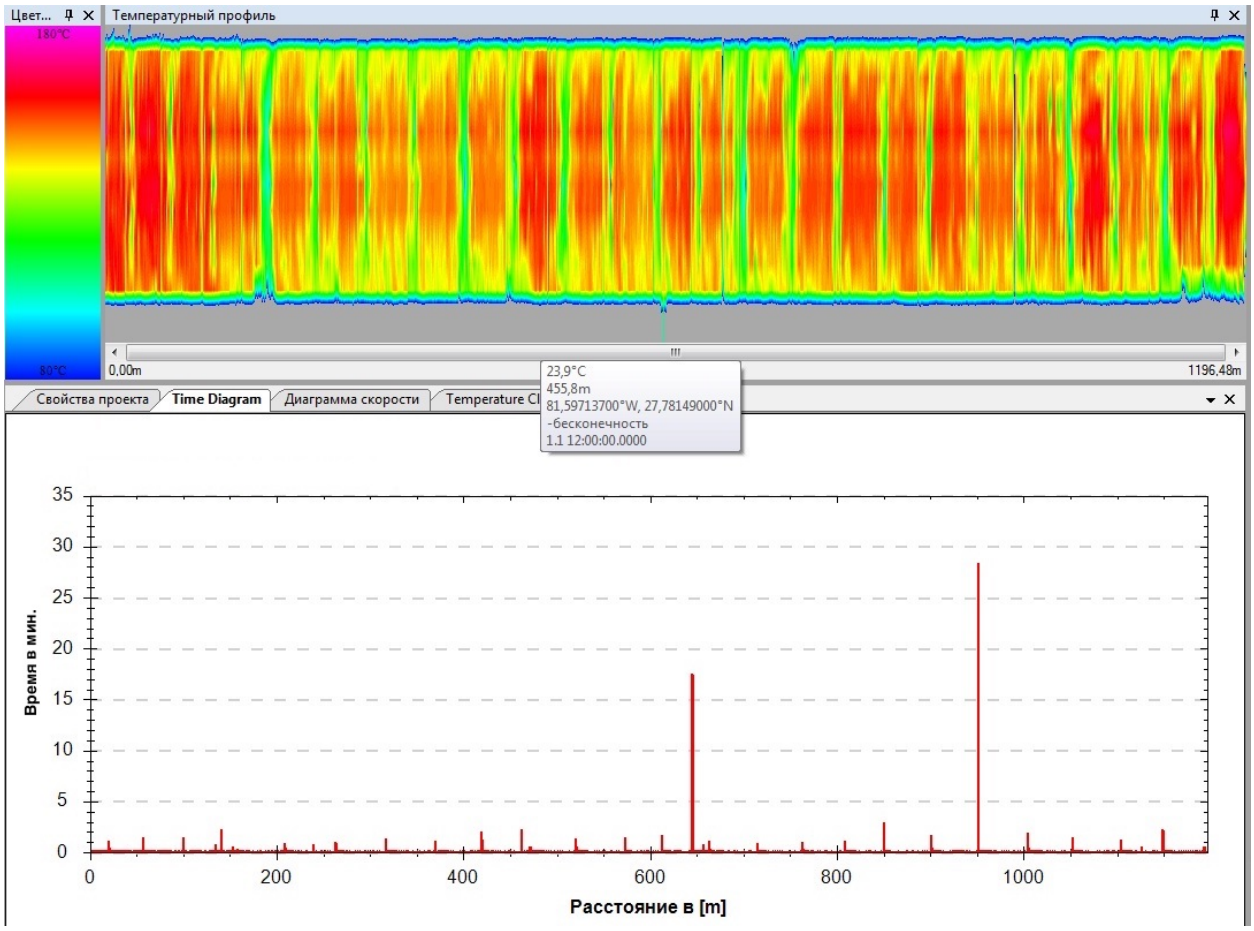
На рисунке 1 хорошо видны места остановок укладчика и характерные для них холодные пятна, отображаемые зеленым цветом.



На диаграмме скорости (рисунок 2) хорошо видно, как холодные пятна были связаны со значительным понижением скорости укладки.

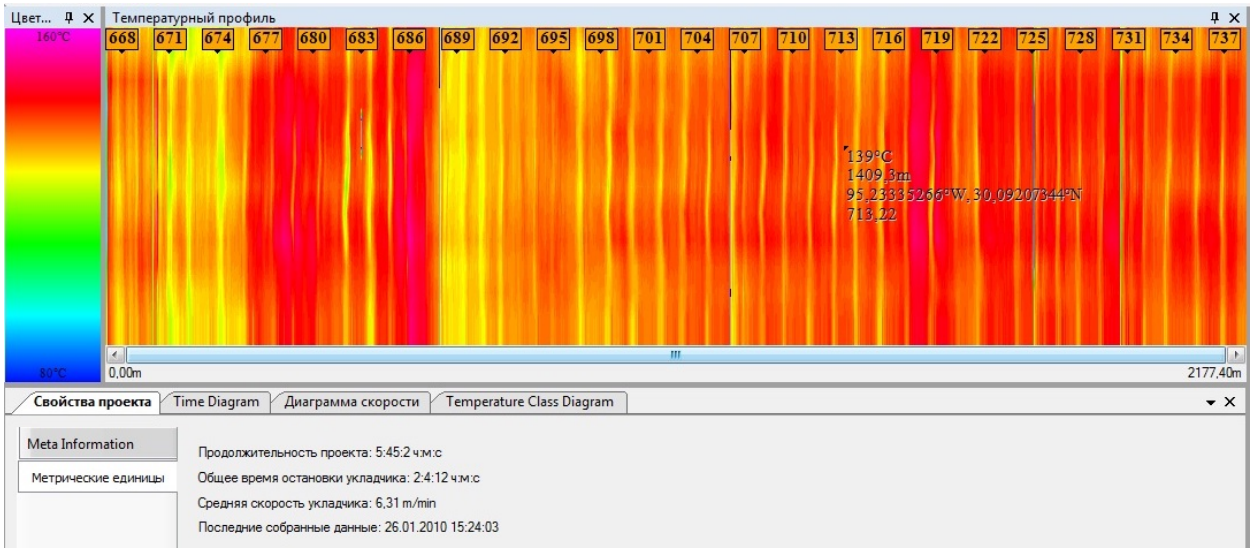


Аналогичную зависимость можно наблюдать на диаграмме времени простоев укладчика (рисунок 3).



Пример 2. Участок длинной 2177 м. Продолжительность работ – 5 часов 45 минут. Общее время остановок укладчика – 2 часа 4 минуты.

На рисунке 4 показан пример проекта, на котором разброс температур минимален.



На диаграмме скорости (рисунок 5) видно, что весь участок, протяженностью 2,2 км выполнен с минимальными понижениями скорости укладки и количеством остановок. Работы велись с использованием перегружателя Шатл Багги.

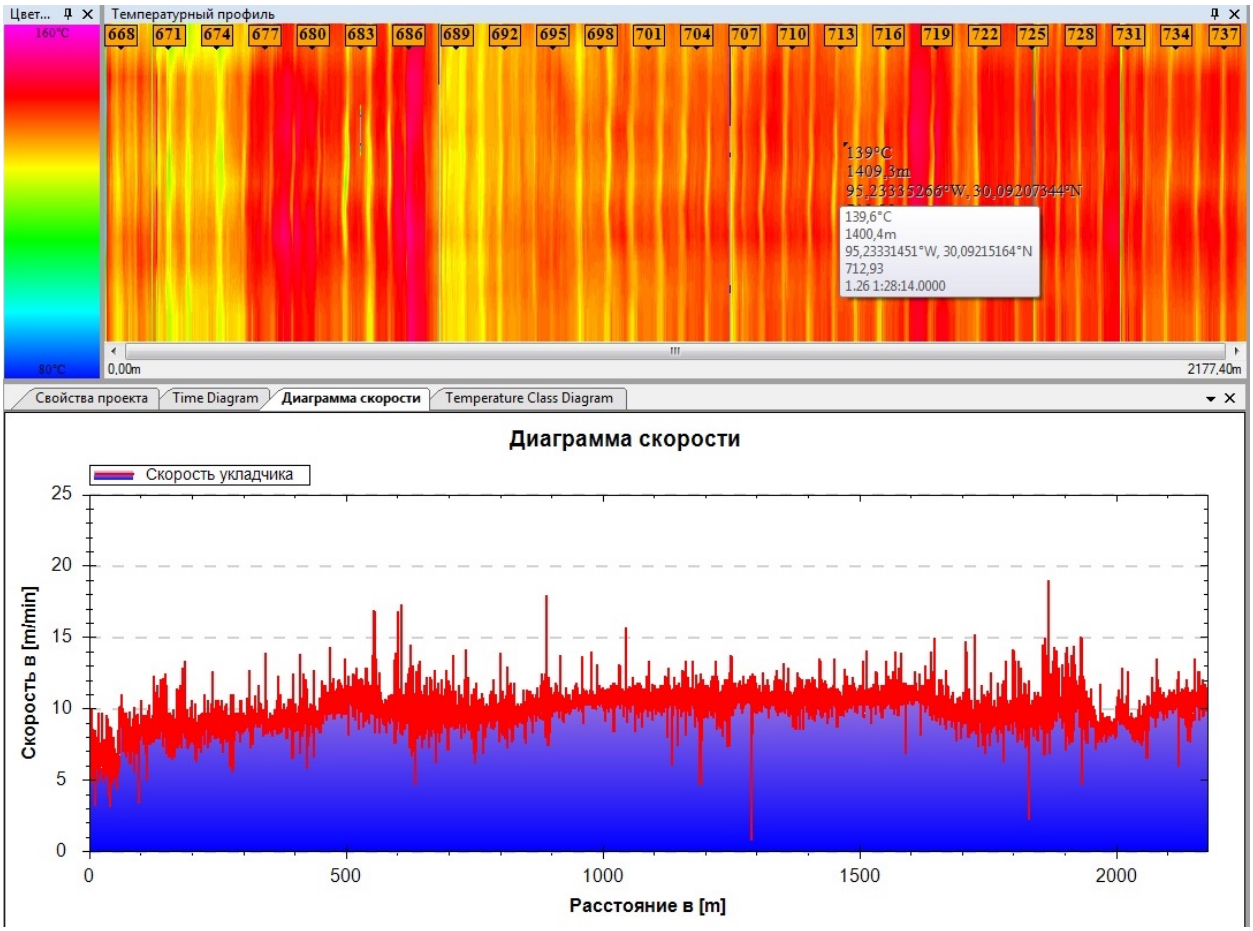
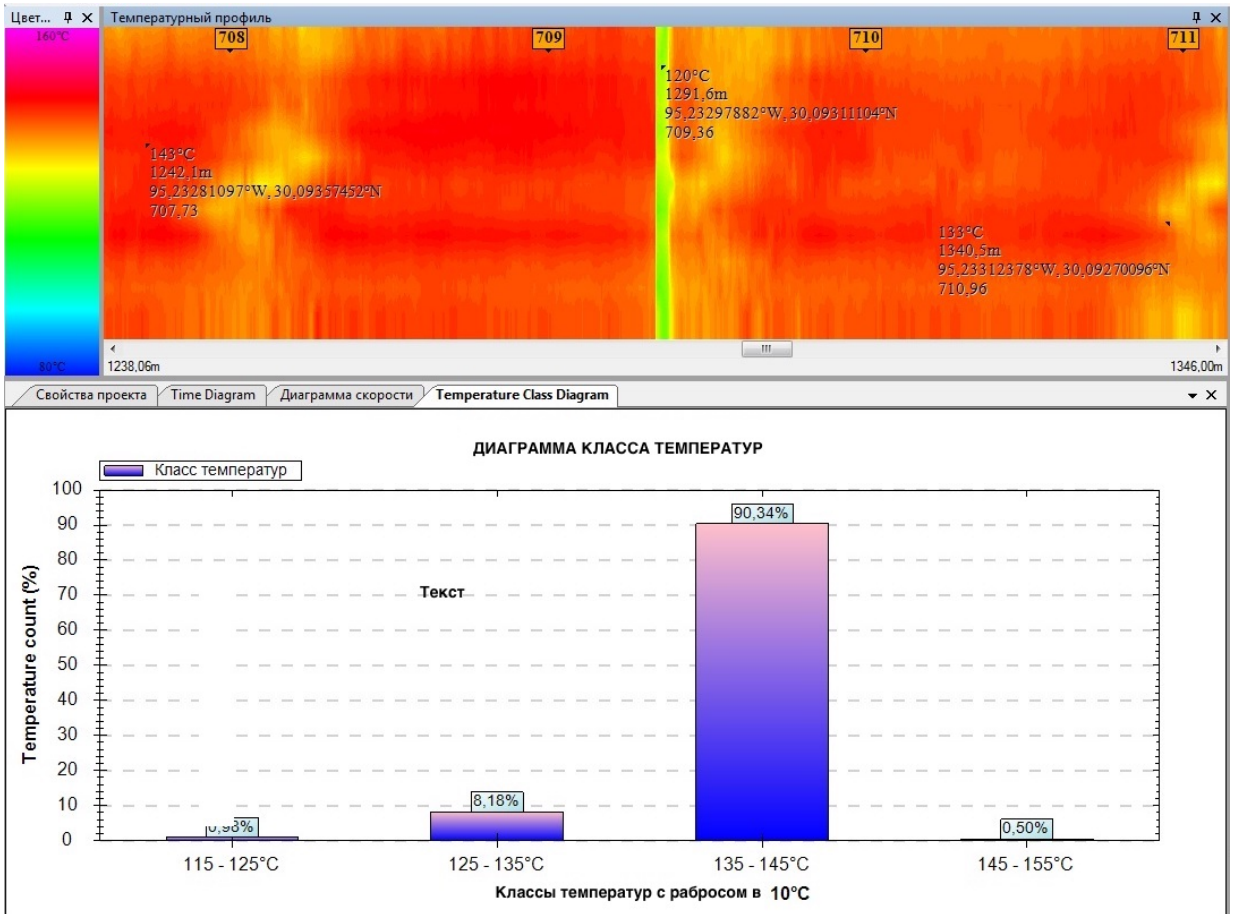


Диаграмма класса температур на рисунке 6 показывает, что более 90% значений температур в выделенном температурном поле не отличались более чем на 10 градусов, что подтверждает высокую однородность укладки.



Очевидно, что с точки зрения температурной однородности покрытия, участок, показанный на примере 2 значительно превосходит участок из примера 1.

Программное обеспечение Pave IR также предоставляет возможность получать данные в виде табличных отчетов. В США распространен так называемый Texas Report (Техасский отчет), который представляет из себя документ с исчерпывающими данными, касающимися температурного режима укладки. Пример табличного отчета с переводом на русский представлен ниже на рисунке 7.

Итоговые результаты по температурным профилям				
Кол-во профилей	Умеренная сегрегация 13.9°C < разность <= 27.8°C		Сильная сегрегация разность > 27.8°C	
47	Кол-во	Процент	Кол-во	Процент
	17	36	0	0

Места остановок укладчика более одной минуты	
Пикеты	Время
666.98	0:3:57
669.92	0:1:41
670.16	0:23:59
687.86	0:30:44
706.06	0:21:19
709.34	0:2:43
725.05	0:20:17
730.44	0:18:19

Координаты точек с температурной сегрегацией							
№ Профиля	Начальная точка		Конечная точка		Макс. температура	Мин. температура	Разность температур
	Пикет	GPS координата	Пикет	GPS координата			
1	666.98	95.22913361 W, 30.10427284 N	668.53	95.22926331 W, 30.10387802 N	143.2	128.0	15.2
3	670.09	95.22939301 W, 30.10347939 N	671.64	95.22962189 W, 30.10308456 N	137.6	122.3	15.3
6	674.74	95.22985077 W, 30.10226631 N	676.29	95.22996521 W, 30.10184288 N	144.7	129.1	15.6
8	677.85	95.23009491 W, 30.10140038 N	679.40	95.23020935 W, 30.10097694 N	151.0	136.5	14.5
10	680.96	95.23036957 W, 30.10056114 N	682.50	95.23051453 W, 30.10016632 N	143.7	123.3	20.4
11	682.51	95.23051453 W, 30.10016632 N	684.05	95.23072815 W, 30.09978867 N	144.9	125.9	19.0
12	684.06	95.23072815 W,	685.61	95.23084259 W,	149.5	127.9	21.6

ID: 494so Page: 3

Координаты точек без температурной сегрегации

№ Профиля	Начальная точка		Конечная точка		Макс. температура	Мин. температура	Разность температур
	Пикет	GPS координата	Пикет	GPS координата			
2	668.53	95.22926331 W, 30.10387421 N	670.08	95.22939301 W, 30.10348320 N	141.4	129.1	12.3
4	671.64	95.22962189 W, 30.10308456 N	673.19	95.22970581 W, 30.10264969 N	136.5	123.4	13.1
5	673.20	95.22970581 W, 30.10264397 N	674.74	95.22985077 W, 30.10226631 N	136.1	123.8	12.3
7	676.30	95.22994995 W, 30.10184288 N	677.85	95.23009491 W, 30.10140038 N	148.1	135.1	13.0
9	679.40	95.23020935 W, 30.10097313 N	680.95	95.23036957 W, 30.10056496 N	147.9	134.5	13.4
15	688.72	95.23108673 W, 30.09856415 N	690.26	95.23123169 W, 30.09818077 N	135.1	126.9	8.2
16	690.27	95.23123169 W, 30.09818077 N	691.82	95.23137665 W, 30.09778595 N	136.0	127.4	8.6
17	691.82	95.23137665 W, 30.09778595 N	693.37	95.23152924 W, 30.09732246 N	138.3	132.3	6.0
18	693.37	95.23152924 W, 30.09732246 N	694.92	95.23165894 W, 30.09692001 N	140.1	132.1	8.0
19	694.93	95.23165894 W, 30.09692001 N	696.48	95.23178864 W, 30.09648895 N	140.6	132.9	7.7
20	696.48	95.23178864 W, 30.09648514 N	698.02	95.23193359 W, 30.09610176 N	138.8	127.5	11.3
22	699.58	95.23206329 W, 30.09570313 N	701.13	95.2322464 W, 30.09525871 N	140.8	130.3	10.5
23	701.14	95.23226166 W, 30.09525871 N	702.68	95.23235321 W, 30.09485626 N	140.7	130.7	10.0
24	702.69	95.23235321 W, 30.09485626 N	704.24	95.23246765 W, 30.09446144 N	142.5	131.2	11.3
25	704.24	95.23246765 W, 30.09446144 N	705.78	95.23265076 W, 30.09404755 N	142.6	130.6	12.0
27	707.34	95.23278046 W, 30.09370613 N	708.89	95.23292542 W, 30.09317970 N	144.8	131.9	12.9
28	708.90	95.23294067 W, 30.09317970 N	710.44	95.23305511 W, 30.09283829 N	144.2	132.6	11.6
29	710.45	95.23305511 W, 30.09283447 N	712.00	95.23323822 W, 30.09239006 N	143.9	132.0	11.9
30	712.00	95.23323822 W, 30.09239006 N	713.54	95.23338318 W, 30.09198380 N	142.6	130.2	12.4
31	713.55	95.23338318 W,	715.10	95.2335434 W,	142.6	130.5	12.1

ID: 494so Page: 2

Характерной особенностью является привязка замеров температуры не только к пикетам, но и к спутниковым координатам, что открывает новые возможности для строительного контроля на стадии дальнейшей эксплуатации дороги.

Применение системы Pave IR в РФ

На сегодняшний день применение в РФ системы Pave IR и аналогов не носит обязательного характера, однако такие организации как ООО «Техностроий», ЗАО ПКФ РБДС и ГУП ДХ Южное ДРСУ с успехом применяют данное оборудование на участках федеральных трасс в республике Карелия, Мурманской, Московской, Тверской, Брянской, Смоленской, Псковской областях, а также в Алтайском крае.

Применение системы позволяет в режиме реального времени узнать об источнике проблемы и незамедлительно принять превентивные меры по их устранению. Инженеры по качеству и технологи корректируют цепочки логистики асфальтобетонных смесей от АБЗ до асфальтоукладчика и контролируют его скорость, что позволяет практически полностью исключить температурную

сегрегацию покрытия. В случае, если температурная сегрегация носит значительный характер, проблемный участок заменяется новым до уплотнения, что значительно экономит затраты на фрезерование. Также применение системы сделало возможным проводить мониторинг проблемных зон с течением времени на основе GPS- координат.

Заключение

Использование автоматизированной системы контроля температуры позволяет объективно оценить текущую ситуацию и разработать план по минимизации температурной сегрегации. Опытный технолог на основании полученных данных может быстро перестроить процесс логистики и отрегулировать скорость укладки и работу перегружателя таким образом, чтобы исключить простои и не допустить возникновение температурной сегрегации на объекте, причем эффект от своих действий он может видеть на экране компьютера в реальном времени прямо на укладчике.

С точки зрения строительного контроля на уровне заказчика, удобным инструментом является возможность собирать подробные отчеты по проектам подрядчиков, просматривать записанные данные на ПК и проводить анализ проектов на предмет наличия слабых мест. Точная привязка температурных значений к GPS/ ГЛОНАСС – координатам позволяет следить за слабыми местами по прошествии времени и проводить точный анализ выполненных работ.

Компания ООО «НПО МОСЛК» последние 2 года занимается разработкой отечественной автоматизированной системы контроля температуры, которая будет доступна для клиентов уже в этом строительном сезоне. Нами разработан программно-аппаратный комплекс, который будет представлен в ближайшее время в рамках специализированных мероприятий отрасли.

Также ООО «НПО МОСЛК» разработало стандарт организации, регламентирующий применение систем автоматизированного контроля температуры, который подробно описывает методики контроля температуры и работы с оборудованием. Мы надеемся, что данный стандарт и опыт применения системы подрядчиками станут новой отправной точкой на пути борьбы с температурной сегрегацией в нашей стране.

Соркин Михаил Львович

Генеральный директор

ООО «НПО МОСЛК»

Список источников:

1. Кудяков, А.И., Базилевич, А.Л. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий/А.И. Кудяков, А.Л. Базилевич//Вестник ТГАСУ.-№ 1.-2009.-С 117—122.

2. Радовский, Б. Сегрегация асфальтобетонных смесей и методы борьбы с ней в США/Б. Радовский//Дорожная техника. - 2007. - С.26—40.

3. Leading the way on Warm Mix Asphalt Texas Story: 37th Annual Rocky Mountain Asphalt Conference [Electronic resource] available at http://www.rmaces.org/presentations/2010_RMACES/Session_7/Leading%20the%20Way%20-%20Tom%20Scullion.pdf.- 2010.

4. MOBA Pave-IR PPM: Operators Manual for Pave Project Manager/MOBA Mobile Automation AG. - 2012. - 26 p.

5. PAVE-IR: New QC/QA Technology for Asphalt Contractors/MOBA CORPOPRATION. - 27 p.

6. PAVE-IR: Take the question out of the quality! /MOBA CORPOPRATION 47 p.

7. Stefan Muhle MOBA Operand: Operators Manual for PaveIR Software. - 2010. - 18 p.

8. Stephen Sebesta, Feihong Wang, Tom Scullion, Wenting Liu New Infrared and radar systems for detecting segregation in hot-mix asphalt construction: Report No. FHWA/TX-05/0-4577-2/ Texas Transportation Institute, 2006. - 68 p.

9. Steve Muench, Kim Willoughby Preventing Pavement Failure Caused by Hot-Mix Asphalt Temperature Differentials Washington State's Systematic Approach/ TR News 246. - 2006. - P. 26—28.

10. Thermal Segregation/SEAUPG 2010 ANNUAL CONFERENCE OKLAHOMA CITY, OK [Electronic resource]

11. Крупин Н.В. Система Moba Pave-IR. Укладка асфальтового покрытия высокого качества. //Технический Вестник №3, стр.59-63