

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №1, Том 12 / 2020, No 1, Vol 12 <https://esj.today/issue-1-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/62SAVN120.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Перебейнос Д.И., Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Ткаченко Н.А. Метод теплового контроля температурной сегрегации асфальтобетона // Вестник Евразийской науки, 2020 №1, <https://esj.today/PDF/62SAVN120.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Perebeynos D.I., Prokopyev A.P., Emelyanov R.T., Tkachenko N.A. (2020). Method of thermal control of temperature segregation of asphalt concrete. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 1(12). Available at: <https://esj.today/PDF/62SAVN120.pdf> (in Russian)

УДК 53.083.92:621.3.084

ГРНТИ 67.13.85

**Перебейнос Дмитрий Игоревич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Аспирант  
E-mail: [perebeynos.d@yandex.ru](mailto:perebeynos.d@yandex.ru)

**Прокопьев Андрей Петрович**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Доцент  
Кандидат технических наук, доцент  
E-mail: [prok1@yandex.ru](mailto:prok1@yandex.ru)

**Емельянов Рюрик Тимофеевич**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Профессор  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: [ert-44@yandex.ru](mailto:ert-44@yandex.ru)

**Ткаченко Никита Александрович**

ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск, Россия  
Аспирант  
E-mail: [bat3k1@mail.ru](mailto:bat3k1@mail.ru)

## Метод теплового контроля температурной сегрегации асфальтобетона

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы, возникающие при укладке асфальтобетонной смеси (АБС) на холодное полотно основания. В процессе асфальтирования дорожного полотна возникают островки недоуплотненного покрытия из-за возникающей температурной сегрегации смеси. Выявлено влияние температуры окружающей среды на возникновение сегрегации. Проанализированы методы контроля температурного состояния асфальтобетонной смеси. Тепловизионный метод, основанный на регистрации теплового поля поверхности асфальтобетонного покрытия с помощью тепловизора не обеспечивает непрерывности контроля температуры смеси. В результате исследований было доказано, что неравномерная температура укладываемого асфальта ведет к недостаточному уплотнению более холодных участков и сокращает срок службы дороги. Выявлено влияние температуры окружающей среды на возникновение сегрегации. Перепад температуры укладываемого асфальта более 14°C означает гарантированные локальные повреждения будущего дорожного

полотна. Полученные знания позволяют усовершенствовать методы контроля асфальтобетонной смеси. На основе выполненных исследований авторами предлагается использовать метод контроля температурного состояния асфальтобетонного покрытия как разность температур заданной уставкой контроллера и рабочей температурой смеси, снятой с датчиков температуры, что обеспечивает исключение возникновения температурной сегрегации.

**Ключевые слова:** асфальтобетонная смесь; контроль; температурное состояние; асфальтоукладчик; экспериментальные измерения; шнек; бункер; температурная сегрегация

## Введение

При благоустройстве территорий и строительстве автомобильных дорог выполняются твердые покрытия, выполняемые из асфальтобетона. Производство асфальтовых покрытий территории (полотно автомобильной дороги) в сложных климатических условиях Сибири выполняется при невысокой температуре окружающего воздуха. Низкая температура вызывает быстрое остывание укладываемой смеси, поэтому в смеси образуется температурная сегрегация. Для устранения температурной сегрегации, возникающей при транспортировании самосвалами от асфальтобетонного завода до асфальтоукладчика, применяются специальные машины перегружатели. Этот процесс затратный, требует применения дополнительных машин, что ведет к удорожанию строительства твердого покрытия дороги. Сегрегация приводит к неравномерной структуре уложенной смеси, что ведет к возникновению дефектов в асфальтобетоне при эксплуатации. Для исключения температурной сегрегации необходимо обеспечивать контроль температурного состояния смеси. Одним из методов контроля температуры асфальтобетонной смеси при ее укладке служит телевизионный метод, основанный на регистрации теплового поля поверхности асфальтобетонного покрытия с помощью тепловизора. Этот метод имеет преимущество перед визуально-оптическим при выявлении таких дефектов как сегрегация смеси. Однако использование метода тепловизионного контроля асфальтобетонных покрытий при диагностике не обеспечивает проведения контроля в процессе работы. Современные асфальтоукладчики оснащаются автоматизированными системами управления (АСУ), обеспечивающими необходимый профиль и ровность покрытия. Однако они не имеют подсистемы автоматического контроля температуры асфальтобетонной смеси при ее укладке.

Идея работы заключается в разработке непрерывного метода контроля температуры асфальтобетонного покрытия, с целью исключения образования температурной сегрегации.

## Обзор литературы

Долговечность асфальтобетонного покрытия территории в значительной степени обеспечивается однородностью структуры АБС и плотностью асфальтобетона. Необходимо, чтобы температура АБС в укладываемом объеме была одинаковой. При пониженных температурах возникает температурная сегрегация и при уплотнении такой смеси образуются дефекты покрытия. Температурная сегрегация АБС происходит особенно в климатических условиях Севера и Сибири из-за неравномерного распределения температуры по объему материала в процессе ее транспортировки, хранения в бункере асфальтоукладчика и укладке на основание дороги. Это приводит к образованию корки материала. В 1990-х годах зарубежные организации стали уделять особое внимание влиянию температурной сегрегации на длительность службы дорожного полотна. Было доказано, что уплотнение более холодных участков ведет к сокращению срока службы дороги. При перепаде температуры укладываемого асфальта более 14°C возникают локальные повреждения будущего дорожного полотна. Для

снижения температурной сегрегации АБС создано устройство, обеспечивающее дополнительное перемешивание смеси в бункере асфальтоукладчика посредством шнекового смесителя и одновременным вибрированием подающего лотка цепного питателя. Однако при укладке на холодное полотно поверхности асфальтобетонная смесь интенсивно остывает, особенно по внешним краям распределительного шнека асфальтоукладчика [1–2]. Вопросам исследования свойств АБС при их уплотнении посвящены работы [3–8]. По современной технологии строительства асфальтобетонных покрытий качество этих покрытий определяется статическими методами испытаний. Производится вырубка проб из покрытий и испытания прочность в лабораторных условиях. Такая технология не способствует обеспечению заданной долговечности покрытия. Поэтому выполняются внеплановые ремонты. Требуемые значительных затрат. В этих работах отсутствуют сведения по применению автоматизированного непрерывного контроля состояния АБС. Автоматизированный непрерывный контроль находит применения в разных отраслях (электроснабжение, машиностроение, транспорт). В работах [9–11] приводятся результаты исследований зарубежных ученых. Само явление температурной сегрегации АБС в них приведено в достаточной степени. Однако и в этих работах недостаточно сведений по неразрушающему контролю асфальтобетона. Для реализации методов непрерывного неразрушающего метода контроля требуется проведение экспериментальных исследований и математического моделирования протекающих процессов. Результаты компьютерного моделирования процесса укладки асфальтобетонной смеси приведены в публикации. В ранее разработанных математических моделях не исследованы вопросы теплового контроля АБС для исключения температурной сегрегации.

Поэтому для непрерывного контроля температурного состояния асфальтобетонного покрытия, исключая температурную сегрегацию, разработана автоматизированная система измерения температуры АБС, новизна которой защищена патентом №.116507.

### Материалы и методы

Целью работы является автоматизация теплового контроля асфальтобетонного покрытия, исключая образование температурной сегрегации.

Объектом исследований выбран процесс теплового контроля асфальтобетонного покрытия дороги.

В настоящее время для контроля температуры уложенной асфальтобетонной смеси в полотно дороги применяется тепловизор Testo 865. Однако в связи с наличием поверхностной и структурной влаги, геометрии и однородности поверхности полотна дороги в процессе измерений возникает погрешность, которая ухудшает качество полученной термограммы асфальтобетонной смеси и не обеспечивается требуемая визуализация тепловых полей [1].

Требуемая визуализация тепловых полей обеспечивается в пределах до +280 °С. В центральной точке экрана, отмеченной перекрестьем, выполняется измерение температуры, с отображением ее цифрового показателя. Функции горячей и холодной точек помечает соответствующим цветом на термограмме место с самой высокой/низкой степенью нагрева. Для достижения требуемой точности тепловизор выполняет регулярную автоматическую калибровку – обнуление с интервалом в 60 секунд.

На рис. 1 приведена функциональная схема теплового контроля температурной сегрегации асфальтобетонного покрытия дороги. Контроль температурной сегрегации асфальтобетонного покрытия дороги осуществляется бесконтактными датчиками температуры (пирометрами), установленными в бункере и вдоль выглаживающей плиты асфальтоукладчика. Информация с датчиков поступает на информационное табло машиниста.



1 – контроллер; 2 – цифровая панель; 3 – температурный датчик в бункере асфальтоукладчика; 4 – бункер асфальтоукладчика; 5 – выглаживающая плита; 6 – температурный датчик дорожного полотна

**Рисунок 1.** Функциональная схема асфальтоукладчика с системой контроля температурной сегрегации (разработана Перебейнос Д.И. и Емельяновым Р.Т.)

### Результаты исследования

Условием выполнения непрерывного контроля температурного состоянию АБС принята функция цели

$$T_y - /T1; T2; T3; T4; T5; T6; T7/ = 0$$

где  $T_y$  – температура, заданная уставкой регулятора;  $T1; T2; T3$  – рабочая температура АБС, поступающая с датчиков, установленных в бункере асфальтоукладчика,  $T4; T5; T6; T7$  – рабочая температура АБС, поступающая с датчиков, установленных вдоль выглаживающей плиты асфальтоукладчика.

Тепловое состояние АБС в любой момент времени определяется по уравнению теплового баланса [4; 5]:

$$(Q_{abc}) d\tau = (Q_n) d\tau + c_k m_k dT + k_p F_p (T - T_0) d\tau,$$

где  $(Q_{abc}) d\tau$  – количество теплоты, выделяемое асфальтобетонной смесью за время  $d\tau$ ; количество теплоты, затрачиваемое на полезную работу;  $c_k m_k dT$  – количество теплоты, затрачиваемое на нагрев элементов конструкции на температуру  $dT$ ; количество теплоты, рассеиваемое в окружающую среду за время  $d\tau$ .

Для оценки теплового состояния АБС выполнено математическое моделирование температурного состояния АБС исходя из неоднородности температурного поля в объеме асфальтобетонной смеси и температуры окружающего воздуха. Корректность используемой математической модели определяется полнотой и обоснованностью принятых допущений: динамические процессы рассматриваются при малых отклонениях параметров от их установившихся значений [6].

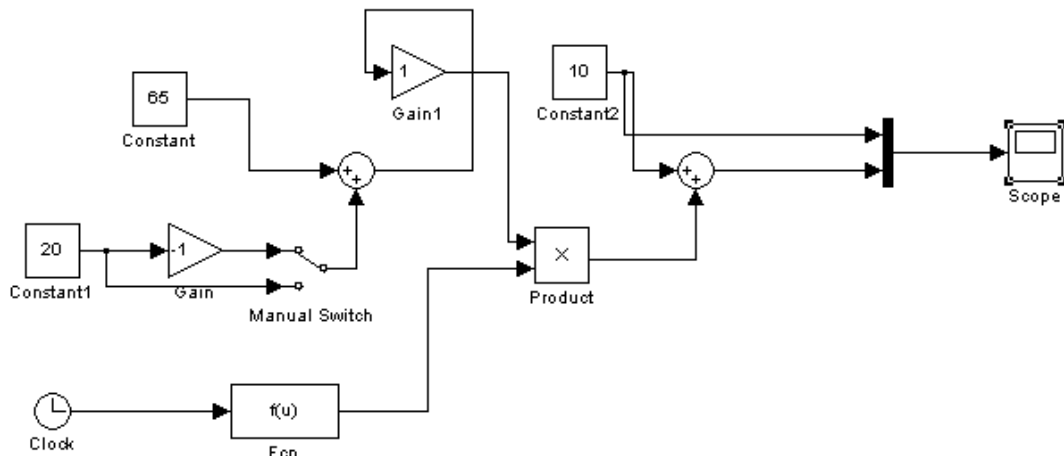
Температура асфальтобетонной смеси в бункере асфальтоукладчика определится уравнением [6].

$$\tau_{abc} = \frac{Q_{abc}}{k_p \cdot F_p} \left[ 1 - \exp \frac{-t \cdot k_p \cdot F_p}{m_k \cdot c_k} \right] + \tau_0$$

Где  $Q_{abc}$  – количество теплоты, выделяемое асфальтобетонной смесью за время  $dt$ ;  $c_k$  – средняя удельная теплоемкость бункера;  $K_p$  – коэффициент теплопередачи;  $F_p$  – площадь внешней поверхности элементов бункера;  $m_k$  – масса элементов бункера;  $\tau_0$  – текущая температура асфальтобетонной смеси.

Корректность используемой математической модели температурного состояния асфальтобетонной смеси определяется полнотой и обоснованностью принятых допущений: динамические процессы рассматриваются при малых отклонениях параметров от их установившихся значений.

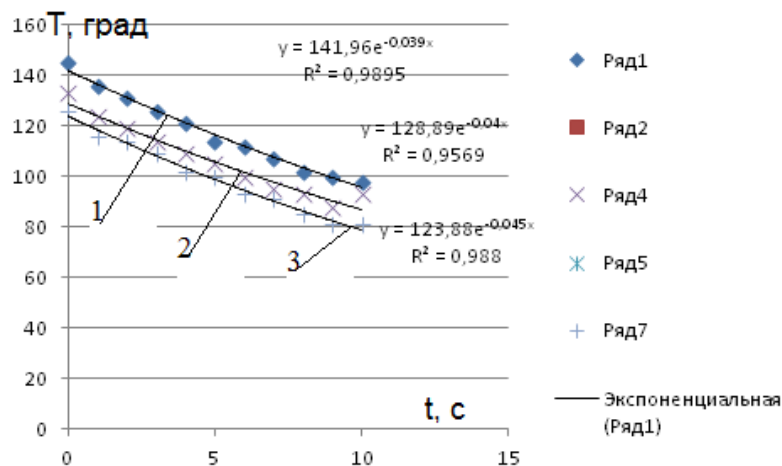
Для реализации уравнения выполнено моделирование в компьютерной среде MatlabSimulink, блок схема которого приведена на рис. 2.



**Рисунок 2.** Блок схема температурного состояния асфальтобетонной смеси (разработана Перебейнос Д.И. и Прокопьевым А.П.)

Начальные условия:  $c_k$  – средняя удельная теплоемкость бункера, 0,453;  $K_p$  – коэффициент теплопередачи 20;  $F_p$  – площадь внешней поверхности элементов бункера 1,5 м;  $m_k$  – масса элементов бункера 240 кг;  $\tau_0$  – текущая температура асфальтобетонной смеси 140 °С.

Результаты моделирования температурного состояния асфальтобетонной смеси приведены на рис. 3.



1 – 30 °С; 2 – 25 °С; 3 – 20 °С



**Рисунок 3. Результаты моделирования температурного состояния асфальтобетонной смеси при температуре окружающего воздуха (разработана Перебейнос Д.И. и Емельяновым Р.Т.)**

Результаты моделирования температурного состояния асфальтобетонной смеси показали, что процесс охлаждения укладываемой смеси в зависимости от температуры окружающего воздуха и дорожного основания, а также начальной температуры смеси описывается экспоненциальными зависимостями с точностью от 0,95 до 0,99.

Экспериментальные исследования, выполненные с применением разработанной автоматизированной системы контроля термодинамического состояния АБС показали, что температура в центральной области бункера составляет 142,2 °С. Борты бункера нагреваются до 86,9 °С. Температура смеси в вертикальной плоскости снижается более усиленно в сторону открытой поверхности. Температура в горизонтальной плоскости уменьшается от середины бункера к краям равномерно. В процессе укладки АБС на полотно дороги температура понижается. При распределении АБС по ширине укладываемой полосы покрытия 4–4,5 м, максимальная температура составила 124,4 °С. По краям полосы температура составила 94,6 °С, что близко к критическому значению смеси. При увеличении ширины укладываемой полосы до 7,5 м перепад температур достигает до 25 °С. Понижение температуры до 82,2 °С вызывает появление температурной сегрегации асфальтобетонной смеси.

### Выводы и заключение

Таким образом разработан метод автоматизированного теплового контроля температурной сегрегации асфальтобетонного покрытия дорожного полотна. Выполнено математическое моделирование температурного состояния АБС при устройстве асфальтобетонных покрытий. Результат согласуется с результатами ранее выполненных исследований [2]. Разработанная система непрерывного контроля температурной сегрегации позволяет повысить качество и долговечность асфальтовых покрытий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев К.В. Перспективная конструкция оборудования для устранения сегрегации асфальтобетонных смесей. В сборнике: *Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых*. 2019. с. 4–9.
2. Базилевич, А.Л. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий [Электронный ресурс] / А.Л. Базилевич. – Режим доступа: <http://lib.8level.ru/lib/open/book/234>.
3. Долгунин, В.Н. Сегрегация в сернистых средах: явление и его технологическое применение / В.Н. Долгунин. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. 2005. – 180 с.
4. Емельянов, Р.Т., Турышева Е.С., Шилкин С.В., Климов А.С. Моделирование процесса управления распределением асфальтобетонной смеси по ширине дороги / Сборник научных трудов SWorld. Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании. Том 5. 2013. с. 29–34.
5. Leonovich, I., Melnikova I. Estimation of the cracking probability in road structures by modeling of external influences / *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. – 2013. – Vol. 8. – P. 240–249.

6. Jian Sun and Guiyun Xu: Dynamics Modeling and Analysis of Paver Screed Based on Computer Simulation. *Journal of Applied Sciences*. 13, 1059–1065. (2013). <https://doi.org/10.3923/jas.2013.1059.1065>.
7. Wang, K. Automated survey and visual database development for airport and local highway pavement / Final Report of Mack-Blackwell Transportation Center. – USA: University of Arkansas, 2007.
8. Laser Scanning on Road Pavements. A New Approach for Characterizing Surface Texture / G. Bitelli, A. Simone, F. Girardi, G. Lantieri // *Sensors (Basel)* [Electronic resource]. – 2012. – № 12. – Mode of access: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3444093>. – Date of access.
9. Barman M., Nazari M., Imran S.A., Commuri S., Zaman M., Beainy F. and Singh D. / Quality Control of Subgrade Soil Using Intelligent Compaction Innovative Infrastructure Solutions 2016. 1(1) 23. DOI: 10.1007/s41062-016-0020-0.
10. Chang, G.K., Mohanraj, K., Stone, W.A., Oesch, D.J., Gallivan, V. (Lee): Leveraging Intelligent Compaction and Thermal Profiling Technologies to Improve Asphalt Pavement Construction Quality: A Case Study. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*. 2672(26), pp. 48–56. (December 2018). <https://doi.org/10.1177/0361198118758285>.
11. Hu, W., Shu, X., Huang, B., Woods M.: Field investigation of intelligent compaction for hot mix asphalt resurfacing. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*. 11(1), pp. 47–55. (2017). <https://doi.org/10.1007/s11709-016-0362-x>.
12. Prokopev, A., Nabizhanov, Z., Ivanchura, V., Emelyanov, R. Modeling Cyber-Physical System Object in State Space (on the Example of Paver) / Prokopev, A. / *Studies in Systems, Decision and Control* 259, 2020. с. 313–323.

**Perebeynos Dmitriy Igorevich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: perebeynos.d@yandex.ru

**Prokopyev Andrey Petrovich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: prok1@yandex.ru

**Emelyanov Rurik Timofeevich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: ert-44@yandex.ru

**Tkachenko Nikita Alexandrovich**

Siberian federal university, Krasnoyarsk, Russia  
E-mail: bat3k1@mail.ru

## **Method of thermal control of temperature segregation of asphalt concrete**

**Abstract.** The article deals with the problems that arise when laying asphalt concrete mix (ABS) on a cold surface of the base. In the process of asphaltting the roadway, there are Islands of under-compacted coating due to the resulting temperature segregation of the mixture. The influence of ambient temperature on the occurrence of segregation was revealed. Methods for monitoring the temperature state of the asphalt concrete mix are analyzed. The thermal imaging method based on recording the thermal field of the asphalt concrete surface using a thermal imager does not provide continuous monitoring of the mixture temperature. As a result of research, it was proved that the uneven temperature of the laid asphalt leads to insufficient compaction of colder sections and reduces the service life of the road. The influence of ambient temperature on the occurrence of segregation was revealed. A temperature drop of more than 14°C in the asphalt being laid means that local damage to the future roadbed is guaranteed. This knowledge allows us to improve the methods of control of asphalt concrete mix. Based on the studies performed, the authors propose to use a method for monitoring the temperature state of the asphalt concrete coating as the temperature difference between the setpoint of the controller and the operating temperature of the mixture removed from the temperature sensors, which ensures that temperature segregation does not occur.

**Keywords:** asphalt concrete mix; control; temperature condition; paver; experimental measurements; auger; hopper; temperature segregation