

## ИНЖЕНЕРНОЕ РЕШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ И ФРАКЦИОННОЙ СЕГРЕГАЦИИ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ЗАВОДА ДО УЧАСТКА СТРОИТЕЛЬСТВА

*Дубков В.В., Потеряев И.К., Сачук Ю.С.*

*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), Омск*

**Ключевые слова:** автобетоносмеситель, перегружатели, смесительный барабан, транспортирование асфальтобетонной смеси, температура асфальтобетонной смеси, сегрегация.

**Аннотация.** Процесс доставки асфальтобетонной смеси от асфальтобетонного завода на строительный объект имеет очень важное значение в технологическом процессе строительства асфальтобетонного покрытия. При транспортировании асфальтобетонной смеси, преодолевая значительные расстояния, дорожные и погодные условия, необходимо исключить появление температурной и фракционной сегрегации смеси. Для транспортирования смеси применяют автосамосвалы с различными способами разгрузки и перегружатели для загрузки бункера асфальтоукладчика. Предлагается применение модернизированного автобетоносмесителя на базе полуприцепа СБ-211 для транспортирования асфальтобетонной смеси, исключив из комплекта машин перегружатель. Рассчитана толщина стенки смесительного барабана. Произведен сравнительный анализ изменения температуры асфальтобетонной смеси в процессе транспортирования различными автотранспортными средствами. Применение предложенной установки позволит увеличить дальность транспортирования смеси и сохранение ее свойств.

## ENGINEERING SOLUTION FOR TEMPERATURE AND FRACTIONAL SEGREGATION OF THE ASPHALT MIXTURE DURING ITS TRANSPORT BY THE ASPHALT PLANT TO THE CONSTRUCTION SITE

*Dubkov V.V., Poteryaev I.K., Sachuk Yu.S.*

*Siberian State Automobile and Highway University (SibADI), Omsk*

**Keywords:** truck mixer, transfer trucks, mixing drum, asphalt mixture transport, asphalt mixture temperature, segregation.

**Abstract.** The process of asphalt-concrete mixture delivery from the asphalt concrete plant to the construction site is very important in the technological process of asphalt-concrete pavement construction. When transporting asphalt-concrete mixture, overcoming considerable distances, road and weather conditions, it is necessary to exclude the appearance of temperature and fractional segregation of the mixture. For mixture transportation dump trucks with different ways of unloading and reloaders for asphalt paver's hopper loading are used. It is proposed to use a modernized concrete mixer on the basis of SB-211 semi-trailer to transport asphalt-concrete mixture by excluding a loader from the set of machines. The wall thickness of the mixing drum is calculated. Comparative analysis of asphalt-concrete mixture temperature change while transporting by different vehicles was made. The use of the proposed unit will increase the transportation range of the mixture and preserve its properties.

**Введение.** Транспортирование асфальтобетонных смесей в практике зачастую осуществляется на недопустимо большие расстояния в непригодных для этого автосамосвалах, что ухудшает свойства смеси.

Также на свойства смеси при транспортировании влияют следующие факторы: температура смеси при ее загрузке; массы смеси в кузове самосвала; температуры воздуха; атмосферные осадки; скорости ветрового потока; теплофизические свойства смеси; эффективности теплоизоляции смеси; времени выполнения транспортных операций [1-5].

Температурное состояние смеси должно обеспечивать при укладке нормальное функционирование рабочих органов асфальтоукладчика и возможность последующего уплотнения слоя до требуемой плотности.

Максимально допустимое время и расстояние перевозки асфальтобетонных смесей определяется теплофизическим расчетом, выполненным при составлении технической карты. Ориентировочно максимально допустимое время перевозки смеси в теплое время составляет 1,5 часа.

Термомеханический процесс перемещения асфальтобетонной смеси из кузова автомобиля самосвала и укладки в слой покрытия протекают следующим образом: когда порция смеси выгружается в бункер асфальтоукладчика из кузова самосвала, наиболее охлажденная смесь вытесняется горячей, более подвижной, вдоль краев кузова и перемещается к краям бункера укладчика. Когда кузов опорожняется, и масса смеси в бункере движется на конвейерную ленту, охлажденная смесь перемещается вниз и оказывается поверх смеси на конвейере. Выглаживающая плита укладчика оказывается не в состоянии уплотнить более холодную смесь, и на поверхности слоя появляются участки, похожие по текстуре на области с сегрегированными компонентами.

При выгрузке укладчик перемещает самосвал при помощи упорного ролика и в момент их касания происходит замедление движения укладчика в последствие чего, трамбуемый брус и виброплита совершают больше воздействий на определенный участок покрытия, что приводит к изменению коэффициента уплотнения.

При интенсивной выгрузке смеси в бункер укладчика происходит его наклон в сторону бункера, из-за чего увеличивается толщина укладываемого слоя. Описанные процессы циклически повторяются для каждой порции смеси. Данные зоны будут являться местами первоочередного разрушения покрытия.

Для сохранения качества смеси при ее транспортировке проводят ряд мероприятий.

Перед загрузкой смеси в кузове самосвала не должно быть никаких материалов; мусора и остатки смеси необходимо удалить. После очистки кузова его необходимо обработать специальным раствором, предотвращающим прилипание смеси к его внутренней поверхности.

При загрузке необходимо заполнить кузов самосвала смесью с минимальной сегрегацией, временем и теплопотерей. Сегрегация смеси может иметь место при загрузке самосвала за один прием из накопительного бункера. В этом случае смесь принимает форму конуса, и более крупные зерна смеси будут скатываться вниз. Сегрегация может быть сведена к минимуму посредством загрузки самосвала несколькими порциями. Первая порция загружается в переднюю часть кузова, затем в заднюю третью порцию загружают в середину кузова. Порциональная загрузка сокращает расстояние, на которое могут скатываться крупные зерна смеси, и таким образом сохраняется однородность смеси по зерновому составу.

Для защиты смеси от погодных воздействий (осадки, ветровой поток, температура воздуха) самосвалы, предназначенные для транспортирования смеси, должны быть укомплектованы непромокаемым пологом.

При транспортировании смеси в неблагоприятных условиях производства работ (холодное время, значительное расстояние перевозки) она должна быть теплоизолирована: укрыта утеплителем, а кузов самосвала оборудован обогревом выхлопными газами [1].

Для исключения последствий контакта самосвала и асфальтоукладчика и придания асфальтобетонной смеси однородности, как по температуре, так и зерновому составу, зарубежными фирмами выпускаются машины – перегружатели [6, 7]. Например, компанией Roadtec (США) выпускаются машины Шаттл-Багги MTV1000D, SB1500D и SB2500D.

Автосамосвал выгружает смесь в приемный ковш, в котором установлены два шнека для ее повторного перемешивания. Из накопительного бункера смесь без контакта с асфальтоукладчиком равномерно перегружается в его бункер.

Бесконтактная и равномерная загрузка асфальтоукладчика позволяет ему двигаться без остановок и с большой скоростью, так как у него отпадает необходимость останавливаться или толкать груженный самосвал.

Также существуют методики применения автосамосвалов с донной разгрузкой и перегружателя [8, 9].

Применение перегружателя в составе комплекта машин по строительству асфальтобетонных покрытий позволяет:

– укладывать однородную по температуре и зерновому составу смесь, что способствует обеспечению высокой ровности и долговечности покрытия с сокращением эксплуатационных расходов не него;

– увеличить производительность укладки смеси и сократить количество самосвалов для ее доставки.

**Материалы и методы исследований.** В качестве объекта исследования выбран автобетоносмеситель на базе полуприцепа СБ-211 [10].

Этот выбор обоснован теми соображениями, что в процессе проектирования данная установка потребовала наименьшее изменение в ее конструкции: доработка смесительного барабана; доработка задней опорной рамы в опорно-поворотную; доработка системы выгрузки; доработка передней опорной рамы; разработка системы подъема смесительного барабана и системы выгрузки.

Как показывает анализ существующих конструкций асфальтоукладчиков, объем бункера составляет 5-15 т. Эту транспортную работу целесообразно выполнять среднетоннажным транспортом, обеспечивающим сохранение качества асфальтобетонной смеси.

Данная установка (рис. 1) позволяет сократить к минимуму влияние погодных факторов, исключить последствия сегрегации и решить проблему выгрузки асфальтобетонной смеси в бункер асфальтоукладчика без использования машин – перегружателей.

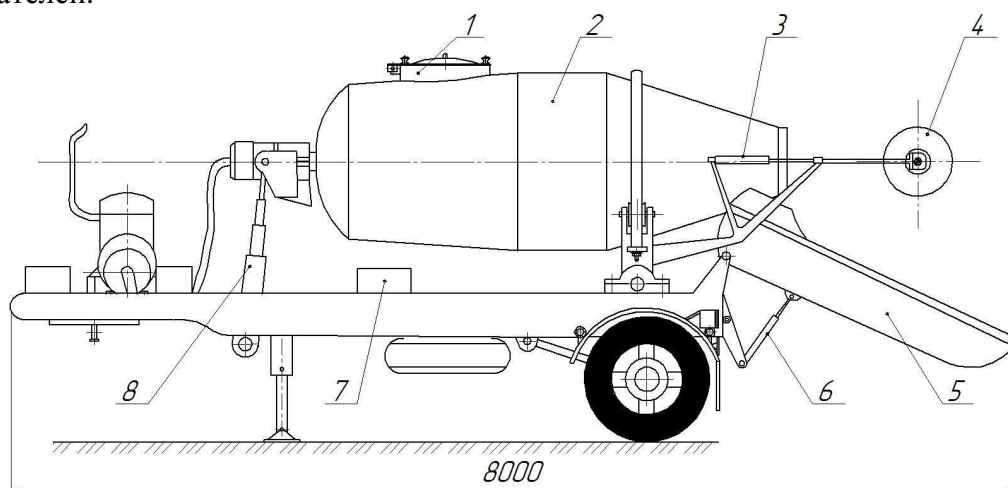


Рис. 1. Схема полезной модели

Принцип работы полезной модели (рис. 1): смесительный барабан 2, наполняют асфальтобетонной смесью через приемный люк 1. При использовании пульта управления 7 и гидроцилиндра подъема смесительного барабана 8 установка принимает транспортное положение. При транспортировании асфальтобетонной смеси, при помощи смесительных лопастей барабана и вращения самого барабана (рис. 2) происходит перемешивание смеси. Что в свою очередь значительно снижает фракционную сегрегацию асфальтобетонной смеси. Используя пульт управления и гидроцилиндр подъема выгрузного желоба 6, опускаем выгрузной желоб 5, открываем крышку 4, при помощи гидроцилиндра 3, и выгружаем асфальтобетонную смесь при включении шнека в приемный бункер асфальтоукладчика.

В качестве транспортной базы принимаем одноосный полуприцеп автобетоносмесителя без изменения основных элементов последнего.

Выбор обусловлен тем, что в качестве тягача может применяться любой седельный тягач и после выполнения полного объема работ данный тягач может использоваться на других фронтах работ, а полуприцеп с установкой будет находиться на обслуживании или хранении.

Смесительная емкость бетоносмесителя претерпевает незначительные изменения: изменение шага внутреннего винта; теплоизоляция внешней части смесительного барабана.

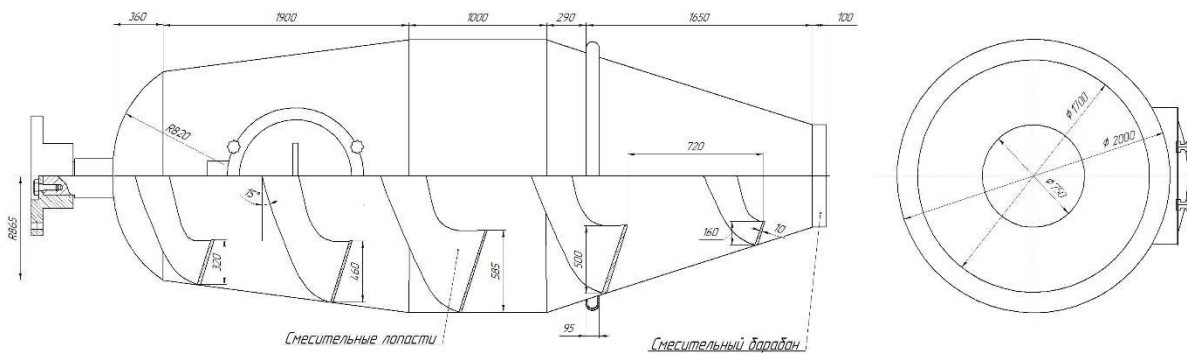


Рис. 2. Смесительный барабан

При расчете теплоизоляции смесительного барабана определяют количество тепла, теряемое асфальтобетонной смесью при её остывании за час не более чем на  $5...10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; количество тепла, которое может пройти от асфальтобетонной смеси через наружную поверхность смесительного барабана при заданных условиях. Затем, приравняв количество тепла, теряемое асфальтобетонной смесью и проходящее через стенку смесительного барабана, определяют неизвестную величину – толщину слоя изоляции.

Количество тепла, выделяемое при остывании асфальтобетонной смеси за час [1]:

$$Q = m_c \cdot c_c (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где  $m_c$  – масса асфальтобетонной смеси, кг;  $c_c$  – удельная теплоемкость асфальтобетонной смеси, кДж/(кг· $^{\circ}\text{C}$ );  $t_1$  – начальная температура асфальтобетонной смеси,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2$  – температура асфальтобетонной смеси через час транспортирования,  $^{\circ}\text{C}$ .

Количество тепла, теряемое асфальтобетонной смесью через внешнюю поверхность смесительного барабана в окружающее пространство [1]:

$$Q = 3600 \cdot h \cdot S_B (t_c - t_B), \quad (2)$$

где  $h$  – коэффициент теплопередачи, кВт/( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ );  $S_B$  – площадь поверхности смесительного барабана,  $\text{м}^2$ ;  $t_c$  – средняя температура смеси,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_B$  – температура наружного воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

Коэффициент теплопередачи через трехслойную стенку от горячей асфальтобетонной смеси к воздуху [1]:

$$h = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \frac{l_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3)$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент теплоотдачи от асфальтобетонной смеси к металлической стенке смесительного барабана;  $\alpha_1 = 0,097\text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $l_1$  – толщина стенки смесительного барабана;  $l_1 = 0,01\text{ м}$  [30];  $\lambda_1$  – коэффициент теплопроводности стали;  $\lambda_1 = 0,046...0,058\text{ кВт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;  $l_2$  – толщина слоя теплоизоляции, м (неизвестная величина);  $\lambda_2$  – коэффициент теплопроводности теплоизоляции;  $\lambda_2 = 0,000044\text{ кВт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$  – для стекловаты;  $l_3$  – толщина стенки кожуха;  $l_3 = 0,001\text{ м}$ ;  $\lambda_3$  – коэффициент теплопроводности стали;  $\alpha_2$  – коэффициент теплоотдачи от кожуха смесительного барабана наружному воздуху, кВт/( $\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ).

Приравняв правые части уравнений (1) и (2) и решая их, относительно  $l_2$  получим толщину теплоизоляции:

$$l_2 = \lambda_2 \left[ \frac{3600 \cdot S_B (t_c - t_B)}{m_c \cdot c_c (t_1 - t_2)} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{l_1}{\lambda_1} - \frac{l_3}{\lambda_3} - \frac{1}{\alpha_2} \right]. \quad (4)$$

По результатам произведенных расчетов толщина теплоизоляции составила  $0,0058\text{ м}$ .

Температурно-технологические параметры транспортных операций включают в себя: максимально допустимое расстояние  $L$ , км, транспортирования асфальтобетонной смеси,

взаимосвязанное с минимально допустимым временем их выполнения  $[\tau_T]$  (загрузка, перевозка, выгрузка), и минимальную, с теплофизической надежностью  $P$ , ожидаемую температуру смеси  $m_{\min}$  после ее выгрузки в приемный бункер асфальтоукладчика.

Определяем темп охлаждения смеси  $V_G$ ,  $ч^{-1}$ , для каждой транспортной операции (загрузки  $V_G^3$ , перевозка  $V_G^H$ , выгрузка  $V_G^B$ ) по формуле [1]:

$$V_G = \frac{\psi \cdot 0,76 \sum k \cdot F}{G \cdot c}, \quad (5)$$

где  $\psi$  – коэффициент темпа охлаждения;  $F$  – площадь поверхности теплообмена,  $м^2$ ;  $c$  – удельная теплоемкость смеси,  $кДж/(кг \cdot К)$ ;  $k$  – коэффициент теплоотдачи поверхности смеси.

Средневзвешенный темп охлаждения за время транспортных операций [1]:

$$\bar{V}_G = \frac{V_G^3 \cdot m_\tau^3 + V_G^H \cdot m_\tau^H + V_G^B \cdot m_\tau^B}{m_\tau^T}, \quad (6)$$

где  $m_\tau^T$  – математическое ожидание времени выполнения транспортных операций смеси, являющееся суммой математически ожидаемого времени выполнения отдельных операций;  $m_\tau$  – математическое ожидание времени транспортной операции;

Определяем математическое ожидание температуры смеси после разгрузки в приемный бункер асфальтоукладчика [1]:

$$m_i^T = (m_i^C - t_B) \exp(\bar{V}_G \cdot m_\tau^T) + t_B, \quad (7)$$

где  $m_i^C$  – математическое ожидание температуры смеси при загрузке,  $^{\circ}C$ ;  $t_B$  – температура воздуха,  $^{\circ}C$ .

Определим дальность транспортирования асфальтобетонной смеси от завода до асфальтоукладчика при следующих условиях:

- транспортирование: в предложенной установке; в автомобиле – самосвале с подогревом; в автомобиле – самосвале без подогрева;
- температура смеси при загрузке транспортных средств,  $^{\circ}C$ : 160; 150; 140;
- температура окружающей среды,  $^{\circ}C$ : +5; 0; -5.
- температура смеси после выгрузки в приемный бункер асфальтоукладчика  $120^{\circ}C$ .

Результаты расчетов представлены на рисунках 3-5 и в таблице 1.

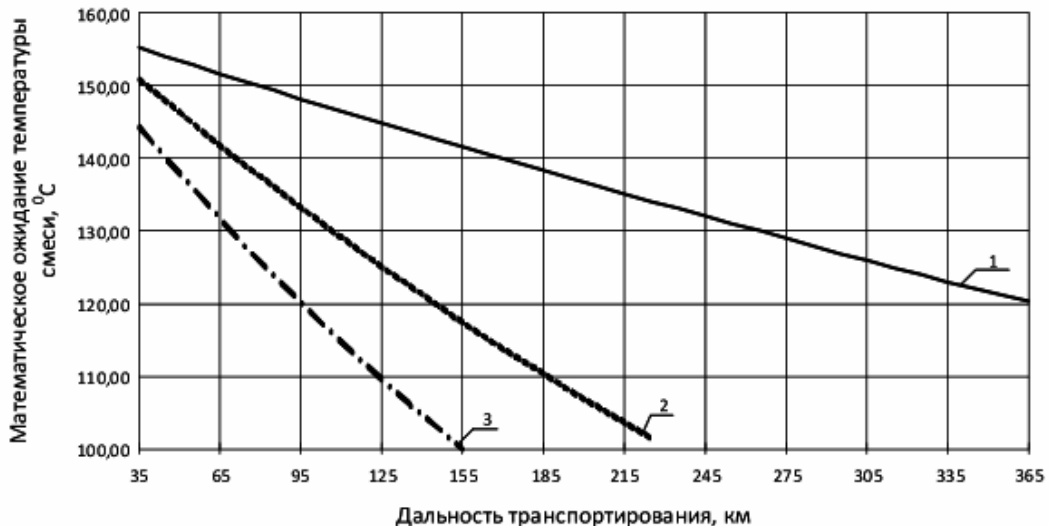


Рис. 3. Графическая зависимость математического ожидания температур смеси в бункере асфальтоукладчика от дальности транспортирования смеси, при температуре окружающей среды  $+5^{\circ}C$  и температуре смеси при загрузке  $160^{\circ}C$ : 1 – транспортирование в предложенной установке; 2 – в автомобиле – самосвале с подогревом; 3 – в автомобиле – самосвале без подогрева

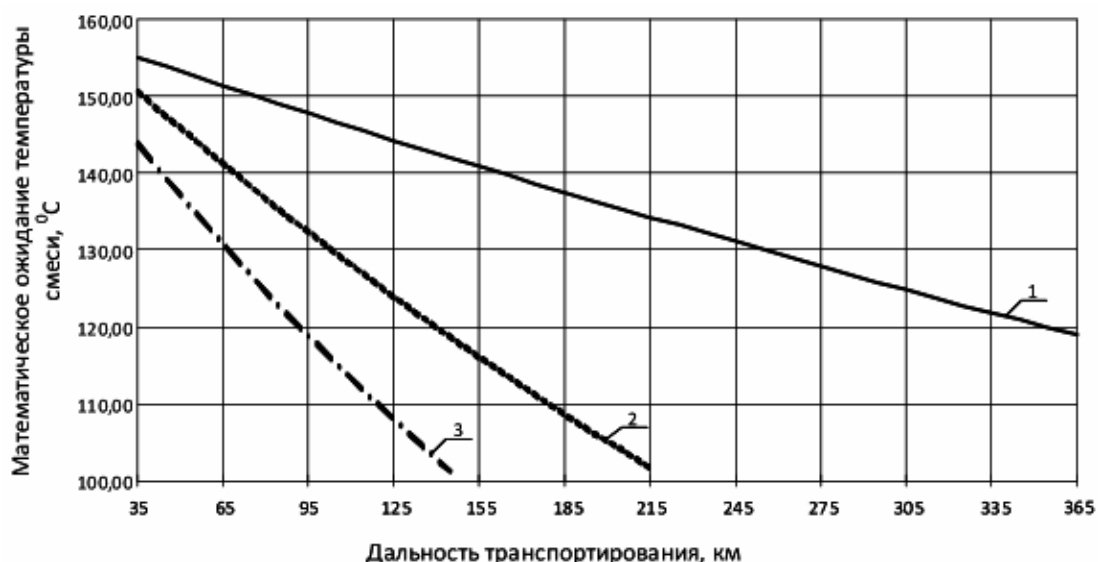


Рис. 4. Графическая зависимость математического ожидания температур смеси в бункере асфальтоукладчика от дальности транспортирования смеси, при температуре окружающей среды 0 °C и температуре смеси при загрузке 160 °C: 1 – транспортирование в предложенной установке; 2 – в автомобиле – самосвале с подогревом; 3 – в автомобиле – самосвале без подогрева

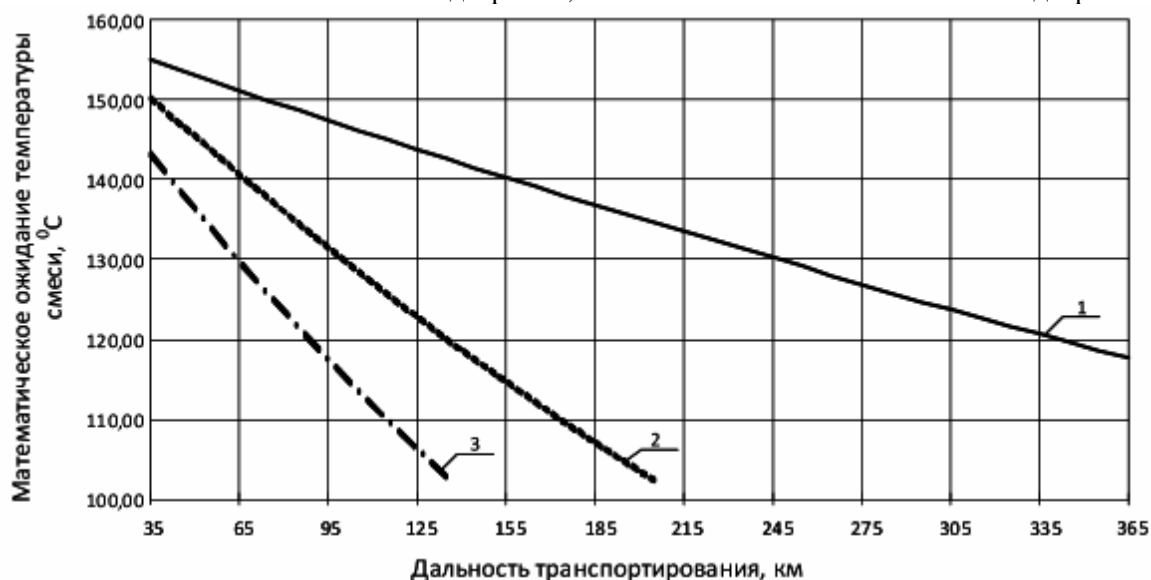


Рис. 5. Графическая зависимость математического ожидания температур смеси в бункере асфальтоукладчика от дальности транспортирования смеси, при температуре окружающей среды -5 °C и температуре смеси при загрузке 160 °C: 1 – транспортирование в предложенной установке; 2 – в автомобиле – самосвале с подогревом; 3 – в автомобиле – самосвале без подогрева

Табл. 1. Дальность транспортирования асфальтобетонной смеси от завода до асфальтоукладчика, км

| Температура смеси при загрузке, °C | Температура окружающей среды, °C | Способ транспортирования смеси |                                       |  |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|
|                                    |                                  | в предложенной установке       | в автомобиле – самосвале с подогревом | в автомобиле – самосвале без подогрева |
| 150                                | +5                               | 275                            | 115                                   | 70                                     |
|                                    | 0                                | 265                            | 105                                   | 65                                     |
|                                    | -5                               | 255                            | 95                                    | 60                                     |
| 140                                | +5                               | 195                            | 85                                    | 55                                     |
|                                    | 0                                | 185                            | 75                                    | 45                                     |
|                                    | -5                               | 195                            | 65                                    | 40                                     |

**Обсуждение и выводы.** Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что применение установки на базе автобетоносмесителя при транспортировании асфальтобетонной смеси позволит уменьшить сегрегацию смеси и увеличить расстояние от асфальтобетонного завода до асфальтоукладчика на 55-79%. Кроме этого, в период доставки происходит постоянное перемешивание смеси, исключая появление температурной и фракционной сегрегации. Так же не сократится количественный состав специализированного комплекта средств механизации, задействованных в технологическом процессе строительства асфальтобетонного покрытия, исключая перегружатели смеси.

**Заключение.** Создание данной установки считается наиболее перспективным направлением решения проблемы ухудшения транспортировки асфальтобетонных смесей за счет устранения негативных воздействий. На основе проведенных исследований можно заключить, что использование спроектированной установки позволяет достичь существенного улучшения показателей качества асфальтобетонной смеси.

После завершения работ по разработке необходимо единичное изготовление опытных образцов установки для проведения испытаний, в случае положительного результата которых, возможна организация мелкосерийного производства изделия. Но в перспективе следует ожидать значительного увеличения объемов производства установками.

#### **Список литературы**

1. Шестаков В.Н., Пермяков В.Б., Ворожейкин В.М., Старков Г.Б. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий: методические рекомендации. – 2-е изд., с доп. и изм. – Омск: ОАО «Омский дом печати», 2004. – 256 с.
2. Горельшев Н.В. Асфальтобетон и другие битумо-минеральные материалы: учеб. – М.: ТОО «Можайск-Терра», 1995. – 176 с.
3. Грушко И.М., Королев И.В., Борец И.М., Мищенко Г.М. Дорожно-строительные материалы: Учеб. для автомоб.-дор. спец. вузов. – М.: Транспорт, 1983. – 383 с.
4. Методические рекомендации по укладке и уплотнению асфальтобетонных смесей различного типа при использовании высокопроизводительных катков / Союздорнии. – М.: [б. и.], 1984. – 12 с.
5. Потеряев И.К. Оптимизация системы «асфальтоукладчик – транспортные средства – асфальтосмесительная установка» при строительстве асфальтобетонных покрытий: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Потеряев Илья Константинович. – Омск: СибАДИ, 2013. – 16 с.
6. ОДМ 218.5.002 – 2009 Методические рекомендации по устройству асфальтобетонных слоев с применением перегружателей смеси: отраслевой дорожный методический документ: принят и введен в действие на основании распоряжения Федерального дорожного агентства № 271-р от 28.07.2009. – Изд. официальное. – М.: Федеральное дорожное агентство, 2009. – 13 с.
7. Семейшева И.В., Лыткин А.А. Перегрузатель асфальтобетонной смеси как способ устранения сегрегации // Молодой ученый. – 2018. – № 22 (208). – С. 173-176. – URL: <https://moluch.ru/archive/208/51114/>
8. Ушков А.В. обоснование рациональных параметров автосамосвала с донной разгрузкой и перегружателя асфальтобетонной смеси: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Ушков Александр Владимирович. – М.: МАДИ, 2017. – 23 с.
9. Машиностроительный завод «Бецема»: официальный сайт. – Красногорск – URL: <https://www.becema.ru>.
10. Уральский завод спецтехники: официальный сайт. – Челябинск. – URL: <https://uzst.ru>.

#### **References**

1. Shestakov V.N., Permyakov V.B., Vorozheikin V.M., Starkov G.B. Technological quality assurance of asphalt concrete pavement construction: methodological recommendations. – 2nd ed., with add. – Omsk: JSC «Omsk House of Printing», 2004. – 256 p.
2. Gorelyshev N.V. Asphalt concrete and other bitumen-mineral materials: textbook. manual. – M.: TOO «Mozhaisk – Terra», 1995. – 176 p.
3. Grushko I.M., Korolev I.V., Borets I.M., Mishchenko G.M. Road-building materials: Textbook for automobile-dor. spec. Universities. – M.: Transport Publ., 1983. – 383 p.
4. Guidelines for laying and compacting asphalt mixes of various types when using high-performance rollers / Soyuzdornii. – M.: [b. i.], 1984. – 12 p.
5. Poteryaev I.K. Optimization of the system «asphalt paver-vehicles – asphalt mixing plant» in the construction of asphalt concrete coatings: abstract of the diss. ... cand. of tech. sc.: 05.05.04 / Ilya Konstantinovich Poteryaev. – Omsk: SibADI, 2013. – 16 p.
6. ODM 218.5.002-2009 Methodological recommendations for the construction of asphalt-concrete layers with the use of mix reloaders: industry road methodological document: adopted and put into effect on the basis of the order of the Federal Road Agency №. 271-r of 28.07.2009. – Ed. official. – M.: Federal Road Agency Publ., 2009. – 13 p.

7. Semeysheva I.V., Lytkin A.A. Reloader sphalto-concrete mix as a way to eliminate segregation. // Young scientist. 2018, no. 22(208), pp. 173-176. URL: <https://moluch.ru/archive/208/51114/>
8. Ushkov AV. Justification of rational parameters of a dump truck with bottom unloading and an asphalt-concrete mix loader: abstract of the diss. ... cand. of tech. sc.: 05.05.04 / Ushkov Alexander Vladimirovich. – M.: MADI, 2017. – 23 p.
9. Betsema Machine-building Plant: official website. – Krasnogorsk. – URL: <https://www.becema.ru>.
10. Ural plant of special equipment: official website. – Chelyabinsk. – URL: <https://uzst.ru>.

*Сведения об авторах:*

*Information about authors:*

|   |  |
|---|--|
| <b>Дубков Валерий Витальевич</b> – кандидат технических наук, доцент                    | <b>Dubkov Valery Vitalievich</b> – candidate of technical sciences, associate professor      |
| <b>Потеряев Илья Константинович</b> – кандидат технических наук, доцент                 | <b>Poteryaev Ilya Konstantinovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor |
| <b>Сачук Юлия Сергеевна</b> – кандидат технических наук, доцент<br>u.s.sachuk@gmail.com | <b>Sachuk Yulia Sergeevna</b> – candidate of technical sciences, associate professor         |

Получена 21.11.2022