

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт
Кафедра «Строительных материалов и технологии строительства»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ И.Г. Енджиевская
« ____ » _____ 2020г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА
АСФАЛЬТОУКЛАДЧИКА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

08.04.01 «Строительство»
08.04.01.07 «Комплексная механизация и автоматизация строительства»

Научный руководитель _____ доц., канд. техн. наук Е.С.Турышева
Выпускник _____ ст. гр. СФ18-07М А.А. Персиянова
Рецензент _____ проф., д-р. техн. наук В.И. Иванчура
Нормоконтролер _____ доц., канд. техн. наук Т.С. Турышева

Красноярск 2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Анализ факторов возникновения температурной сегрегации и состояния автоматизации технологических процессов при укладке асфальтобетонной смеси	6
1.1 Анализ факторов возникновения температурной сегрегации.....	6
1.2 Анализ состояния автоматизации технологических процессов при укладке асфальтобетонной смеси.....	11
1.3 Анализ исследований методов контроля температурного состояния асфальтобетонной смеси.....	12
1.4 Положения на защиту	15
2 Объект исследования	16
2.1 Моделирование процессов укладки асфальтобетонной смеси с исключением температурной сегрегации	16
2.2 Разработка системы управления процессом укладки асфальтобетонной смеси, исключаяющей температурную сегрегацию.....	23
3 Результаты исследований	28
3.1 Методика исследования	28
3.2 Результаты исследований	37
4 Реализация результатов диссертационной работы.....	42
5 Оценка экономической эффективности.....	45
Заключение	57
Список используемой литературы	58

ВВЕДЕНИЕ

Долгосрочные программы освоения Восточной Сибири и Дальнего Востока до 2030 г. предусматривают формирование развитой транспортной инфраструктуры в этих регионах Российской Федерации, в том числе строительство автомобильных дорог в условиях неблагоприятных природно-климатических факторов с гористым и холмисто-увалистым рельефами местности. Природно-климатические факторы с гористым рельефом в сочетании с резко континентальным климатом характеризуются как экстремальные и существенным образом влияют на сроки и темпы строительства асфальтобетонных покрытий.

Как показывает практика строительства автомобильных дорог, природно-климатические факторы с гористым рельефом местности, в том числе климатические условия (резко континентальный климат), а также неблагоприятные производственные условия увеличивают продолжительность и снижают темпы строительства асфальтобетонных покрытий. В таких условиях использования специализированных комплектов машин (СКМ) также не обеспечивается теплофизическая надежность доставки асфальтобетонной смеси (АБС) в транспортных операциях в соответствии с проектами производства работ (ППР). Планируемые, согласно ППР, сроки строительства увеличиваются на 20-30 % по числу календарных дней. Графики строительства асфальтобетонных покрытий нарушаются по срокам их начала и выполнения, сроки завершения работ переносятся на осенние месяцы.

Планирование показателей использования и прогнозирование производительности машин, входящих в СКМ (асфальтоукладчиков, транспортных средств (ТС), асфальтосмесительной установки и других машин), которые находятся в прямой зависимости от скорости потока или

темпа строительства, в условиях влияния неблагоприятных факторов имеют свои особенности. Это обуславливает необходимость проведения теоретических и экспериментальных исследований закономерностей и связей параметров функционирования СКМ в условиях использования, их влияния на технико-эксплуатационные показатели.

Оптимизируя параметры функционирования СКМ, необходимо формировать такой его состав, с учетом влияния совокупности неблагоприятных производственных условий и природно-климатических факторов, в котором наилучшим образом будет сочетаться эксплуатационная производительность основных средств механизации, занятых в технологическом процессе. Это в свою очередь обеспечит соответствие планируемых и фактических темпов строительства.

В настоящее время социально-экономическое развитие России во многом сдерживается из-за нынешнего состояния и уровня развития автомобильных дорог. Значительная часть федеральных дорог имеют высокую степень износа и исчерпали свою пропускную способность. Около 28 тыс. населенных пунктов не имеют круглогодичной связи по автомобильным дорогам с твердым покрытием, что приводит к сворачиванию производства, в том числе сельскохозяйственного, оттоку населения из этих регионов. Задача удвоения валового внутреннего продукта к 2020 году согласно прогнозу приведет к увеличению объемов перевозок в 1,8 раза, что еще более обострит ситуацию, связанную с обеспечением пропуска по автомобильным дорогам возрастающих автотранспортных потоков, и может стать фактором, сдерживающим экономический рост.

Темпы развития дорожной сети не соответствуют потребности экономики России. Это увеличивает разрыв между темпами роста автомобилизации и развитием автомобильных дорог (а/д), что в итоге может привести к возникновению системных транспортных заторов и сдерживанию экономического роста страны. При сохранении существующих объемов дорожного строительства соединение 28 тыс. населенных пунктов

автомобильными дорогами с твердым покрытием может быть завершено только через 140 лет, а модернизация автодороги «Россия» Москва - Санкт-Петербург и автодороги «Дон» Москва - Новороссийск будет закончено соответственно к 2023 и 2027 гг.

Программа ремонта, модернизации и развития сети автомобильных дорог РФ предусматривает последовательное наращивание объемов строительства, что потребует роста объемов производства асфальтобетонной смеси. Важнейшее значение для долговечности покрытия дороги имеет качество асфальтобетонной смеси и асфальтобетона. Срок службы асфальтобетонных покрытий в нашей стране существенно ниже аналогичных показателей промышленно развитых стран.

Разработка теоретических и методологических основ комплексного управления производством асфальтобетонной смеси, обеспечивающего оперативную компенсацию вариации характеристик исходных материалов и вариации технологических процессов не только производства асфальтобетонной смеси, но и ее транспортировки, укладки и уплотнения является актуальной проблемой, решение которой имеет важное народнохозяйственное значение.

Современные асфальтоукладчики оснащаются системами автоматического управления (АСУ) уплотняющего оборудования асфальтоукладчика, которые обеспечивают заданную ровность и угол наклона полотна автомобильной дороги. Последние достижения в этой области принадлежат зарубежным и отечественным фирмам. Однако эти АСУ не учитывают неоднородность плотности дорожного основания. К тому же, они учитывают влияния сегрегации асфальтобетонной смеси на качество дорожного полотна. Температурная сегрегация асфальтобетонной смеси приводит к неравномерному распределению плотности уложенной смеси, что ведет к возникновению дефектов в дорожном полотне при эксплуатации.

Существующие проблемы современных систем управления уплотняющим оборудованием асфальтоукладчика определили необходимость

совершенствования АСУ. Совершенствование системы управления процессом распределения слоя асфальтобетонной смеси по ширине дороги, которая обеспечивает однородную структуру асфальтобетонной смеси и исключает температурную сегрегацию имеет важное практическое значение. Поэтому тема диссертационной работы является актуальной.

1 Анализ факторов возникновения температурной сегрегации и состояния автоматизации технологических процессов при укладке асфальтобетонной смеси

1.1 Анализ факторов возникновения температурной сегрегации асфальтобетонной смеси

Долговечность одежды автомобильной дороги в значительной степени обеспечивается однородностью структуры асфальтобетонной смеси и плотностью асфальтобетона. Необходимо, чтобы температура асфальтобетонной смеси в укладываемом объеме была одинаковой. При нестабильности температуры в укладываемом объеме смеси плотность асфальтобетона не будет неравномерной. В результате в смеси возникает температурная сегрегация и при уплотнении такой смеси возникают дефекты.

Научные основы исследований взаимодействия рабочих органов уплотняющих машин с дорожно-строительными материалами заложили такие отечественные ученые: В. Ф. Бабков, В. И. Баловнев, Н. Я. Хархута, О. Т. Батраков, А. К. Бируля, Н. Н. Воцинин, Л. Б. Гезенцевей, Н. В. Горелышев, В. В. Дубков, М. П. Костельов, Н. Н. Иванов, В. Б. Пермьяков, А. А. Шестоपालов, С. Н. Иванченко, А. В. Захаренко, А. А. Иноземцев, А. Я. Калужский, И. В. Королёв, М. Н. Летошнев, И. А. Рыбьев, А. М. Холодов, М. А. Завьялов, А. Ф. Зубков, Г. В. Кустарев и другие. Из зарубежных учёных следует отметить научные работы П. Бёмера, Л. Форсблада, Д. Вайта, М. А. Муни, Р. Андирега, К. Кауфманна, Д. Адама и других.

Полученные авторами теоретические и эмпирические зависимости позволяют решать задачи прикладных научных исследований и проектирования конструкций машин, установления усилий в металлоконструкциях и т. п. Но при разработке системы автоматического управления использование математических моделей имеет существенные недостатки, учитывая сложность и непрерывность изменения параметров

процессов строительства покрытий, свойства стохастической динамической системы.

При транспортировке асфальтобетонной смеси к месту укладки, а также продолжительном хранении ее в бункере смесь остывает до температуры ниже допустимой что приводит к образованию загустения материала. В результате образуется корка асфальтобетонной смеси, которая при распределении ее по ширине автомобильной дороги приводит к неравномерности распределения коэффициента уплотнения дорожного покрытия. Первооткрывателем этого явления является J. P. Mahoney [65], который при исследовании плотности уложенного слоя асфальтобетонной смеси отметил образовавшиеся дефекты. Для исключения фактора температурной сегрегации асфальтобетонной смеси необходимо свести к минимуму разницу распределения температуры смеси по всему объему. Основным требованием к температурному состоянию укладываемой смеси в дорожное полотно является что перед ее укладкой разница температур должна сводиться к нулю. Поэтому функцией цели исключения температурной сегрегации АБС будет минимизация разности температур, а также выбор режимов работы уплотняющего оборудования асфальтоукладчика.

При распределении асфальтобетонной смеси перепад температур достигает ниже $+70^{\circ}\text{C}$. Остывшие объемы асфальтобетонной смеси попадают под винт шнекового распределителя и далее под трамбуемый брус. В результате требуемая степень уплотнения асфальтобетонной смеси не обеспечивается. Образуются так называемые «холодные пятна» что приводит к образованию дефектов в уложенном асфальтобетоне.

При укладке асфальтобетонной смеси при невысокой температуре окружающего воздуха возникают значительные тепловые потери, что требует более тщательного перемешивания и соответственно регулирования скорости вращения винта распределительного щнека. Кроме этого происходят потери теплоты в бункере асфальтоукладчика. В работе температуру асфальтобетонной смеси фиксировали с помощью инфракрасной камеры

ThermaCAM, а плотность определяли радиоизотопным прибором, а также взвешиванием отобранных кернов. На рисунке 1.1 показаны так называемые «холодного пятна». Температура в зоне «холодного пятна» составила 90 °С, что ниже средней на 20°С. В результате в зоне «холодного пятна» смесь будет недоуплотнена. Все это особо характерно, когда укладка асфальтобетонной смеси осуществляется в начале и в конце строительного сезона, характеризующиеся понижением температуры воздуха и температуры дорожного основания.

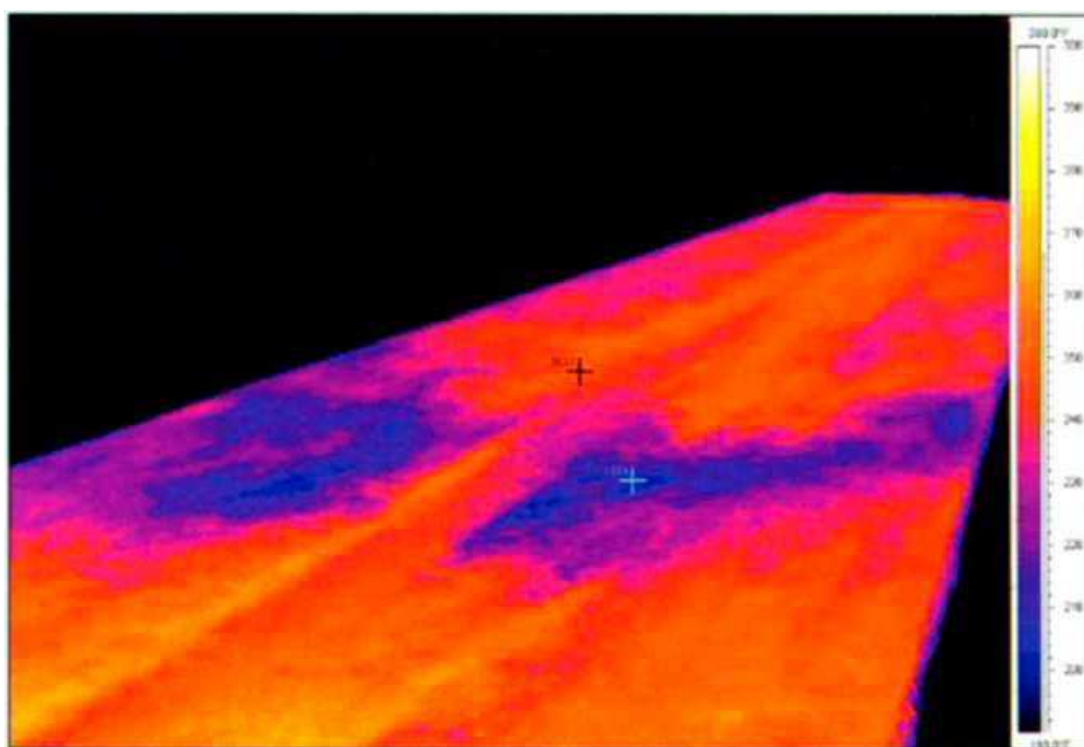


Рисунок 1.1 - Температурная сегрегация асфальтобетонной смеси в бункере асфальтоукладчика

В журнале "Автомобильные дороги" № 8 Август 2013г. в статье «Победа над сегрегацией» приведена запатентованная конструкция дополнительного шнека в накопительном бункере перегружателя Shuttle Buggy. Эта конструкция обеспечивает перемешивание материала по всему объему бункера за счет применения литых шнеков с переменным шагом. Это

исключает скопление материала в углах бункера, происходит перемешивание всей массы асфальтобетонной смеси, что не обеспечивается, когда применяются шнеки постоянного шага.

В работе А. И. Доценко [23] рассмотрены вопросы, посвященные созданию методологической основы для комплексной автоматизации производства асфальтобетонной смеси с учетом процессов её транспортировки, укладки и уплотнения на базе современных информационных технологий. Он впервые предложил комплексную автоматизацию производства смеси, учитывающую результаты работы машин этапа дорожного строительства – укладки и уплотнения асфальтоукладчиком и дорожными катками, – которые оказывают существенное влияние на конечное качество покрытия. На основе современных средств автоматики и автоматизации автор выдвинул технологию, предполагающую своевременное информирование дирекций асфальтобетонных заводов (АБЗ) о возникающих дефектах во время укладки и уплотнения смеси в целях оперативной корректировки рецептуры смеси и технологии ее производства. Такая идея является очень привлекательной, но для отрасли Российской Федерации по производству дорожно-строительных материалов характерно большое отличие технического уровня и состояния оборудования АБЗ в регионах, а также отсутствие предприятий полного цикла (от производства асфальтобетонной смеси до получения готового асфальтобетонного покрытия), где можно было бы внедрять комплексную систему управления качеством смеси. Известно, что контракты на дорожно-строительные работы заключаются с дорожниками по результатам открытых тендеров, имеются проблемы производственных, технических и коммерческих возможностей для внедрения в России подобной системы.

Доценко А.И. в работах [23; 24; 25] предложил классификацию параметров, определяющих факторы, которые могут служить причиной возникновения температурной сегрегации в ходе транспортирования смеси до места укладки в покрытие дороги:

- 1) температура асфальтобетонной смеси в начале и конце транспортирования к месту укладки в полотно дороги;
- 2) температура окружающей среды;
- 3) времена нахождения в пути;
- 4) расстояние доставки асфальтобетонной смеси к месту укладки;
- 5) скорость движения при доставке смеси к месту укладки.

Авторами многих научных работ, например, было установлено, что варьирование режимов асфальтоукладчика (скорость движения, режимные параметры работы трамбующего бруса и плиты) оказывает большое влияние на степень предварительного уплотнения различных смесей. Получены нелинейные зависимости коэффициента уплотнения от скорости движения, частоты трамбования, типа смеси.

Значительные по объему экспериментальные исследования уплотняющих рабочих органов проведены в НПО «ВНИИСтройдормаш». Они проводились на стенде-укладчике, оборудованном тензометрической аппаратурой, при уплотнении аналога песчаной асфальтобетонной смеси типа «Д». Вид полученных зависимостей – нелинейный, что подтверждается результатами научных исследований В. Б. Пермякова, С. Н. Иванченко и других авторов [51, 67, 85, 103, 117].

Анализ причин возникновения температурной сегрегации асфальтобетонной смеси показал, что при средней температуре уложенной смеси ниже 90⁰С образуются так называемые «холодные пятна», в результате чего асфальтобетон получается с дефектами. В холодное время года в бункере асфальтоукладчика перепад температур асфальтобетонной смеси может достигать до 70⁰С. Все это приводит к неравномерному уплотнению дорожного покрытия, снижению качества асфальтобетона и уменьшению долговечности автомобильной дороги. Для исключения температурной сегрегации требуется обеспечение однородности укладываемой смеси за счет контроля температурного состояния и автоматизации на этой основе процесса распределения смеси по ширине дороги.

1.2 Анализ состояния автоматизации технологических процессов при укладке асфальтобетонной смеси

В данном разделе рассмотрим различные фирмы производители автоматических систем управления (АСУ), которые используют для управления различными моделями асфальтоукладчиков.

Фирмой Moba устанавливаются системы АСУ на различных моделях асфальтоукладчиков: ДС-191.506, МАСФ-К-2-02, АСФ-К-2-03 установлена АСУ «МОВА». Система МОВА-matic работает с любыми типами гидравлических цилиндров и автономно для каждой машины. МОВА-matic состоит из модулей. Цифровой регулятор, который одновременно является блоком обслуживания, и датчики представляют собой отдельные компоненты. В зависимости от применения регулятор соединяется с датчиком, который автоматически контролирует температурное состояние асфальтобетонной смеси.

Фирма «Vogele» разработала новую ультразвуковую АСУ «Niveltronic», а американская «Terex». АСУ снабжаются пакетами ультразвуковых датчиков, что повышает ровность получаемого покрытия. Однако они не учитывают неоднородности дорожного основания. Поэтому требуемая ровность дорожного покрытия не обеспечивается.

Анализ известных систем автоматического управления асфальтоукладчиков показал, что они не учитывают влияния температурного состояния асфальтобетонной смеси, в результате чего возникает температурная сегрегация и последующее ухудшение качества дорожного полотна.

1.3. Анализ исследований методов контроля температурного состояния асфальтобетонной смеси

Методы контроля температурного состояния асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком приведены в работах известных ученых [23; 28; 29; 30; 31; 32; 48; 52; 55].

В Сибирском федеральном университете ведутся работы по созданию новых систем автоматического управления асфальтоукладчиков. Новизна разработанных АСУ защищена патентами. В патенте на полезную модель № 95681 приведено устройство для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси. В патенте на полезную модель № 95688 приведена система автоматического управления рабочего органа асфальтоукладчика. В патенте на полезную модель № 97742 приведена система автоматического управления положением выглаживающей плиты асфальтоукладчика. В патенте на полезную модель №105307 приведена система автоматического управления асфальтоукладчика.

В работах [28; 29; 30; 31] приводятся результаты исследований систем управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси асфальтоукладчиком. Задачей совершенствования системы управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси является повышение эффективности цифровой адаптивной системы управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси за счет применения сенсорного датчика на раме рабочего органа асфальтоукладчика, обеспечивающего мгновенное реагирование на изменение какого-либо фактора окружающей среды и технологического процесса, блока «фазификатор», обеспечивающего перевод исходных данных с датчиков, контролирующих управляющий процесс, в значения лингвистических переменных, блока адаптивного управления, обеспечивающего реализацию процедуры нечеткого вывода на множестве продукционных правил, составляющих базу знаний системы управления, в результате чего формируются выходные лингвистические значения, блока

«дефазификатор», обеспечивающего перевод лингвистических значений в точные значения результатов вычислений и формирование управляющих воздействий, подаваемых на дискретные гидравлические приводы, а также повышение точности цифрового адаптивного управления и значительное сокращение процесса укладки дорожного полотна во времени, увеличение срока службы асфальтобетонного покрытия и производительности дорожно-строительных работ.

Доценко А.И. [23] впервые предложил комплексную автоматизацию производства асфальтобетонной смеси, учитывая в оперативном управлении производством смеси последнего этапа технологического процесса строительства асфальтобетонного покрытия – укладки и уплотнения асфальтоукладчиком, и уплотнения дорожными катками, которые оказывают влияние на качество асфальтобетонного покрытия автомобильной дороги. Автор предложил технологию, на основе современных средств автоматики и автоматизации, предполагающую своевременное информирование асфальтобетонных заводов (АБЗ) о возникающих дефектах во время укладки и уплотнения смеси, для оперативной корректировки рецептуры смеси, и технологии ее производства. Идея такой комплексной автоматизации производства асфальтобетонной смеси является очень привлекательной, но для отрасли Российской Федерации по производству дорожно-строительных материалов характерным является большой разброс технического уровня и состояния оборудования АБЗ в регионах, отсутствие предприятий полного цикла: от производства асфальтобетонной смеси до получения готового асфальтобетонного покрытия, где можно было бы внедрять комплексную систему управления качеством смеси. Известно, что контракты на дорожно-строительные работы заключаются с дорожниками по результатам открытых тендеров. На момент написания данной работы (2011 г.), можно отметить отсутствие производственных, технических и коммерческих возможностей для внедрения в России подобной комплексной системы управления производством качественной асфальтобетонной смеси.

В Тверском государственном техническом университете на кафедре «Автоматизация технологических процессов» была осуществлена разработка и исследование на физической модели САР положением рабочего органа асфальтоукладчика [68].

Система управления положением рабочего органа асфальтоукладчика была реализована на основе универсального ПИД-регулятора восьмиканального ОВЕН ТРМ148 и исследовалась в двух режимах – аналогового и релейного управления. Децентрализованная – также в двух вариантах: на основе измерителя ПИД-регулятора для управления задвижками и трехходовыми клапанами с интерфейсом RS-485 ТРМ12 и измерителя ПИД-регулятора для управления задвижками и трехходовыми клапанами ОВЕН ТРМ12.

В процессе проведения исследований были выявлены определенные сложности, обусловленные нетиповым использованием регуляторов (дорожная машина), в частности, при настройке модуля «модель регулирующего органа». Из рассмотренных вариантов наиболее эффективным оказался вариант с использованием ОВЕН ТРМ12, благодаря быстрдействию и удобству настройки.

Помимо названных приборов в схемах автоматизации использовались также такие приборы ОВЕН, как панель оператора ОВЕН СМИ1, преобразователь аналоговых сигналов измерительный универсальный ОВЕН ИТП-10, автоматический преобразователь интерфейсов RS-232/RS-485 ОВЕН АС3-М, блоки питания БП 14, БП30.

В работе [2] показана возможность построения систем с нечеткой динамической коррекцией традиционного ПИД-регулятора. Использование методов нечеткой логики позволило получить качественный переходный процесс без использования вычислительных процедур, характерных для классического метода регулирования.

1.4. Положения на защиту

Анализ состояния вопроса показал, что современные системы автоматического управления асфальтоукладчиков не обеспечивают исключения температурной сегрегации асфальтобетонной смеси. При распределении асфальтобетонной смеси шнековым распределителем температура смеси не одинаковая, что ведет к возникновению температурной сегрегации. Поэтому требуется проведение следующих работ по исключению температурной сегрегации асфальтобетонной смеси при укладке ее дорожное полотно в условиях пониженной температуры окружающего воздуха.

1) Анализ возникновения температурной сегрегации асфальтобетонной смеси показал, когда температура в зоне «холодного пятна» ниже средней примерно на 40°C. При средней температуре уложенной смеси 130°C возникают «холодные пятна» с температурой 80-90°C. В бункере асфальтоукладчика перепад температур достигает временами 40-50°C. Все это приводит к неравномерному уплотнению дорожного покрытия и снижению качества асфальтобетона.

2) Для исключения сегрегации асфальтобетонной смеси (АБС) требуется управление автоматизированной системой регулирования температурного состояния АБС посредством управляющего контроллера на основе информации о температурном состоянии асфальтобетонной смеси.

2 Объект исследования

2.1 Моделирование процессов укладки асфальтобетонной смеси с исключением температурной сегрегации

Однородность структуры и плотность асфальтобетонной смеси в значительной степени обеспечивают долговечность полотна дороги. Для получения асфальтобетонного покрытия без дефектов, необходимо обеспечить температуру асфальтобетонной смеси одинаковой во всем объеме. В результате образуется температурная сегрегация и плотность асфальтобетонной смеси будет неодинаковой. В асфальтобетоне образуется неоднородная структура из-за переохлаждения смеси и на дорожном полотне образуются дефекты [7, 23, 24].

Однородность структуры укладываемой асфальтобетонной смеси обеспечивается характеристиками работы шнекового распределителя асфальтоукладчика. При применении шнековых распределителей (рисунок 2.1) возможно изменение частоты вращения вала распределителя. В результате обеспечивается более интенсивное перемешивание асфальтобетонной смеси.

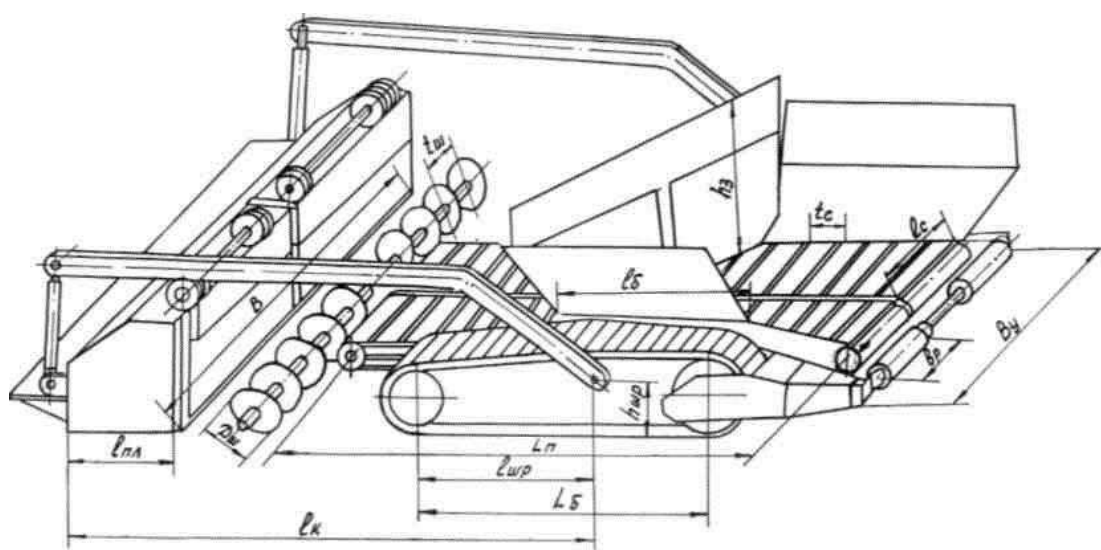


Рисунок 2.1- Привод шнека и скребкового питателя

Шнековый распределитель асфальтобетонной смеси (рисунок 2.2) состоит из левого и правого валов - 1, крепежных кронштейнов - 2, лопастей - 3.

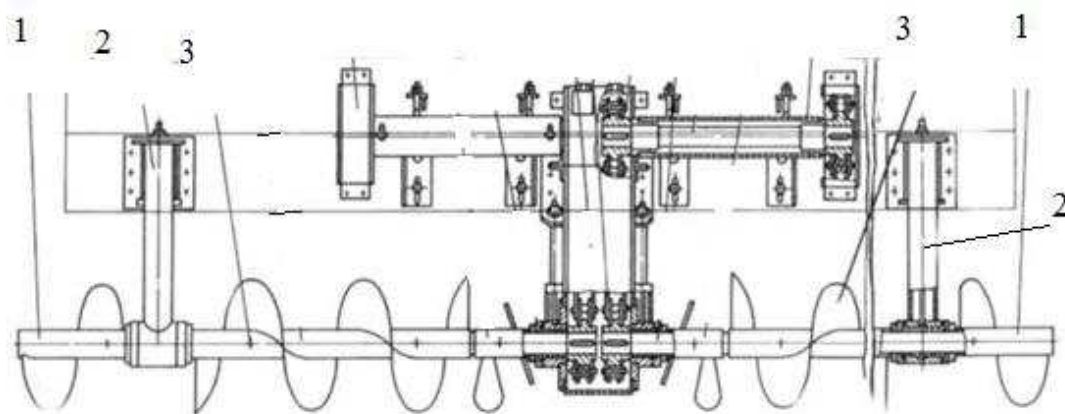


Рисунок 2.2 - Шнековый распределитель

Вращение левого и правого валов осуществляется в противоположные стороны. Для получения более качественного перемешивания асфальтобетонной смеси шаг лопастей вала выполняется переменным.

Транспортируемый материал из бункера перемещается вращающимися в разные стороны винтами на дорожную полосу. Винты изготавливают одно- и двухходовыми с правым или левым направлением витков, имеющих, как правило, постоянный шаг. Винт конвейера приводится во вращение от гидродвигателя через редуктор.

Тепловое состояние асфальтобетонной смеси в любой момент времени определяется по уравнению теплового баланса (рисунок 2.3):

$$(Q_{abc}) d\tau = (Q_n) d\tau + c_k m_k dT + k_p F_p (T - T_0) d\tau, \quad (2.1)$$

где $(Q_{abc}) d\tau$ – количество теплоты, выделяемое асфальтобетонной смесью за время $d\tau$;

$(Q_n) d\tau$ – количество теплоты, затрачиваемое на полезную работу;

$c_k m_k dT$ - количество теплоты, затрачиваемое на нагрев элементов конструкции на температуру dT ;

$k_p F_p (T - T_0) d\tau$ - количество теплоты, рассеиваемое в окружающую среду за время $d\tau$.

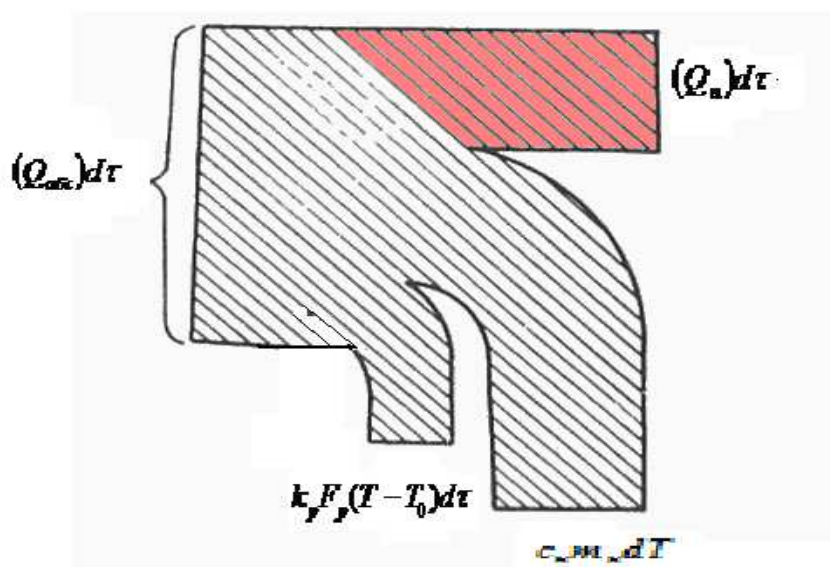


Рисунок 2.3 - Тепловой баланс асфальтобетонной смеси

Математическая модель, описывающая процессы распределения температуры в бункере, получена исходя из неоднородности температурного поля в объеме асфальтобетонной смеси и температуры окружающего воздуха.

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.

Температура асфальтобетонной смеси в бункере определится уравнением:

$$\tau_{abc} = \frac{Q_{abc}}{k_p \cdot F_p} \left[1 - \exp \frac{-t \cdot k_p \cdot F_p}{m_k \cdot c_k} \right] + \tau_0 \quad (2.2)$$

где Q_{abc} – количество теплоты, выделяемое асфальтобетонной смесью за время $d\tau$;

c_k – средняя удельная теплоемкость бункера;

K_p – коэффициент теплопередачи;

F_p – площадь внешней поверхности элементов бункера;

m_k – масса элементов бункера;

τ_0 – текущая температура асфальтобетонной смеси.

Для исследования температурного состояния асфальтобетонной смеси в процессе ее распределения по ширине дороги разработана структурная схема исследования температурного состояния асфальтобетонной смеси с ПИД регулированием, представленная на рисунке 2.4. Для моделирования температурного состояния асфальтобетонной смеси используются ЭВМ с программным обеспечением MATLAB и приложением к программе SIMULINK. SIMULINK содержит библиотеку приложений [15], из блоков которых собрана структурная схема исследования температурного состояния асфальтобетонной смеси.

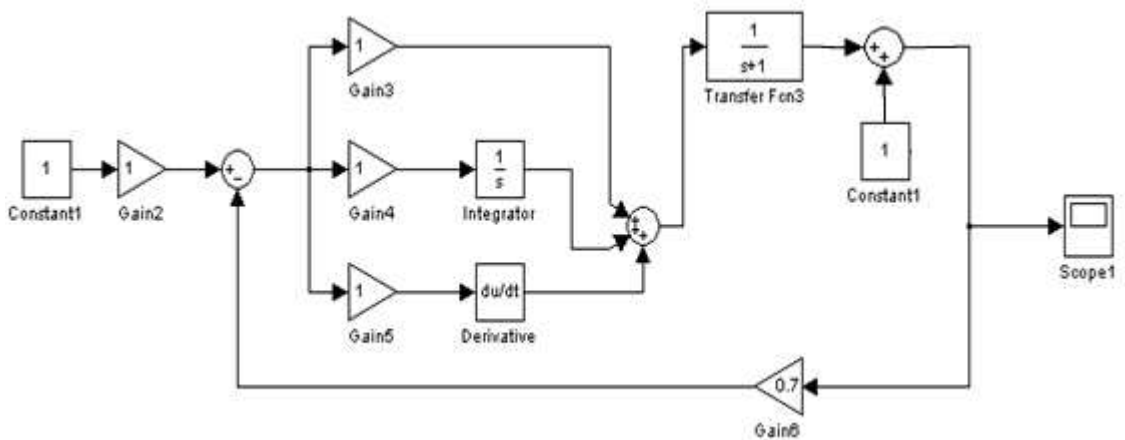


Рисунок 2.4 - Структурная схема исследования температурного состояния асфальтобетонной смеси

В соответствии со структурной схемой исследования температурного состояния асфальтобетонной смеси разработана блок схема в компьютерной среде Matlab Simulink, которая приведена на рисунке 2.5.

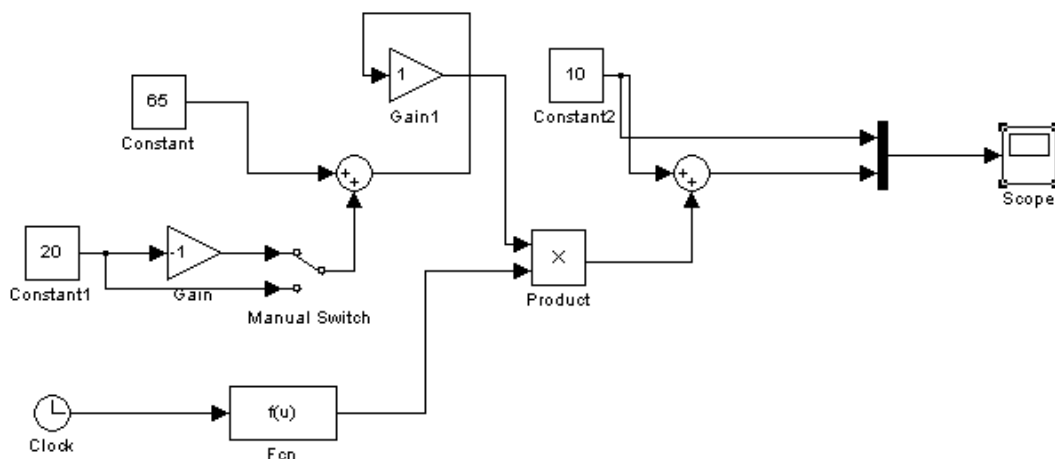


Рисунок 2.5 - Блок схема температурного состояния асфальтобетонной смеси

Начальные условия: c_k – средняя удельная теплоемкость бункера, 0,453; K_p – коэффициент теплопередачи 20; F_p – площадь внешней поверхности элементов бункера 1,5м; m_k – масса элементов бункера 240 кг; τ_0 – текущая температура асфальтобетонной смеси 140 °С.

Результаты моделирования температурного состояния асфальтобетонной смеси приведены на рисунках 2.6 - 2.8.

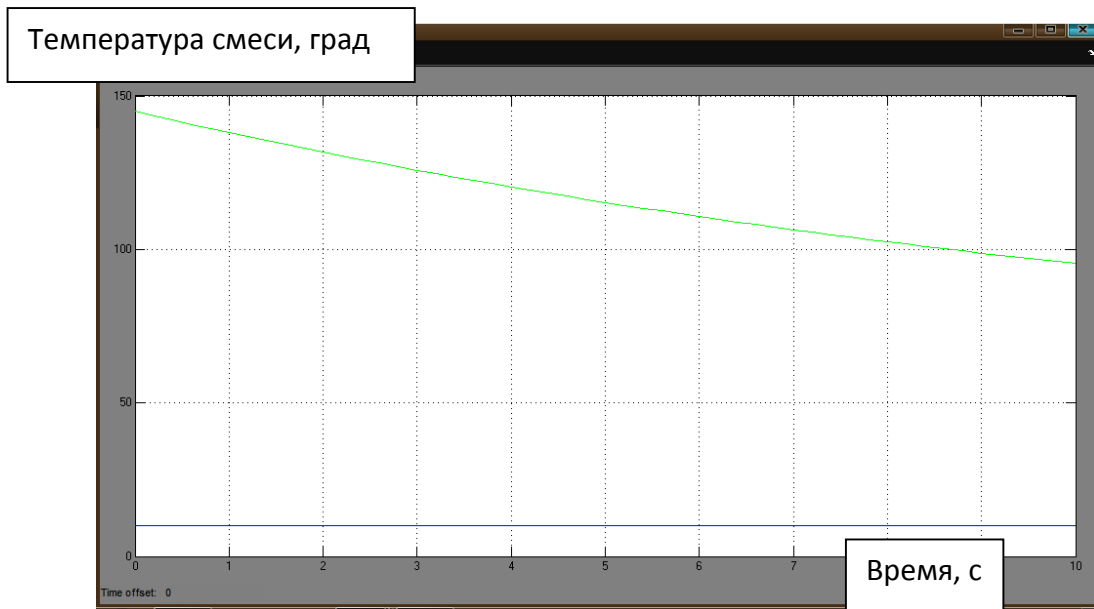


Рисунок 2.6 - Зависимость перепада температур асфальтобетонной смеси

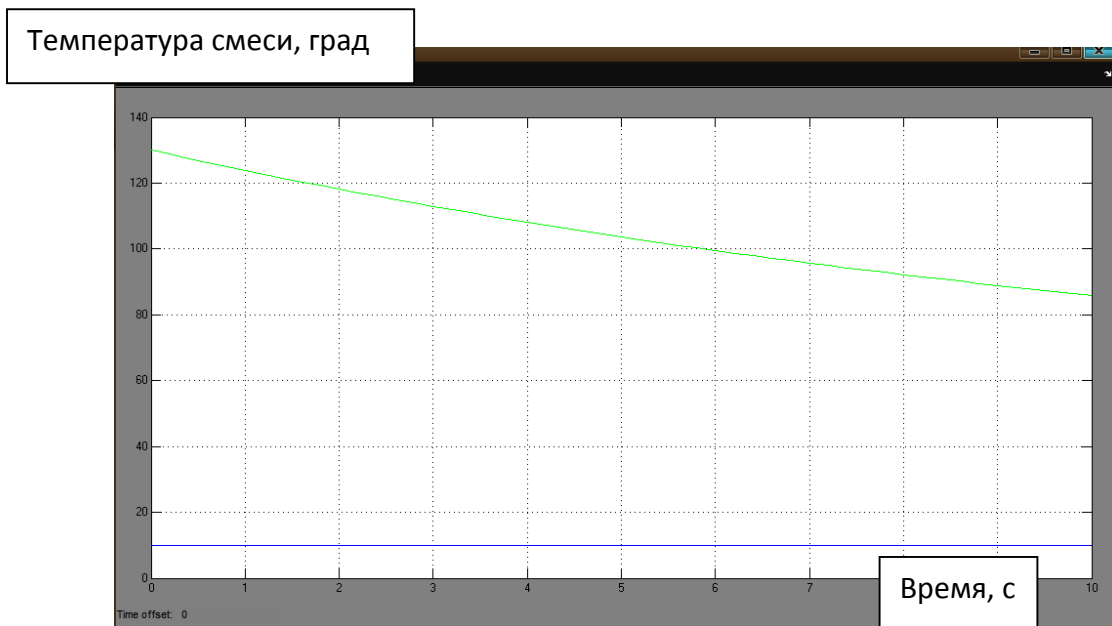


Рисунок 2.7 - Зависимость перепада температур асфальтобетонной смеси

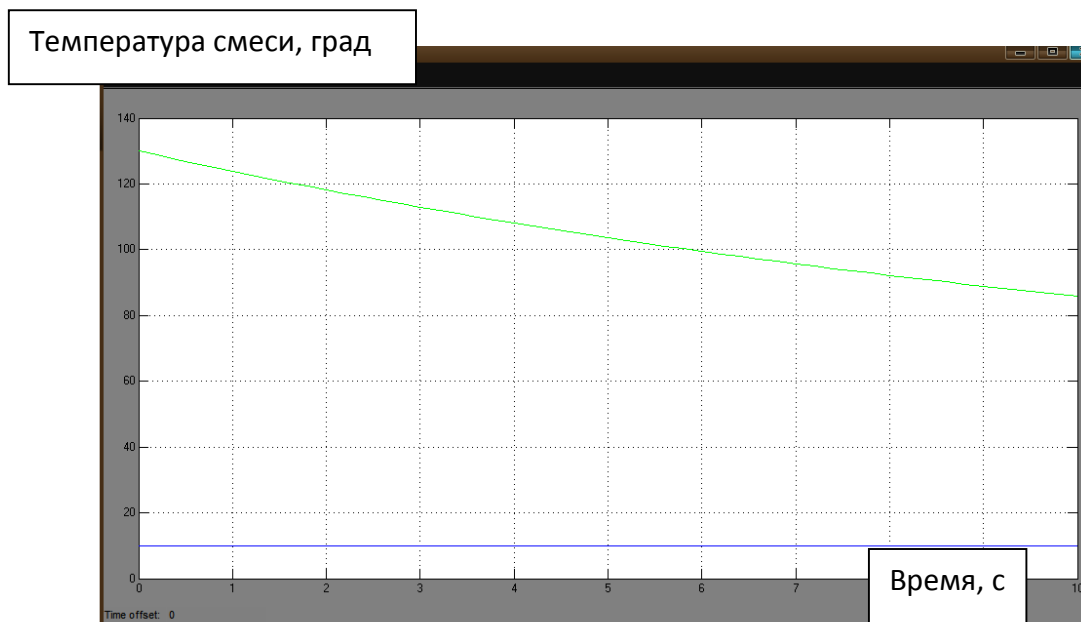


Рисунок 2.8 - Зависимость перепада температур асфальтобетонной смеси

На рисунке 2.9 приведена обобщенная зависимость интенсивности охлаждения асфальтобетонной смеси при начальной температуре смеси от 140 до 125 град. С.

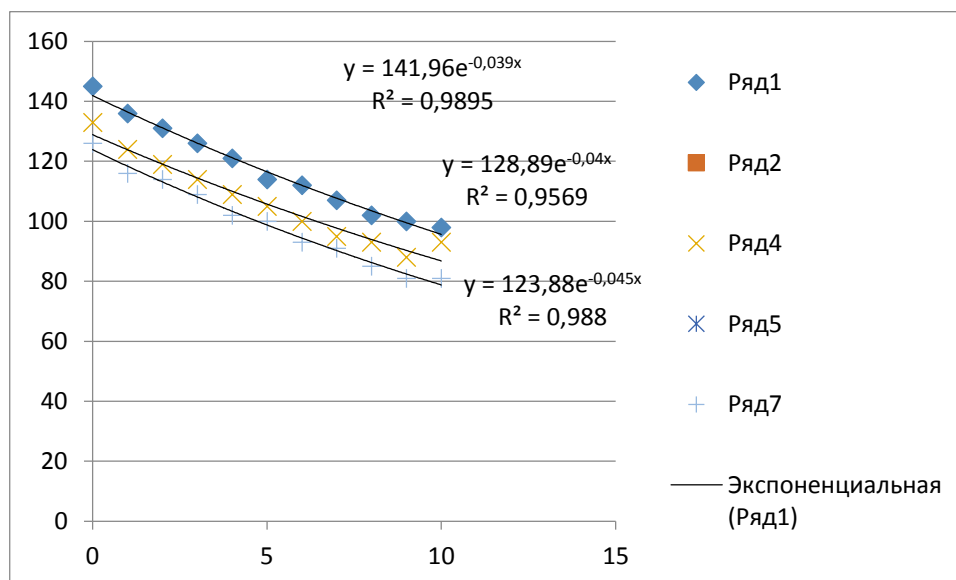


Рисунок 2.9 – Интенсивность охлаждения асфальтобетонной смеси

В течение 10 сек асфальтобетонная смесь охлаждается на 25 - 30 град. С. Процесс охлаждения описывается экспоненциальной зависимостью с достоверностью 0,95 - 0,99.

2.2 Разработка системы управления процессом укладки асфальтобетонной смеси, исключая температурную сегрегацию

При укладке асфальтобетонной смеси происходит ее остывание, что вызывает температурную сегрегацию. Снижение уровня температурной сегрегации и улучшение температурной однородности асфальтобетонной смеси достигается за счет повышения эффективности автоматического управления асфальтоукладчика путем применения датчиков температуры (рисунок 2.10) в бункере и вдоль продольной оси винтового шнека, обеспечивающего контроль температуры необходимого количества асфальтобетонной смеси перед уплотнением рабочим органом асфальтоукладчика и изменяющего подачу асфальтобетонной смеси для уплотняющего рабочего органа асфальтоукладчика.

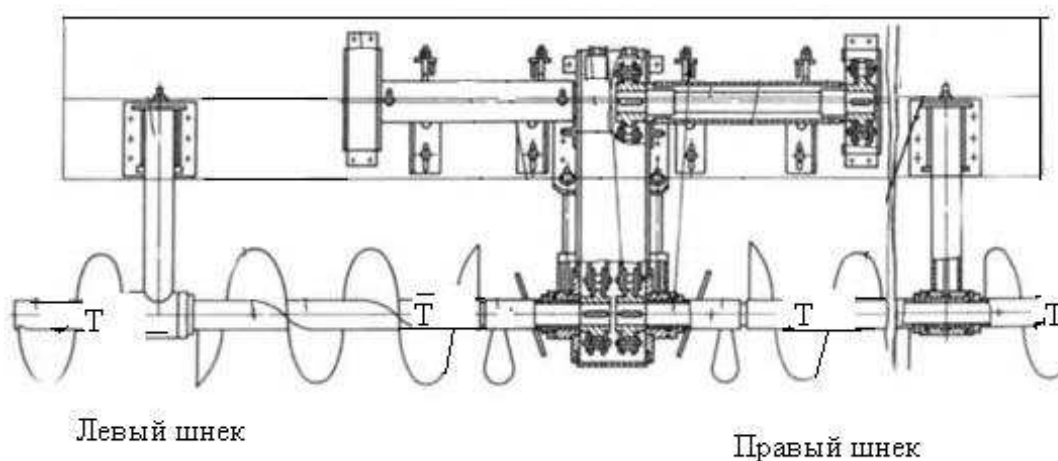


Рисунок 2.10 - Схема винтового распределителя с установленными в его тело датчиками температуры (T)

Для этого требуется автоматическое управление режимами работы асфальтоукладчика путем повышения эффективности перемешивания асфальтобетонной смеси при распределении ее вдоль дороги винтовым распределителем и изменения скорости движения машины.

На рисунке 2.11 приведена принципиальная схема расположения блоков системы автоматического управления винтового шнека асфальтоукладчика. Система автоматического управления винтового шнека асфальтоукладчика, установлена на асфальтоукладчике с трамбуемыми брусками и содержит датчик углового положения 1, имеющий индикатор ошибки и переключатели задатчика стабилизируемого угла, датчик высотного положения 2 с индикатором ошибки, тензометрический преобразователь усилия 3, датчик температуры в накопительном бункере 4, датчик температуры вдоль продольной оси винтового шнека 5, блок управления 6 и дискретные гидравлические приводы 7. Датчик углового положения 1 вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный величине отклонения рабочего органа асфальтоукладчика от гравитационной вертикали.

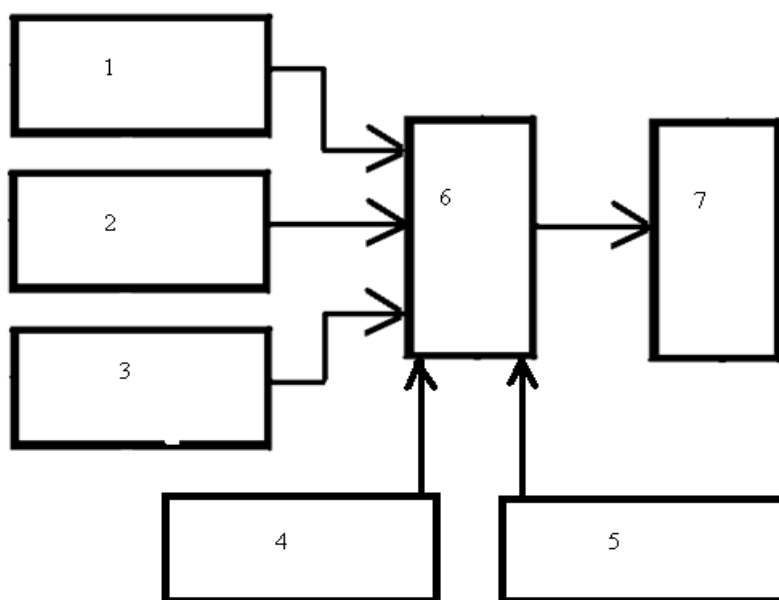


Рисунок 2.11 - Принципиальная схема расположения блоков системы автоматического управления винтового шнека асфальтоукладчика

Сигнал ошибки поступает с выхода датчика углового положения 1 на первый вход блока управления 6. Датчик высотного положения 2 вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный величине отклонения рабочего органа от положения, заданного копиром. Сигнал ошибки поступает с выхода датчика высотного положения 2 на второй вход блока управления 6. Тензометрический преобразователь усилия 3 вырабатывает сигнал, пропорциональный усилию в металлоконструкции трамбуемого бруса, который поступает с выхода тензометрического преобразователя усилия 3 на третий вход блока управления 6. Датчик температуры в накопительном бункере 4 вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный величине отклонения температуры асфальтобетонной смеси от заданных оптимальных значений. Сигнал ошибки поступает с выхода датчика температуры в накопительном бункере 4 на четвертый вход блока управления 6. Датчик температуры вдоль продольной оси винтового шнека 5 вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный величине отклонения температуры асфальтобетонной смеси от заданных оптимальных значений. Сигнал ошибки поступает с выхода датчика температуры вдоль продольной оси винтового шнека 5 на пятый вход блока управления 6. Блок управления 6 вырабатывает сигналы управления дискретными гидравлическими приводами 7 для сведения текущих ошибок к нулю.

Функциональная схема автоматизации процесса укладки асфальтобетонной смеси, исключая температурную сегрегацию, приведена на рисунке 2.12. Она включает ручной и автоматизированный режимы управления частотой вращения шнекового распределителя и скорости передвижения асфальтоукладчика.

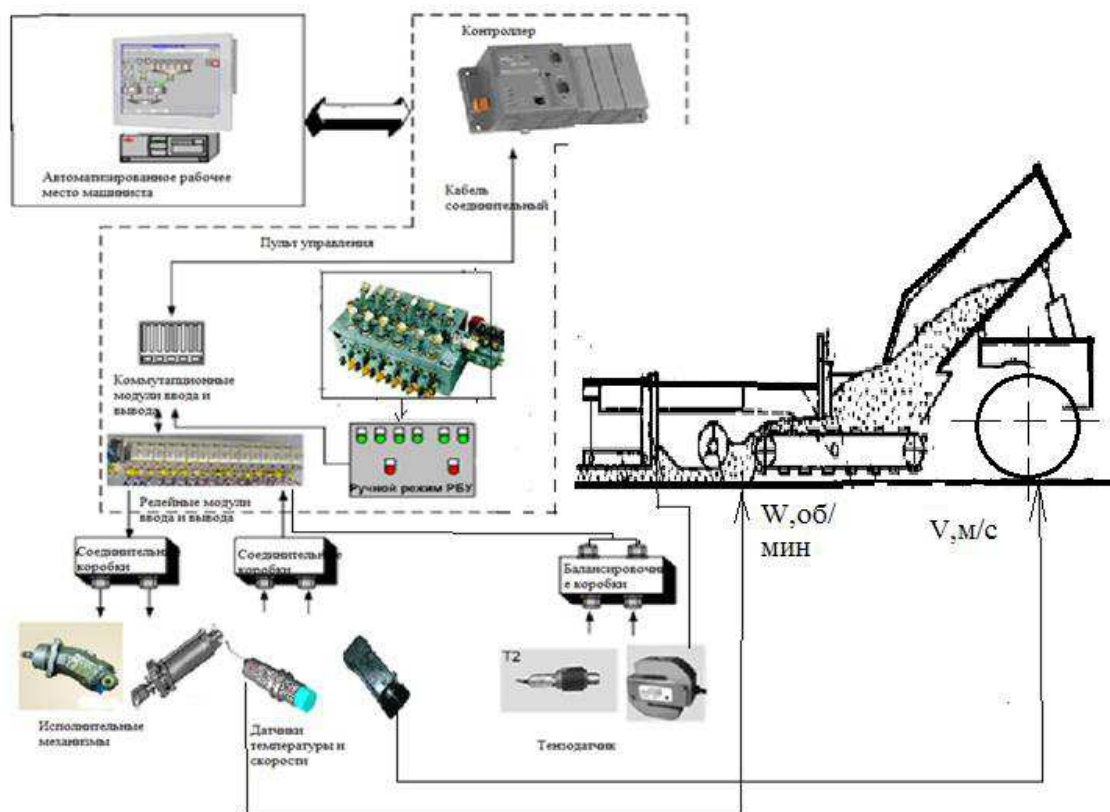


Рисунок 2.12 - Функциональная схема автоматизации процесса укладки асфальтобетонной смеси

Функциональная схема управления укладкой асфальтобетонной смеси приведена на рисунке 2.13. В ручном режиме оператор управляет работой исполнительного механизма. В автоматическом режиме управление осуществляется контроллером, на который поступают сигналы с термодатчиков, установленных в бункере асфальтоукладчика и теле шнека распределителя.

Условием автоматизированного управления укладкой асфальтобетонной смеси является разность температур, заданной установкой контроллера и рабочей температурой смеси, снятой с датчиков температуры.

Функция цели автоматизированной системы управления запишется в следующем виде:

$$T_y - /T_1; T_2; T_3; T_4; T_{B1}; T_{B2}/ = 0,$$

где T_y – температура, заданная уставкой;

$T_1; T_2; T_3; T_4$ – рабочая температура смеси, поступающая с датчиков, установленных в теле шнека распределителя;

$T_{B1}; T_{B2}$ – рабочая температура смеси, поступающая с датчиков, установленных в бункере.

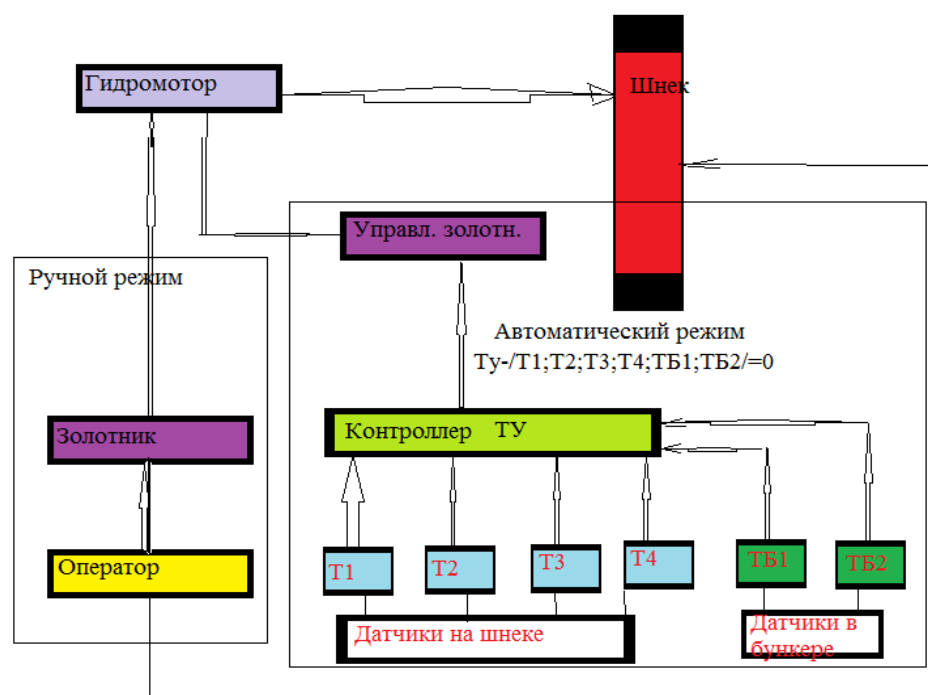


Рисунок 2.13 - Функциональная схема управления укладкой асфальтобетонной смеси

3 Результаты исследований

Целью исследований является сбор данных о параметрах системы автоматического управления технологическими процессами асфальтоукладчика, оценки статистических характеристик возмущающих воздействий и подтверждения математических моделей рабочих процессов

Задачи исследований:

- 1) разработка методики построения автоматической системы управления технологическими процессами асфальтоукладчика;
- 2) Моделирование процесса автоматической системы управления;
- 3) проведение лабораторных испытаний автоматизированной системы управления;
- 4) статистический анализ измеренных сигналов.

3.1 Методика исследования

Для измерения и автоматического регулирования температуры предназначен измеритель - регулятор микропроцессорный ТРМ148. Для ТРМ148 разработаны шесть типовых программ, предназначенных для конфигурирования прибора под определенную задачу. Типовые программы записаны в постоянную память прибора. Предусмотрена возможность создания индивидуальной конфигурации. Прибор изготавливается в нескольких вариантах исполнения, отличающихся друг от друга типом соединений с исполнительными механизмами [120].

Реализация прибора ТРМ148 обеспечивает возможность смены модификации (конфигурации, обеспечиваемой типовой программой), осуществляемой с помощью программы «Конфигуратор ТРМ148» путем записи в прибор соответствующего файла, поставляемого на компакт-диске «Диск_ТРМ148_XX» (XX – версия компакт-диска) с программным

обеспечением и документацией (РП, МП, РЭ) вместе с прибором в электронном формате. Смена модификации прибора может быть осуществлена и вручную, с помощью специального пункта меню прибора. Записанные в постоянную память прибора ТРМ148 типовые модификации упрощают конфигурирование прибора, т.к. основная часть необходимых параметров уже правильно задана в этих модификациях.

Функциональные возможности многоканального ПИД - регулятора ОВЕН ТРМ148:

- 1) линейка стандартных модификаций для измерения параметров исследуемых технологических процессов;
- 2) восемь входов и выходов для подключения датчиков измеряемых параметров;
- 3) клемник из 8-ми выходных соединений для подключения исполнительных механизмов: электродвигатели, гидромоторы;
- 4) производит вычисление функциональных зависимостей, сигнал с которых подается от датчиков измеренных величин;
- 5) обеспечение коррекции уставки в зависимости от измерений исследуемого параметра по времени;
- 6) осуществляется автоматическая настройка ПИД регуляторов;
- 7) осуществляется ручное управление выходной мощностью объекта;
- 8) встроенный интерфейс rs-485 (протокол ОВЕН)
- 9) широкие возможности конфигурирования:
 - программа быстрого старта EasyGo;
 - программа « Конфигуратор ТРМ148 » для свободного конфигурирования прибора;
 - задание параметров с лицевой панели прибора.
- 10) быстрый доступ к уставкам.

Для контроля температуры исследуемых технологических процессов объекта при промышленном использовании, применяются датчики

следующих классов: кремниевые и биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры и термоиндикаторы и другие.

Здесь приведены разнородные проводники с разным коэффициентом температурного расширения. Термоэлектродвижущая сила зависит от сопротивления проводников. Входной величиной термопары является температура асфальтобетонной смеси, выходной- термоэлектродвижущая сила.

Исследование автоматической системы управления технологическими процессами асфальтоукладчика проводилось путем:

- моделирования процесса работы автоматической системы управления;
- проведения лабораторных испытаний автоматизированной системы управления;
- экспериментальных исследований процесса укладки асфальтобетонной смеси.

Контур регулирования температуры асфальтобетонной смеси приведен на рисунке 3.1.

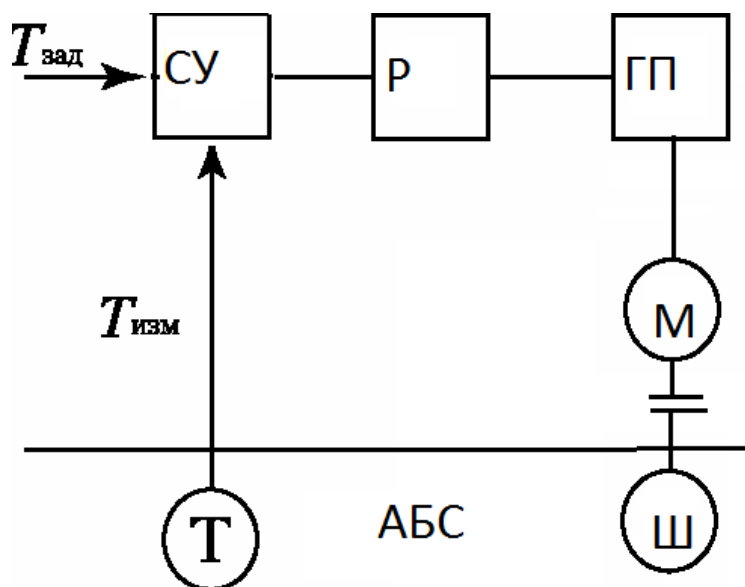


Рисунок 3.1 - Контур регулирования температуры асфальтобетонной смеси

Температура асфальтобетонной смеси измеряется датчиком (Т), далее эта величина поступает на устройство сравнения (СУ) измеренного значения

температуры ($T_{изм}$) и заданного ($T_{зад}$). В зависимости от разности между температурой уставкой и измеренным значением температуры регулятор (Р) вырабатывает сигнал, воздействующий на гидропривод (ГП) шнекового распределителя (Ш). Гидропривод регулирует частоту вращения гидромотора при котором ошибка $\varepsilon = T_{зад} - T_{изм}$ будет стремиться к нулю.

Термоэлектрический преобразователь (термопара) состоит из двух соединенных на одном из концов проводников, изготовленных из металлов, обладающих разными термо-электрическими свойствами. Соединенные концы, называемые рабочим спаем, опускают в измеряемую среду, а свободные концы термопары (*холодный спай*) подключают ко входу ТРМ12 (клеммы 10 и 11) (рисунок 3.2). Если температуры «рабочего» и «холодного спаев» различны, то термопара вырабатывает термоЭДС, которая и подается на измеритель.

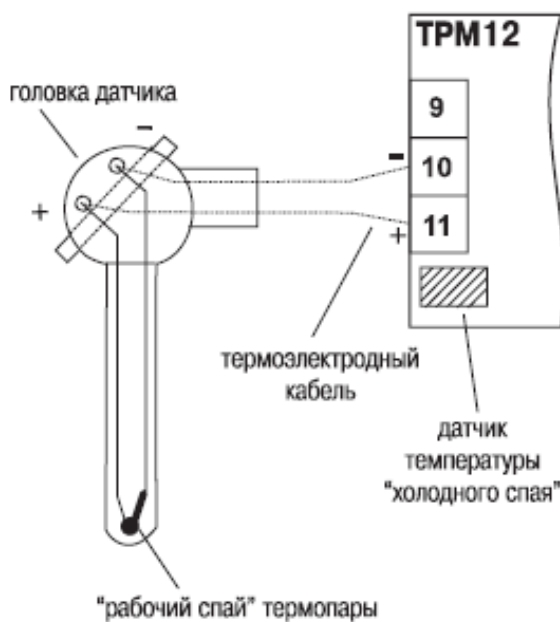


Рисунок 3.2 - Схема автоматической компенсации температуры свободных концов термопары

Микропроцессорный измеритель-регулятор ТРМ151 выполняет следующие основные функции:

- 1) измерение физических параметров объекта, контролируемых входными первичными преобразователями;
- 2) цифровая фильтрация измеренных параметров от промышленных импульсных помех;
- 3) коррекция измеренных параметров для устранения погрешностей первичных преобразователей;
- 4) вычисление значений параметров объекта по заданной формуле;
- 5) отображение результатов измерений или вычислений на встроенном светодиодном четырехразрядном цифровом индикаторе;
- 6) регулирование физической величины по ПИД или двухпозиционному закону;
- 7) реализацию коррекции регулируемой физической величины в соответствии с задаваемыми графиками изменения в зависимости как от внешних параметров, так и/или от времени;
- 8) регистрация измеренной или вычисленной физической величины;
- 9) формирование аварийного сигнала при обнаружении неисправности первичных преобразователей с отображением его причины на цифровом индикаторе;
- 10) формирование аварийного сигнала при обнаружении неисправности исполнительного механизма (контроль LBA_аварии);
- 11) отображение заданных параметров регулирования на встроенном светодиодном цифровом индикаторе.

Схемы подключения ТРМ 151 приведены на рисунке 3.3.

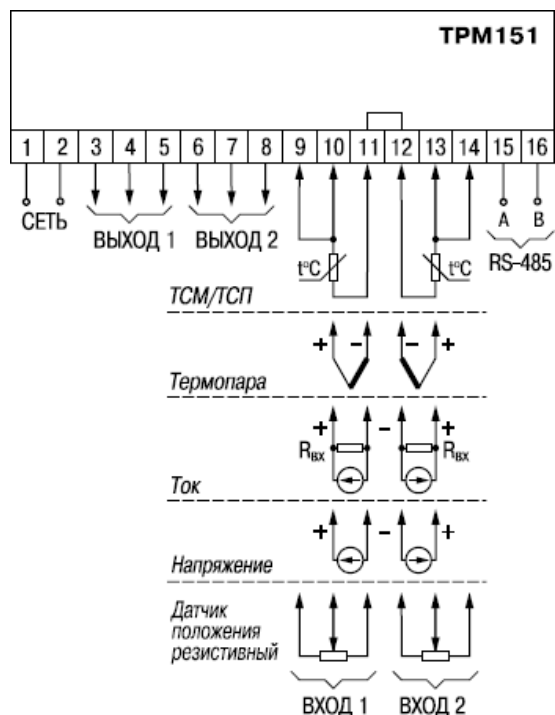


Рисунок 3.3 - Общая схема подключения регулятора ОВЕН ТРМ 151

Функциональная схема АСУ частотой вращения двигателя лабораторной установки приведена на рисунке 3.4.

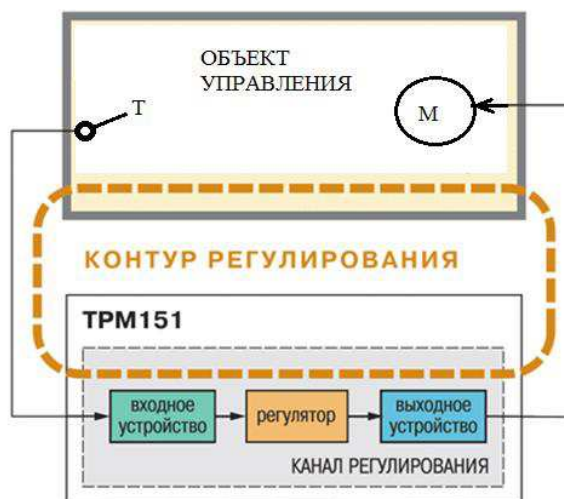


Рисунок 3.4 - Функциональная схема АСУ частотой вращения двигателя лабораторной установки: Т - датчик температуры асфальтобетонной смеси; М - двигатель установки

Канал регулирования частоты вращения двигателя включает в себя входное устройство, регулятор и выходное устройство.

Экспериментальные исследования проводились на асфальтоукладчике MARINI MF 805 (рисунок 3.5).

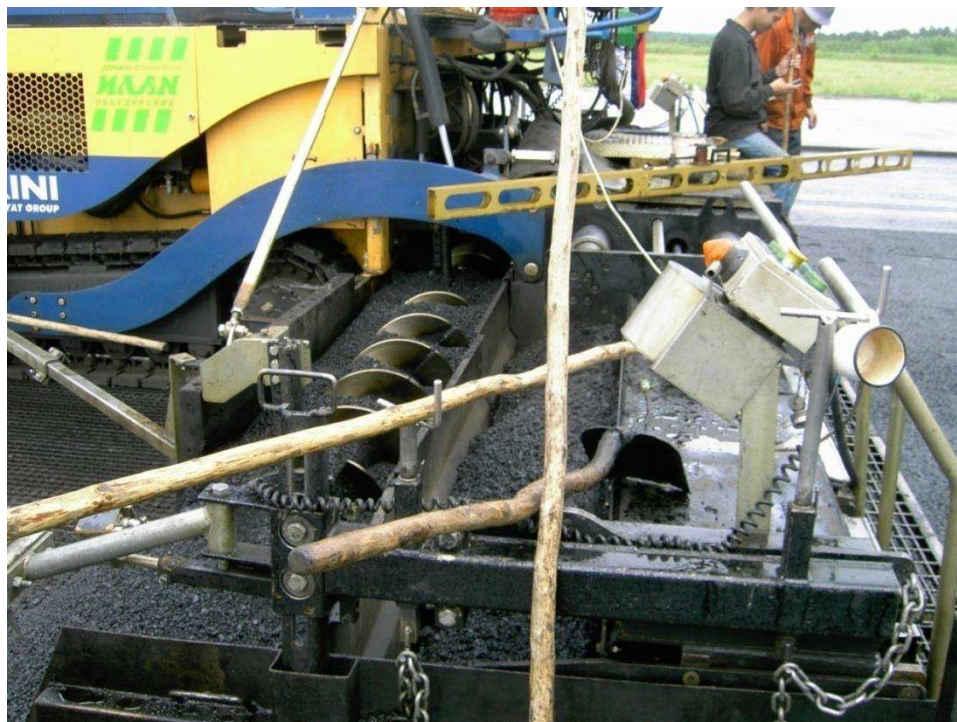


Рисунок 3.5 - Общий вид экспериментального оборудования

Оценка достоверности экспериментальных данных определяется точностью измерений, выбором числа необходимых опытов, методами обработки результатов исследований и обоснованием сделанных допущений. Оценка точности измерения каждого параметра производилась следующим образом.

Среднее арифметическое ряда наблюдений, т.е. наиболее вероятное значение многократно измеренной величины равно:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad (3.1)$$

где x_i – результат i – го наблюдения;

n – число наблюдений.

Отклонение результата отдельного наблюдения от среднего арифметического равно:

$$\Delta_i = X_i - \bar{X} \quad (3.2)$$

Среднее квадратичное отклонение погрешности (СКО):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2} \quad (3.3)$$

Среднее квадратичное отклонение результатов измерений:

$$\sigma_C = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.4)$$

Доверительное отклонение равно доверительному интервалу:

$$\Delta = \pm t_C \cdot \sigma_N, \quad (3.5)$$

где t_C – коэффициент распределения Стьюдента при заданном значении доверительной вероятности P (таблица 3.1).

Таблица 3.1 - Значения коэффициента Стьюдента

P =0,68		P =0,95		P =0,99	
n	t_C	n	t_C	n	t_C
2	2,0	2	12,7	2	63,7
3	1,3	3	4,3	3	9,9
4	1,3	4	3,2	4	5,8
5	1,2	5	2,8	5	4,6

Окончание таблицы 3.1

P =0,68		P =0,95		P =0,99	
<i>n</i>	<i>t_c</i>	<i>n</i>	<i>t_c</i>	<i>n</i>	<i>t_c</i>
6	1,2	6	2,6	6	4,0
7	1,1	7	2,4	7	3,7
8	1,1	8	2,4	8	3,5
9	1,1	9	2,3	9	3,4
10	1,1	10	2,3	10	3,3
15	1,1	15	2,1	15	3,0
20	1,1	20	2,1	20	2,9
30	1,1	30	2,0	30	2,8
100	1,0	100	2,0	100	2,6

Относительное доверительное отклонение определяется по формуле

$$\delta = \left(\frac{\Delta}{\bar{X}} \right) \cdot 100\% \quad (3.6)$$

Окончательный результат записывают в виде $X = \bar{X} \pm \Delta$.

Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению выполнялась сравнением экспериментальной функции распределения с предполагаемой теоретической. В итоге измерения физического параметра сформировался массив X_i случайной величины.

Определить в нем минимальное X_{\min} и максимальное X_{\max} значения.

3.2 Результаты исследований

Исследования процесса управления температурой регулятором ТРМ151 проводились в лабораторных условиях. Структурная схема лабораторного оборудования приведена на рисунке 3.7.

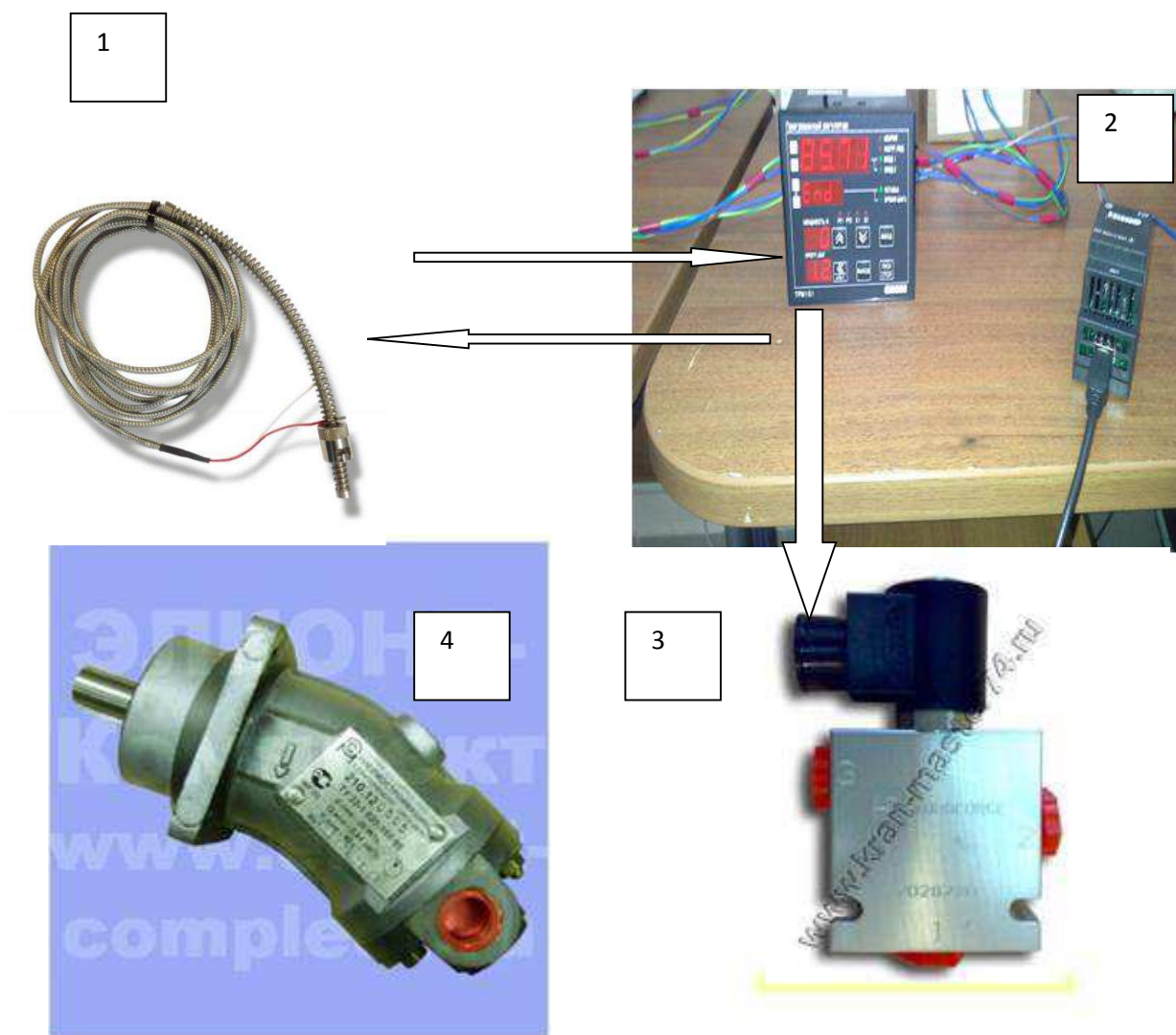


Рисунок 3.7 - Структурная схема лабораторного оборудования:

1 – датчик температуры. 2 -универсальный программный ПИД регулятор. 3 – сервозолотник. 4 - двигатель

Процесс охлаждения асфальтобетонной смеси, измеренный измерителем-регулятором ТРМ151 приведен на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 - Процесс охлаждения асфальтобетонной смеси, определенный измерителем-регулятором TRM151

Зависимость температурного режима нагревателей лабораторной установки с ПИД-регулятором изображена на рисунке 3.10.

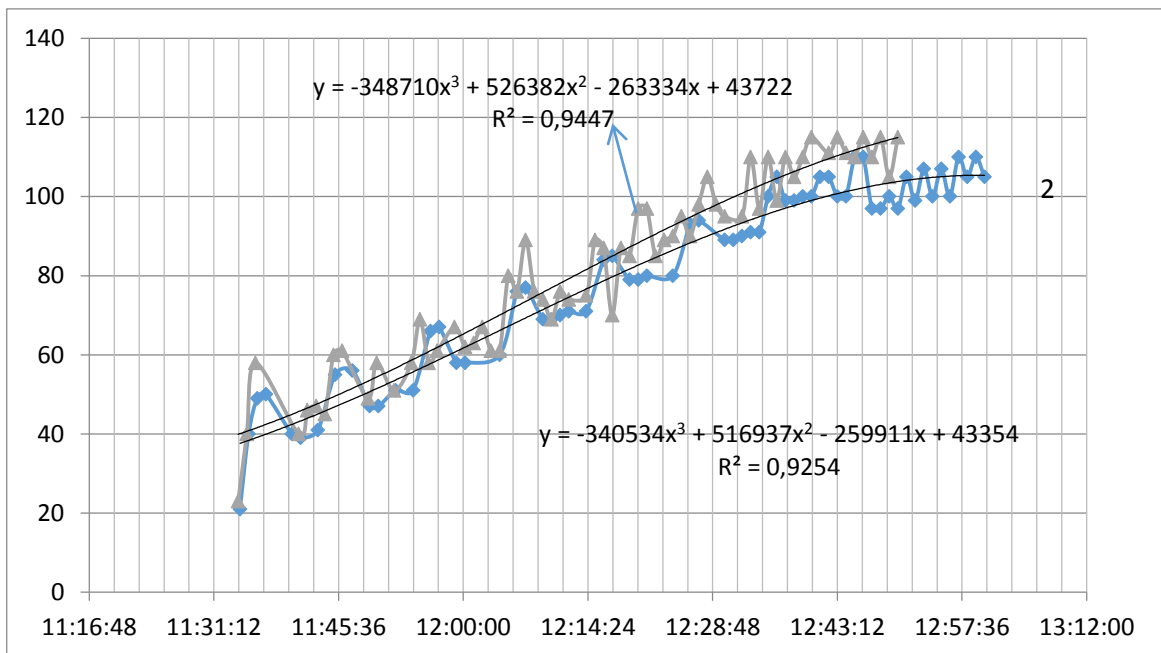


Рисунок 3.10 - Зависимости температурного режима нагревателей с ПИД регулированием

Результаты экспериментальных исследований температурной сегрегации асфальтобетонной смеси показали, что если температура «холодного пятна» всего на 14°C меньше средней температуры уложенной смеси, то после ее уплотнения в районе пятна воздушная пористость асфальтобетона на 2% превышает среднюю. При средней пористости асфальтобетона в покрытии 5% она получится в зоне «холодного пятна» больше 7%, а это приведет к преждевременному появлению локальных повреждений покрытия. Другого рода «холодные пятна» возникают от остановок укладчика в ожидании смеси или ее загрузки из самосвала. В этих случаях получается большое «холодное пятно», в пределах которого температура смеси после 20-минутной остановки укладчика может быть на $50-55^{\circ}\text{C}$ ниже температуры остальной части смеси. При температуре воздуха в тени 15°C минимальная требуемая температура уложенной смеси составляет 120°C . В пределах такого пятна с температурой $70-90^{\circ}\text{C}$ требуемая степень уплотнения смеси не может быть достигнута.

По результатам обследования дорог установлено [1], что при небольшой сегрегации воздушная пористость в её зоне примерно на 2% больше, чем в той зоне покрытия, где сегрегации нет; при среднем же уровне сегрегации пористость асфальтобетона на 4% больше, а при высоком уровне сегрегации – свыше 4%.

Из результатов испытаний образцов асфальтобетона на изгиб в интервале пористости асфальтобетона 3-13% с увеличением пористости на каждый процент прочность на растяжение уменьшается примерно на 7% [12]. Асфальтобетон с пористостью 3% имеет при температуре 5°C и длительности действия нагрузки прочность 10МПа. При тех же условиях и пористости 6% асфальтобетон будет иметь прочность 8МПа, т.е. на 20% меньше. Число повторных нагрузок, которое способен выдержать при изгибе асфальтобетон до разрушения, примерно пропорционально четвертой степени его прочности на изгиб. Срок службы до появления сетки усталостных трещин у асфальтобетона с пористостью 6% будет примерно в вдвое меньше, чем у

асфальтобетона с пористостью 3%. Были проведены исследования по изменению средней плотности уложенного слоя асфальтобетонной смеси в покрытиях с различной температурой. Для этого был выбран участок свежеложенного покрытия, где катки сделали по 4 прохода по одному следу. Измерение плотности проводилось с помощью экспресс-прибора PQI по специально разработанной методике.

Установлено, что средняя плотность уложенной асфальтобетонной смеси в точке, где температура в поверхности покрытия была 83 °С, составляет 2,44 г/см³, а в точке, где температура была 59,8 °С, средняя плотность составила 2,41 г/см³. При дальнейшем уплотнении разница в плотностях на данных точках сохраняется, что влияет на окончательный коэффициент уплотнения и на долговечность покрытия. В рассмотренном случае разница по температуре в различных точках не превышала 23 °С. При увеличении температурной неоднородности увеличивается вероятность получения недоуплотненных участков покрытия, склонных к повышенному водонасыщению, характеризующихся пониженной прочностью и сдвигоустойчивостью.

4 Реализация результатов диссертационной работы

Температурный режим асфальтобетонной смеси определяется рабочей температурой в диапазоне +120°C – 140 °C. Понижение температуры смеси ведет к появлению температурной сегрегации. Для управления процессом распределения асфальтобетонной смеси с исключением температурной сегрегации разработана система управления на базе промышленного контроллера Siemens SIMATIC S7-1200.

Предлагаемая микропроцессорная система управления (рисунок 4.1) снабжена контроллером Siemens SIMATIC S7-1200, датчиками температуры (термопары) датчиками перемещения.

Система управления работает следующим образом. Перед началом работ в задатчик контроллера устанавливается величина температуры асфальтобетонной смеси. Контроллер определяет температуру асфальтобетонной смеси и сравнивает с заданной. Если требуемый параметр не обеспечивается, из контроллера через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) поступает аналоговый сигнал на исполнительный механизм (ИМ) для корректировки воздействия на частоту вращения винта распределителя.

Так как в данной версии за основу была взята модель асфальтоукладчика MARINI MF, то для совместимости с другими типами асфальтоукладчиков и для удобства использования программы все необходимые технические характеристики вынесены в блок контроллера S7-1200.

Информация о работе АСУ отображается на экране дисплея в цифровом и графическом виде.

В интерфейсе управляющего контроллера S7-1200 отражены два режима работы: ручной и автоматический (рисунок 4.1) а также диапазон рабочих температур асфальтобетонной смеси.

Управление процессом распределения асфальтобетонной смеси может осуществляться как в ручном, так и автоматическом режимах.

Панель оператора

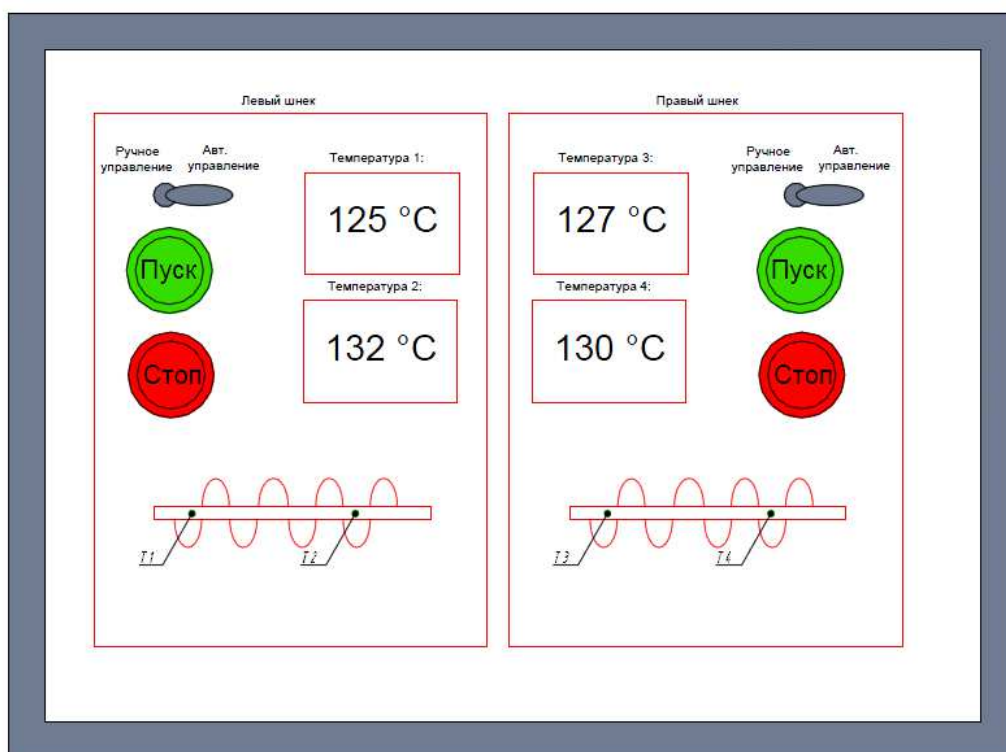


Рисунок 4.1 - Интерфейс управляющего контроллера S7-1200

Аппаратно реализованное программное обеспечение АСУ приведено на рисунке 4.2.

Программа, разработанная на основе сигналов, поступающих от термопар, обеспечивает управление процессом регулирования угловой скорости винта шнекового распределителя.

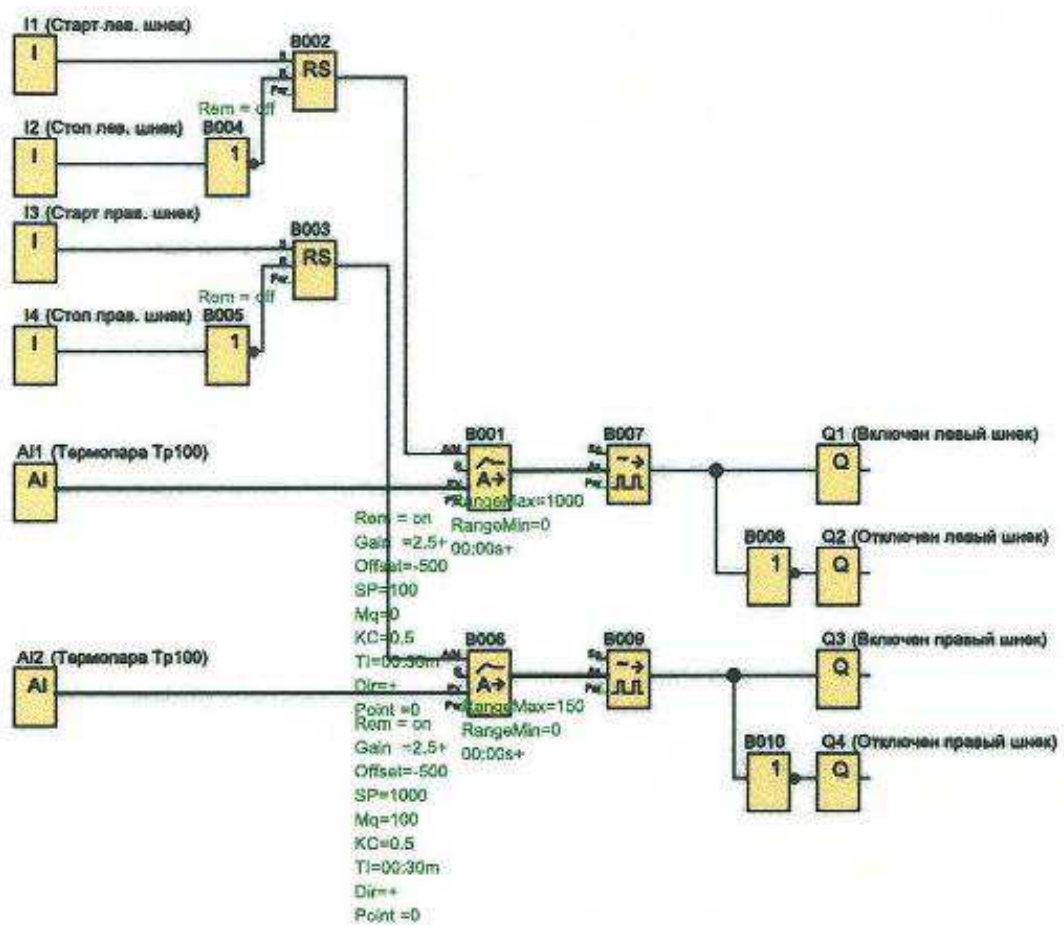


Рисунок 4.2 - Аппаратно реализованное программное обеспечение АСУ

1 - стартовая кнопка; PS - триггер; A+ термопара; Q - кнопка управления; V - генератор импульса.

5 Оценка экономической эффективности внедрения результатов работы

Результаты экспериментальных исследований по нагруженности и уплотняющей способности рабочего органа, теоретические исследования рабочего процесса уплотняющего оборудования асфальтоукладчика ДС-173 оснащенного уплотняющим оборудованием с качающимися брусьями. Получено, что в результате оптимизации параметров уплотняющего оборудования опытного образца асфальтоукладчика ДС-173, можно достичь снижения нагруженности конструкции и гидропривода более чем 20%, уменьшить затраты мощности на привод и повысить долговечность конструкции и гидропривода рабочего органа более чем на 20% без снижения уплотняющей способности асфальтоукладчика.

В качестве базового варианта выбран серийно-выпускаемый в настоящее время колесный асфальтоукладчик ДС-155.

По сравнению с серийно - выпускаемым колесным асфальтоукладчиком ДС-155 колесный асфальтоукладчик ДС-173 имеет следующие конструктивно - эксплуатационные особенности:

- увеличена ширина рабочего органа с 4,5 до 7м;
- транспортная скорость машины увеличена в 2 раза;
- увеличен полный ресурс машины с 7800 до 8100 мото.-час;
- вместимость бункера увеличена с 10 до 12т;
- улучшены удельные показатели машины;
- сокращено время на техническое обслуживание;
- максимальная толщина укладываемого слоя увеличена с 0,2 до 0,3м.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Расчет годовой эксплуатационной производительности

Наименование показателей	Условное обозначение	Единица измерения	Значение показателей		Источник данных	
			БТ	НТ	БТ	НТ
1	2	3	4	5	6	7
Масса машины	G	т	12,0	17,3	ТУ	ТУ
Ширина рабочего органа	B _{po}	м	4,5	7,0	ТУ	ТУ
Средняя наработка на отказ	T _{отк}	мото.- ч	240	300	КУ	КУ
Средний ресурс доя первого капитального ремонта	T _p	мото.- ч	9360	9720	КУ	КУ
Коэффициент готовности	K _г	-	0,9	0,94	КУ	КУ
Мощность двигателя	N _{eN}	кВт	44	77	ТУ	ТУ
Коэффициент перехода от технической производительности к эксплуатационной	K _т	-	0,52	0,52	[33] табл.36	
Продолжительность смены	t _{см}	маш.-ч.	7,53	7,53		
Коэффициент сменности	K _{см}	-	1,88	1,88		
Годовой фонд рабочего времени	T _ф	дней	220	220	[33] табл.13	
Продолжительность работы машины на объекте	T _{об}	маш.-ч.	2500	1250	[33] табл.38	
Число рабочих, осуществляющих ТО и неплановые ремонты	B _p	чел.	I	I		
Козэффициент перевода оперативного времени в общее время работы	K _{ов}	-	2,1	2,1	[33] Табл.36	
Оптовая цена капитального ремонта	Ц _{кр}	руб.	8000		Данные заказчика	
Оптовая цена машины	Ц	руб.	29400	54680	Проект завода	
Удельные затраты на первоначальную доставку техники и монтаж	ΔЦ _o	руб/т	103,2	103,2	табл.43	
Средняя тарифная ставка работы ремонту машины	C _{pз}	чел.ч.	1,0	1,0	[33] табл.36	
Тарифная ставка машиниста	C _т	руб./ч	1,4	1,4	[33] табл.3	
Козэффициент, учитывающий премии обслуживающего персонала машины	λ	-	1,35	1,35	[33] п.4.4	

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	
Коэффициент, учитывающий премии ремонтных рабочих	λ_p	-	1,30	1,30	[33] п.6.9	
Годовой расход запасных частей на текущий ремонт	C_{34P}	руб.	400	400	Данные эксплуатации	
Норма накладных расходов	H_p	-	0,21	0,21	[33] п.4.3	
Норма амортизационных отчислений на реновацию	P_a	%	12	12	[33] табл.36	
Норма плановых накоплений	$П_n$	-	0,08	0,08	[33] п.4.3	
Удельный расход топлива	$q_{ен}$	$\frac{z}{л.с.ч.}$	175	168	[33] табл.22	
Коэффициент, учитывающий изменение расхода топлива в зависимости от степени использования двигателя по мощности	K_N	-	1.13	1.13		
Коэффициент использования двигателя во времени	$K_{дв}$		0,78	0,78	[33] табл.36	
Коэффициент использования двигателя по мощности	$K_{дм}$	-	0,3	0,3	[33] табл.36	
Цена топлива, Л-02	$Ц_T$	руб/кг	0,06 8	0,068	[33] табл.21	
Коэффициент перехода от затрат на топливо к затратам на смазочные материалы	$K_{ст}$	-	0,22	0,22	[33] табл.24	
Объем гидросистемы	V_T	-	160	650	ТУ	ТУ
Объемная масса масла	O_m	кг/л	0,90 5	0,905	[33] табл.21	
Цена масла, МГ-30	$Ц_m$	руб/кг	0,29	0,29	[33] табл.21	
Коэффициент доливок	K_d	-	1,5	1,5	[33] табл.24	

Таблица 5. 2 - Ремонтный цикл асфальтоукладчика

Вид ТО и Р	Число ТО и Р в одном ремонтном цикле, α		Трудоемкость выполнения одного ТО и Р, τ, чел.-ч		Продолжительность одного ТО и Р, d _p , раб.дни		Периодичность выполнения ТО и Р, T _p , час	
	БТ	НТ	БТ	НТ	БТ	НТ	БТ	НТ
ТО-1	117	123	2	1,6	0,2.	0,2	60	60
ТО-2	29	29	4	3,5	0,8	0,8	240	250
Т	9	9	380	400	5	5	980	1000
К	1	1	600	600	13	13	9360	9720

Количество машино-часов работы техники в году определяется по формуле

$$T_z = \frac{T_\phi}{\frac{1}{t_{cm} K_{cm}} + D_p + \frac{d_n}{T_{об}}}, \quad (5.1)$$

Показатель D_p определяется по следующей формуле

$$D_p = \left[\frac{\sum_{i=1}^m (d_{pi} + d_{ni}) a_i}{T_p} + \frac{t_{отк}}{K_{cm} t_{cm} T_{отк}} \right] K_q, \quad (5.2)$$

где d_{ni} – продолжительность ожидания ремонта, доставки в ремонт и обратно;
d_{pi} – продолжительность пребывания техники в i- м ремонте или ТО, дни;
α_i – количество i-х ремонтов или ТО за межремонтный цикл.

Для определения параметров входящих в показатель D_p составим ремонтный цикл согласно таблице 5.2.

Среднее время на устранение одного отказа определяется по формуле

$$t_{отк} = \frac{T_{отк} (1 - K_\Gamma) K_{об}}{K_\Gamma}, \quad (5.3)$$

$$t'_{\text{отк}} = \frac{240(1 - 0,9)2,1}{0,9} = 56 \text{ маш. - ч / отказ}$$

$$t''_{\text{отк}} = \frac{300(1 - 0,94)2,1}{0,94} = 40,2 \text{ маш. - ч / отказ.}$$

Для НТ с оптимальными параметрами:

$$t'''_{\text{отк}} = \frac{300(1 - 0,97)2,1}{0,97} = 19,48 \text{ маш. - ч / отказ}$$

Тогда показатель D_p после определения среднего времени на устранение одного отказа примет следующие значения:

$$D'_p = \left[\frac{0,2 \cdot 117 + 0,8 \cdot 29 + (5 + 10) \cdot 9}{9360} + \frac{56}{1,88 \cdot 7,53 \cdot 240} \right] \cdot 0,3 = 1,076 \cdot 10^{-2} \frac{\text{дни}}{\text{маш. - ч}}$$

$$D''_p = \left[\frac{0,2 \cdot 117 + 0,8 \cdot 29 + (5 + 10) \cdot 9}{9720} + \frac{40,2}{1,88 \cdot 7,53 \cdot 300} \right] \cdot 0,3 = 8,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{дни}}{\text{маш. - ч}}$$

$$D'''_p = \left[\frac{0,2 \cdot 117 + 0,8 \cdot 29 + (5 + 10) \cdot 9}{9720} + \frac{19,48}{1,88 \cdot 7,53 \cdot 300} \right] \cdot 0,3 = 7,01 \cdot 10^{-3} \frac{\text{дни}}{\text{маш. - ч}}$$

Отсюда количество машино-часов работы техники в году:

$$T'_r = \frac{220}{\frac{1}{1,88 \cdot 7,53} + 1,076 \cdot 10^{-2} + \frac{2}{2500}} = 2678 \text{ маш. - ч}$$

$$T_r'' = \frac{220}{\frac{1}{1,88 \cdot 7,53} + 8,5 \cdot 10^{-3} + \frac{2}{1250}} = 2726 \text{ маш.} - \text{ч}$$

$$T_r''' = \frac{220}{\frac{1}{1,88 \cdot 7,53} + 7,01 \cdot 10^{-3} + \frac{2}{1250}} = 2777 \text{ маш.} - \text{ч}$$

Годовая эксплуатационная производительность БТ: $V'' = 184434$ т/год определена и согласована с заказчиком на стадии приемочных испытаний и постановки на серийное производство асфальтоукладчика ДС-155.

Годовая эксплуатационная производительность НТ определяется по формуле

$$V'' = V' \cdot \beta, \quad (5.4)$$

где β – коэффициент измерения производительности НТ по сравнению с БТ.

Коэффициент β определяется по формуле

$$\beta = \beta_0 \cdot \beta_{\text{ТГ}}, \quad (5.5)$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий изменение часовой производительности;
 $\beta_{\text{ТГ}}$ – коэффициент, учитывающий изменение количества часов работы в год.

В связи с тем, что технология выполнения работ не изменяется и асфальтоукладчик ДС-173 укладывает дорожное покрытие шириной 7м в два раза быстрее коэффициент $\beta_0 = 2$.

$$\beta = \beta_0 \cdot \beta_{TR} = 2 \cdot \frac{T''}{T'_r} = 2 \cdot \frac{2726}{2678} = 2,03$$

$$B'' = 184434 \cdot 2,03 = 375480 \frac{T}{год}$$

$$B''' = B'' \frac{T'''}{T''_r} = 375480 \cdot \frac{2777}{2726} = 382505 \frac{T}{год}$$

Расчет годовых текущих расходов потребителя без отчислений на реновацию:

Годовые текущие расходы на капитальный ремонт определяется по формуле

$$C_{KP} = \frac{T_r K_{ц} Ц_{KP}}{T_p}, \quad (5.6)$$

$$C'_{KP} = \frac{2678 \cdot 0,3}{9360} \cdot 8000 = 687 \text{ руб}$$

$$C''_{KP} = \frac{2726 \cdot 0,3}{9720} \cdot 8000 \cdot \frac{54680}{29400} = 1252 \text{ руб}$$

$$C'''_{KP} = \frac{2777 \cdot 0,3}{9720} \cdot 8000 \cdot \frac{54680}{29400} = 1275 \text{ руб}$$

Годовые текущие расходы на зарплату рабочих, занятых управлением машиной, определяются по формуле

$$C_3 = K_p \lambda \cdot K_{дон} T_r \sum_{i=1}^B C_{Ti}, \quad (5.7)$$

где $K_{дон} = 1,2 - \frac{1,6}{K_{CM} t_{CM}} = 1,09$.

Тогда:

$$C'_3 = 1,35 \cdot 1,35 \cdot 1,09 \cdot 2678 \cdot 1,4 = 7448 \text{руб};$$

$$C''_3 = 1,35 \cdot 1,35 \cdot 1,09 \cdot 2726 \cdot 1,4 = 7581 \text{руб};$$

$$C'''_3 = 1,35 \cdot 1,35 \cdot 1,09 \cdot 2777 \cdot 1,4 = 7723 \text{руб}.$$

Годовые текущие расходы на ТО, ТР и неплановые ремонты определяются по формуле

$$C_P = C_{P3} K_P \lambda_P \left[T_\Gamma K_\Gamma \left(\frac{\sum a_i r_i}{T_P} + \frac{t_{OTK} B_P}{T_{OTK}} \right) \right] + 1,2 C_{3AP}, \quad (5.8)$$

$$C'_P = 1200 \text{руб};$$

$$C''_P = 1213 \text{руб};$$

$$C'''_P = 1226 \text{руб}.$$

Годовые текущие расходы на топливо определяются по формуле:

$$C_{\text{ЭТ}} = C_T W_T T_\Gamma, \quad (5.9)$$

где C_T – цена топлива Л-02, согласно прейскуранту 04-02 «Оптовые цены промышленности на нефтепродукты», М., 1980, составляет 0,068 руб/кг;

W_T – часовой расход топлива, кг/ч.

Часовой расход топлива W_T определяется по формуле

$$W_T = 1,03 \cdot 10^{-3} N_{eN} q_N K_N K_{\text{об}} K_{\text{дм}}, \quad (5.10)$$

$$W'_T = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 175 \cdot 1,13 \cdot 0,78 \cdot 0,3 = 2,86 \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

$$W''_T = 1,03 \cdot 10^{-3} \cdot 105 \cdot 168 \cdot 1,13 \cdot 0,78 \cdot 0,3 = 4,80 \frac{\text{кг}}{\text{ч}},$$

$$C'_{ЭТ} = 0,068 \cdot 2,86 \cdot 2678 = 521 \text{ руб.},$$

$$C''_{ЭТ} = 0,068 \cdot 4,8 \cdot 2726 = 890 \text{ руб.},$$

$$C'''_{ЭТ} = 0,068 \cdot 4,8 \cdot 2777 = 906 \text{ руб.}$$

Годовые текущие расходы на смазочные материалы определяются по формуле

$$C_{СМ} = C_{ЭТ} K_{СТ}, \quad (5.11)$$

$$C'_{СМ} = 521 \cdot 0,22 = 115 \text{ руб}$$

$$C''_{СМ} = 890 \cdot 0,22 = 196 \text{ руб}$$

$$C'''_{СМ} = 906 \cdot 0,22 = 199 \text{ руб}$$

Годовые текущие расходы на масло для гидросистемы определяются по формуле

$$C_{ГМ} = V_{Г} O_{М} Ц_{М} K_q \frac{T_{Г}}{T_{М}}, \quad (5.12)$$

$$C'_{ГМ} = 160 \cdot 0,905 \cdot 0,29 \cdot 1,5 \cdot 2678 / 5333 = 32 \text{ руб.};$$

$$C''_{ГМ} = 650 \cdot 0,905 \cdot 0,29 \cdot 1,5 \cdot 2726 / 5555 = 126 \text{ руб.};$$

$$C'''_{ГМ} = 650 \cdot 0,905 \cdot 0,29 \cdot 1,5 \cdot 2777 / 5555 = 128 \text{ руб.}$$

Годовые текущие расходы на перебазировки техники с объекта на объект определяются следующим образом:

$$C_{нб} = 0,06(C_{КР} + C_3 + C_P + C_{ЭТ} + C_{СМ} + C_{ГМ}), \quad (5.13)$$

$$C'_{нб} = (687 + 7448 + 1200 + 521 + 115 + 32)0,06 = 600 \text{ руб.};$$

$$C''_{нб} = (1252 + 7581 + 1213 + 890 + 196 + 126)0,06 = 684 \text{ руб}$$

$$C_{нб}''' = (1275 + 7723 + 1226 + 906 + 199 + 128)0,06 = 687 \text{ руб.}$$

Годовые текущие расходы потребителя определяются по формуле

$$C = (C_P + C_{KP} + C_3 + C_{ЭГ} + C_{СМ} + C_{ГМ} + C_{нб}) (1 + H_P), \quad (5.14)$$

где H_P – норма накладных расходов, связанных с эксплуатацией асфальтоукладчика.

Тогда:

$$C' = (687 + 7448 + 1200 + 521 + 115 + 26 + 600)(1 + 0,21) = 12822 \text{ руб}$$

$$C'' = (1252 + 7581 + 1213 + 890 + 196 + 126 + 684)(1 + 0,21) = 14628 \text{ руб}$$

$$C''' = (1275 + 7723 + 1226 + 906 + 199 + 128 + 687)(1 + 0,21) = 14694 \text{ руб}$$

Расчет полных годовых текущих расходов с учетом отчислений на реновацию:

$$C_r = C + \frac{K \cdot P_a}{100}, \quad (5.15)$$

Балансовая стоимость техники:

$$K = Ц_0 + \Delta Ц_0 G, \quad (5.16)$$

$$K' = 29400 + 103,2 \cdot 12 = 30638 \text{ руб}$$

$$K'' = 54680 + 103,2 \cdot 17,3 = 56465 \text{ руб.}$$

Тогда:

$$C'_r = 12822 + 30638 + 12/100 = 16499 \text{ руб.},$$

$$C''_r = 14628 + 56465 + 12/100 = 21404 \text{ руб.},$$

$$C'''_r = 14694 + 56465 + 12/100 = 21469 \text{ руб.}.$$

Стоимостная оценка результата:

$$P_r = C'_r \frac{B''}{B'(1 + \Pi_H)}, \quad (5.17)$$

$$P_r = 16499 \cdot \frac{375480}{184434} (1 + 0,08) = 36277 \text{ руб.},$$

$$P'_r = 21404 \cdot \frac{382505}{375480} (1 + 0,08) = 23549 \text{ руб.}.$$

Хозрасчетный экономический эффект от одной машины за год работы:

$$\mathcal{E}_1 = P_r - C''_r, \quad (5.18)$$

$$\mathcal{E}_1 = 36277 - 21404 = 14873 \text{ руб.}$$

Для НТ с оптимальными параметрами уплотняющего оборудования:

$$\mathcal{E}'_1 = 23549 - 21469 = 2080 \text{ руб.}$$

Экономический эффект на одну машину за срок ее службы:

$$\mathcal{E}_2 = \frac{\mathcal{E}_1}{P_a + E} = \frac{14873}{0,12 + 0,1} = 67605 \text{ руб.},$$

$$\mathcal{E}'_2 = \frac{2080}{0,12 + 0,1} = 9455 \text{ руб.}$$

Исходя из этого можно сделать вывод о том, что ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составляет 765 273,60 (семьсот шестьдесят пять тысяч двести семьдесят три) рубля 60 копеек на одну машину в год.

Основные результаты расчета ожидаемой экономической эффективности внедрения результатов работы представлены в таблице 5.3.

Таблица 5. 3 - Основные результаты расчета ожидаемой экономической эффективности внедрения результатов работы

Наименование показателей	Условное обозначение	Единица измерения	Значение показателей		
			БТ	НТ	НТ с оптимальными параметрами
Капитальные затраты	К	руб.	30638	56465	56465
Годовая эксплуатационная производительность	В	т/год	184434	375480	382505
Годовые текущие расходы потребителя	С	руб.	12822	14628	14694
Хозяйственный экономический эффект на одну машину в год	Э ₁	руб.	-	14873	+765273,6

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Впервые поставлены и решены имитационные модели процесса охлаждения асфальтобетонной смеси в зависимости от температуры окружающего воздуха и системы автоматического управления гидроприводом винта шнекового распределителя.

2) Выявлено, что для предотвращения сегрегации асфальтобетонной смеси требуется регулировать подачу асфальтобетонной смеси к уплотняющему рабочему органу с учетом применения датчика температуры вдоль продольной оси винтового шнека.

3) Разработан управляющий модуль температурным состоянием асфальтобетонной смеси на основе измерителя - регулятора ТРМ 151 фирмы «Овен».

4) Ожидаемый экономический эффект от внедрения результатов исследования по расчетам составляет семьсот шестьдесят пять тысяч двести семьдесят три тысячи шестьдесят копеек на одну машину в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

- 1 Базилевич, А. Л. И. Температурная сегрегация асфальтобетонных смесей при строительстве дорожных покрытий [Электронный ресурс] / А. Л. Базилевич. – Режим доступа: <http://lib.8level.ru/lib/open/book/234>.
- 2 Беляев, К.В. Модель процесса уплотнения асфальтобетонной смеси / К.В. Беляев // Машины и процессы в строительстве . – СибАДИ; Омск. 2002. – №4. – С. 52-57.
- 3 Блейз, Е.С. Следящие приводы. / Е.С. Блейз, Ю.А. Данилов, В.Ф. Казмиренко [и др.] ; под ред. Б.К.Чемоданова, в двух книгах. – М.: Энергия, 1976. –141с.
- 4 Боровин, Г.К. Математическое моделирование систем управления шагающих машин / Г.К. Боровин, А.В. Костюк //Тез. докл. Научно-техн. конф. "Гидромашины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика". – М.: МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1999.
- 5 Войшвилло, В.В. Математическая модель гидрораспределителя с пропорциональным управлением / В.В Войшвилло // Вестник НТУ ХПИ, – 2001. – Вып. 129. – Ч. 2.– 408 с.
- 6 Волынский, В. И. Создание и внедрение цифровых систем управления ГНУ / В. И. Волынский, Г. Л. Кейданский, А. В. Мурдачель // Вопросы комплексной автоматизации технологических процессов прокатного производства: Сборник научных трудов – К.:КИА, 1988.
- 7 Гольнев, Д.М. Современные информационные технологии в автоматизации производства асфальтобетона / Д.М. Гольнев., О.Ю. Милосердии, С.В Римкевич, Д.Н. Суворов // Материалы Международного конгресса "Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии", Вестник БГТУ. Часть 3. №6. – Белгород, 2003. – С. 134–136.
- 8 Гультяев, А.К. Визуальное моделирование в среде MATLAB: учебный курс / А.К. Гультяев. – СПб: Питер, 2000. – 432.
- 9 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.

10 Доценко, А.И. Анализ влияния процессов укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси на качество готового покрытия автомобильных дорог / А.И. Доценко // Материалы научно-технической конференции МИКХиС «Актуальные проблемы совершенствования машин и оборудования строительного и коммунального комплекса». – М., МИКХиС, 2005.

11 Доценко, А.И. Прибор экспресс-контроля плотности строительных материалов и методика его применения / А.И. Доценко, Я.Р. Буренюк – М.: Строительные и дорожные машины – 1995. – № 5.

12 Емельянов, Р.Т. Управление динамическими свойствами систем безопасности грузоподъемного оборудования / Р.Т. Емельянов. Новосибирск: – НГУ, 2002. – 149с.

13 Емельянов, Р.Т.. Моделирование систем управления машин дорожно-строительного комплекса. / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. Климов, Д.И. Сорокин // Вестник СибГАУ имени академика М.Ф. Решетнева. – 2009. – Выпуск 3 (24). – С. 124–128.

14 Емельянов, Р.Т. Исследование процесса уплотнения асфальтобетонной смеси по ширине укладки. / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. Климов // Строительные и дорожные машины. – М.: Издательство технической литературы «СДМ-Пресс», 2009. – № 7. – С. 12–16.

15 Инструкция по определению экономической эффективности новых строительных, дорожных, мелиоративных машин, противопожарного оборудования, лифтов, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1978. – 252 с.

16 Казмиренко, В.Ф. Электрогидравлические мехатронные модули движения: основы теории и системное проектирование / В.Ф. Казмиренко. – М.: Радио и связь, 2001. – 232 с.

17 Карпов, В.С. Адаптивные регуляторы состояния с частотным разделением каналов управления и самонастройки для объектов с

запаздыванием / В.С. Карпов, В.М. Мазуров // Теория и системы управления, 1995, №1, – С. 168–176.

18Клиначёв, Н. В. Моделирование систем в программе / Н.В. Клиначёв VisSim Справочная система [Электронный ресурс] 2001. (877 КБ) на русском языке. – Режим доступа: <http://vissim.nm.ru/vsmhlpru.zip>.

19Контроль качества асфальтобетона [Электронный ресурс]: ООО «Стромрост», – Режим доступа: <http://www.stromros.ru/penobeton/070030050.htm>

20Костельов, М.П. Практические проблемы устройства асфальтобетонных покрытий с высокой ровностью / М.П. Костельов. – Дорожная Техника, 2003, 38-43с..

21Куленко, М.С. Исследования применения нечетких регуляторов в системах управления технологическими процессами / М.С Куленко., С.В Буренин. – «Вестник ИГЭУ» Вып. 2. 2010 г.

22Мазуров, В.М. Адаптивный ПИД-регулятор с частотным разделением каналов управления и самонастройки / В.М. Мазуров, В.В. Кондратьев // Приборы и системы управления. – 1995 – №1. – С. 33–35.

23Методы контроля качества уплотнения асфальтобетона. – Режим доступа: <http://www.stroit.ru/library/Library/control/index.html>

24Милосердии, О.Ю. Автоматизация лаборатории асфальтобетонного завода : автореф. канд. дис. : – М.: МАДИ, 2004 г.

25Пермяков, В.Б. Учёт изменяющихся свойств асфальтобетонных смесей при их уплотнении / В.Б. Пермяков, К.В. Беляев // Машины и процессы в строительстве // СибАДИ. – Омск, 2004. – Вып. №5 . – С.33–42.

26Попов, Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления / Е.П. Попов. – М.: Наука. 1989. – 304 с.

27 Потемкин, В.Г. Инструментальные средства MATLAB 5.x" / В.Г. Потемкин. – М.: ДИАЛОГ, – МИФИ, 2000. – 336с.

28Прокопьев, А.П. Исследование уплотняющего оборудования асфальтоукладчика / А.П. Прокопьев // Известия вузов. Строительство, 1994. №4.

29Прокопьев, А.П. Система контроля степени уплотнения асфальтоукладчика / А.П. Прокопьев // Красноярск: Вестник КрасГАСА, 1999.

30Радовский, Б.С. Технология укладки асфальтобетона, исключая сегрегацию. – Режим доступа: [bavcompany.ru](http://bavcompany.ru/sale/catalogue/---weiler/) sale/catalogue/---weiler/

31Система управления положением рабочего органа асфальтоукладчика. – Режим доступа: <http://owen2.testqb.ru/text/34892895>

32Спицын, А.В. Высококачественная адаптивная система управления с ПИ-регулятором / А.В. Спицын, В.М. Мазуров // “Изв. ТулГУ”. Сер. “Выч. техника. Автоматика. Управление.” – Т. 1, Вып. 2. Автоматика – Тула: ТулГУ, 1997. – С. 11–17.

33Степанченко, И.В. Имитационное моделирование дискретных систем управления с информационным запаздыванием / И.В. Степанченко // Математика. Компьютер. Образование. Вып. 8. Часть II. Сб. науч. тр. / Под редакцией Г.Ю. Ризниченко. – М.: Прогресс-Традиция, 2001. – С. 523-528.

34Узунов, А.В. Особенности построения компьютерных моделей агрегатов гидравлических и пневматических систем / А.В. Узунов // Киев. Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. 2002. –Т.2, №42. – С.88 – 91.

35Федосов, Б.Т. О построении области устойчивости линейной системы по некоторому параметру стандартными средствами программ математического моделирования [Электронный ресурс] /Б.Т. Федосов, Н.В. Клиначев // 2002 г. – Режим доступа: http://vissim.nm.ru/d_region.html

36Черных, И.В. SIMULINK / И.В Черных. – М.: Диалог-МИФИ. 2004.– 491с.

37Шестопалов, А. А. Интеллектуальные технологии устройства асфальтобетонных дорожных покрытий. /А.А.Шестопалов // «СтройПРОФИль». 2006. № 4-06.

38Zigler J.C. and Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers. A

39Ottino J. M., D. V. Khakhar. Fundamental research in heaping, mixing, and segregation of granular materials: challenges and perspectives. *Powder Technology*. Vol. 121 (2000), 117-122.

40Knight J., H. Jaeger, S. Nagel. Vibration-induced size separation in granular media: The convection connection. *Physical Review Letters*, Vol. 70(1993), 3728-3731.

41Shinbrot T. The Brazil Nut effect — in reverse. *Nature*, Vol. 429 (2004), 352-353.

42Hong D. C., P. V. Quinn, S. Luding. Reverse Brazil Nut Problem: Competition between Percolation and Condensation. *Physical Review Letters*. Vol. 86 (2001), 3423-3426.

43Jain N., J. M. Ottino, K. M. Lueptow. Regimes of segregation and mixing in combined size and density granular systems: an experimental study. *Granular Matter* (2005), Vol. 7, 69- 81.

44Knight J., H. Jaeger, S. Nagel. Vibration-induced size separation in granular media: The convection connection. *Physical Review Letters*, Vol. 70 (1993)

45Shinbrot T. The Brazil Nut effect - in reverse. *Nature*, Vol. 429 (2004), 352-353.

46Burtally N., P. J. King, M.R. Swift. Spontaneous air-driven separation in vertically vibrated fine granular mixtures. *Science*, Vol. 295 (2002).

47Fournier Z. et al. Mechanical properties of wet granular materials. *Journal of Physics: Condensed Matter*. 17 (2005), 477–502.

48The Asphalt Handbook. Manual Series MS-4, Asphalt Institute, 1996.

49Brown, R., R. Mallick, J. Haddock, J. Bukovski. Performance of stone mastic asphalt (SMA) in the United States. NCAT Report 97-1, 1997.

50Read S.A. Construction related temperature differential damage in asphalt concrete pavements. Master's Thesis, University of Washington, Seattle, WA, 1996.

51Phillips L., K. Willoughby, J. Mahoney. Infrared thermography revolutionizes hot mix asphalt paving. *InfraMation*, 2003.

52 Программируемые контроллеры Simatic S7-1200. – Режим доступа:
http://digitalson.ru/siemens_controllers/programmable_controllers_simatic_s7_1200.php

53 Измеритель регулятор микропроцессорный. – Режим доступа:
https://www.priborika.ru/katalog/kontrol/to/trm148_rp.pdf


54 Датчики температуры. – Режим доступа:
http://www.sensor.ru/articles/299/element_1110.html

55 Индикаторная система управления. – Режим доступа:
<http://mk.rusgeocom.ru/catalog/technics-control/asfalt/2d-system-five-and-smoothtrac.html>

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-строительный институт
Кафедра: «Строительные материалы и технологии строительства»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 И.Г.Енджиевская

« 09 » 07 2020г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование рабочего процесса асфальтоукладчика при низких температурах»

08.04.01 «Строительство»

08.04.01.07 «Комплексная механизация и автоматизация строительства»

Научный
руководитель



канд. техн. наук, доцент

Е.С. Турышева

Выпускник

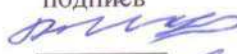

подпись

СФ18-07М
номер гр., зачетной книжки

А.А. Персиянова

И.О. Фамилия

Рецензент



докт. техн. наук, проф.

В.И. Иванчура

Нормоконтролер



канд. техн. наук, доцент

Е.С. Турышева

Красноярск, 2020