

На правах рукописи



Климов Алексей Сергеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ДОРОГИ**

Специальность:

05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (строительство) (по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск - 2010

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск

Научный руководитель доктор технических наук,
профессор
Емельянов Рюрик Тимофеевич

Официальные оппоненты доктор технических наук,
профессор
Иванчура Владимир Иванович
кандидат технических наук,
доцент
Курочкин Валерий Анатольевич

Ведущая организация **ЗАО «НИИСтройдормаш»,
Красноярск**

Защита состоится «04» июня 2010 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.05 при Сибирском федеральном университете по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. академика Киренского, 26, ауд. УЛК-115

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. академика Киренского, 26

Автореферат разослан «30» апреля 2010 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Вейсов Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Автомобильные дороги имеют стратегическое значение для Российской Федерации. Асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог являются наиболее распространенными в Российской Федерации и во многих странах мира. Одним из главных направлений научно-технического прогресса в области устройства дорожных одежд с асфальтобетонным покрытием остается проблема повышения их качества.

В значительной степени качество дорожного полотна при устройстве асфальтобетонного покрытия определяется ровностью. Ровность дорожного полотна формируется асфальтоукладчиками за счет установки угла атаки выглаживающей плиты. Настройка угла атаки, фиксированная, и выполняется машинистом-оператором перед началом производства дорожных работ. Это не позволяет оперативно учитывать текущее состояние напряженно-деформированного состояния уплотняемой среды для обеспечения современного качества дороги.

Современные асфальтоукладчики оснащаются системами автоматического управления (САУ) рабочего оборудования, для обеспечения заданной ровности и угла наклона дорожного полотна. Последние достижения в этой области принадлежат зарубежным фирмам, таким как IR-ABG, Моба. Однако известные САУ не учитывают неоднородность плотности основания дороги, влияющую на качество дорожного покрытия. Поэтому в процессе формирования дорожного покрытия необходимо обеспечивать управление рабочим оборудованием, как по ровности полотна, так и по плотности грунтового основания дороги.

Существующие проблемы управления технологическими процессами асфальтоукладчика – управляемой технической системы, определили необходимость совершенствования САУ. Разработка автоматизированной системы управления процессом формирования слоя асфальтобетонного

покрытия регулированием угла атаки выглаживающей плиты, на основе информации о динамике рабочего процесса асфальтоукладчика, обеспечивающей повышение качества функционирования управляемых технических систем, является актуальной задачей автоматического управления, имеющей важное практическое значение.

Цель диссертационной работы – повышение качества дорожного покрытия на основе автоматизированного управления режимами процесса формирования асфальтобетонной смеси.

Задачи исследования:

1. провести анализ существующих технологий дорожного строительства и систем автоматического управления асфальтоукладочных машин;

2. установить в ходе теоретических исследований, лабораторных и производственных экспериментов закономерности протекания колебательных процессов при формировании асфальтобетонного покрытия дороги;

3. разработать систему автоматического управления процессом формирования асфальтобетонного дорожного покрытия, уплотняющим рабочим органом асфальтоукладчика, обеспечивающим заданную плотность и ровность асфальтобетонного покрытия;

4. провести теоретические и экспериментальные исследования САУ процессом формирования асфальтобетонного дорожного покрытия;

5. разработать управляющий модуль регулирования угла атаки путем автоматического управления приводом выглаживающей плиты в зависимости от плотности предварительного уплотнения.

Объект исследования – укладчик асфальтобетонной смеси с уплотняющим рабочим органом.

Предмет исследования – управление технической системой при формировании дорожного полотна.

Методы исследования. Для решения поставленных задач применялись методы теоретических и экспериментальных исследований. Основные методики теоретических исследований: методы информационного поиска; теория колебаний; численные методы решения систем дифференциальных уравнений, в том числе методы компьютерного моделирования и математической статистики. Исследования проводились с применением пакета визуального моделирования SIMULINK программного обеспечения MATLAB. При экспериментальных исследованиях применялись методы статистической обработки результатов, а также лабораторное оборудование и программное обеспечение.

Основные научные положения, защищаемые автором:

1. математическая модель процесса формирования асфальтобетонного дорожного покрытия, учитывающая распределение контактных давлений по длине выглаживающей плиты;
2. регрессионные уравнения, устанавливающие взаимосвязь между частотой колебаний вибратора и реологическими свойствами асфальтобетонной смеси;
3. зависимости коэффициента интенсивности уплотнения асфальтобетонной смеси от частоты вибрирования выглаживающей плиты, изменения потребной мощности привода в зависимости от массы плиты по времени вибрирования;
4. программное обеспечение системы управления процессом формирования асфальтобетонного полотна дороги.

Достоверность научных результатов. Достоверность и обоснованность научных положений и выводов обеспечивается согласованностью теоретических расчетов на ЭВМ с экспериментальными данными. Достоверность полученных результатов, в частности при определении параметров колебательного процесса, достигается корректностью современных методов испытаний, средств измерения и испытательного оборудования, обеспечивающих достаточную точность

требуемых параметров, а также применением ЭВМ для обработки экспериментальных данных.

Научная новизна работы:

1. усовершенствована математическая модель процесса формирования асфальтобетонного дорожного покрытия, учитывающая распределение контактных давлений по длине выглаживающей плиты;

2. уточнены регрессионные уравнения, устанавливающие взаимосвязь между частотой колебаний вибратора и реологическими свойствами асфальтобетонной смеси;

3. впервые уточнены зависимости коэффициента интенсивности уплотнения асфальтобетонной смеси от частоты вибрирования выглаживающей плиты, а также изменение потребной мощности привода в зависимости от массы плиты по времени вибрирования;

4. разработано программное обеспечение системы управления процессом формирования асфальтобетонного полотна дороги.

Практическая значимость работы:

1. новый управляющий модуль системы автоматического управления, позволяет выполнить автоматическую оценку параметров и отработку процесса уплотнения с высокой степенью достоверности, а также обеспечить быстрое действие привода механизма изменения угла атаки выглаживающей плиты;

2. разработанное программное обеспечение, позволяет организовать работу по визуализации процесса формирования асфальтобетонного покрытия дороги, что дает возможность использовать его в качестве тренажера в учебном процессе.

Реализация работы.

Стенд системы автоматизации процесса формирования асфальтобетонного покрытия дороги внедрен в производство объединением ООО «Стройгарант» г. Красноярск.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на 26-й региональной научно-технической конференции «Красноярск: Проблемы архитектуры и строительства» в 2008г., пятой Всероссийской научно-технической конференции «Молодежь и наука: начало 21-го века», 2009г., на VI Международной конференции студентов и молодых ученых «Технология: Строительство и архитектура, электротехника, геоинженерия, механика, информационные технологии». – Россия, Томск: ТПУ, 2009г., на научно-технических семинарах кафедры «Механизация и автоматизация строительства» ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» (2008-2010гг.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 печатных работ, из них: статей в рецензируемых изданиях по списку ВАК – 3; статей в сборниках научных работ – 5.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа содержит 122 страницы текста, 53 рисунка и 9 таблиц. Список литературы содержит 140 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана общая характеристика проблемы, обоснована актуальность выбранной темы, определены цель и задачи исследования. Сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В **первой главе** рассмотрено современное состояние изучаемого вопроса. Современные асфальтоукладчики оснащены автоматическими системами управления процессом устройства асфальтобетонного покрытия дороги. Для получения ровного слоя покрытия в продольном направлении с

заданным углом поперечного уклона применяется автоматическая система управления положением рабочего органа (плита и трамбующий брус).

При исследовании процессов формирования дорожного полотна применяется моделирование рабочих процессов асфальтоукладчика. Наиболее значительный вклад за последние годы в теорию математического моделирования формирования слоя асфальтобетонных смесей рабочими органами асфальтоукладчиков и дорожных катков внесли ученые Баловнев В.И., Пермяков В.Б., Иванченко С.Н., Захаренко А.В., Костельов М.П. и др.

Вопросам управления гидродинамическими характеристиками посвящены работы ученых: Гамынина Н.С., Казмиренко В.Ф., Попова Д.Н., Боровина Г.К. и др. В этих работах рассматривались методы автоматического управления, оптимального управления, теория алгоритмов, методы математического и компьютерного моделирования. Анализ известного опыта автоматизации процесса устройства асфальтобетонного покрытия дороги с учетом современных требований дорожного строительства дает основание обоснованно ставить задачу совершенствования системы управления асфальтоукладчика, за счет изменения типовой САУ и разработки программного обеспечения, позволяющего выполнять автоматическую оценку ровности дороги с высокой степенью достоверности, а также обеспечить быстрдействие регулирования угла атаки выглаживающей плиты.

Во второй главе выполнены теоретические исследования и моделирование процессов формирования асфальтобетонного покрытия дороги. При движении по поверхности основания дороги ходовая часть укладчика буксирует выглаживающую плиту за тяговые брусья, причем на пути ходовой части могут встречаться как впадины, или углубления, так и выступы или бугры. В этом случае толщину покрытия предлагается регулировать специальным гидроцилиндром путем автоматической установки угла атаки.

Для моделирования процесса формирования асфальтобетонного слоя разработана структура обобщенной математической модели, приведенная на рис. 1.



Рис.1. Структура обобщенной математической модели

При формировании асфальтобетонного слоя выглаживающей плитой эпюра распределения контактных давлений по длине плиты близка к трапецевидной с их ростом к задней кромке (рис. 2). Поэтому в рабочем режиме возможен поворот плиты вокруг передней кромки. Чтобы этого избежать необходимо, определить координату приложения вынуждающей силы $P(t)$ по длине плиты.

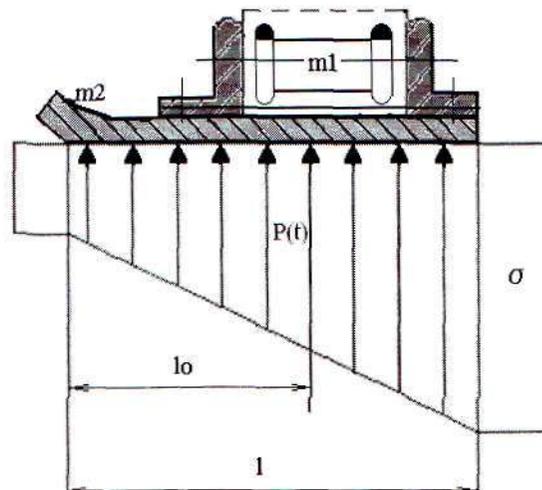


Рис. 2. Эпюра распределения контактных давлений

Изменения величины $P(t)$ можно представить в виде следующего уравнения:

$$P(t) = \sigma_1 F_{mn} e^{-m_{01} t} + \sigma_2 F_{mn} e^{-m_{02} t}, \quad (1)$$

где σ_1, σ_2 - контактные давления по длине плиты; F - площадь выглаживающей плиты; m_1, m_2 - масса вибратора и выглаживающей плиты.

Расчетная схема процесса формирования асфальтобетонной смеси представим в виде двухмассовой колебательной системы с упругой связью между массами (рис. 3). Масса m_1 на расчетной схеме представляет колеблющийся груз выглаживающей плиты, масса m_2 - выглаживающую плиту. Упруго-вязкая связь между m_1 и m_2 описывает конструктивные свойства плиты.

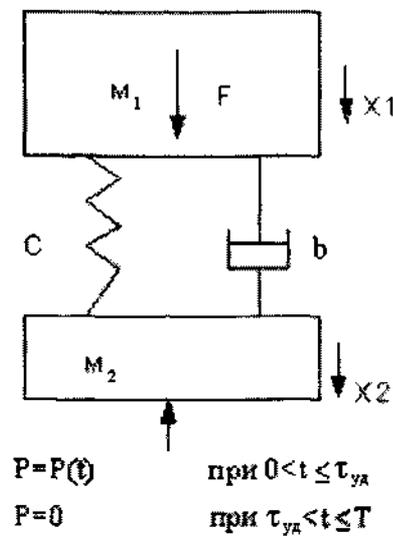


Рис. 3. Расчетная схема выглаживающей плиты

Математическая модель рассматриваемой системы во время удара плиты будет иметь вид

$$(0 < t < \tau_{yo}),$$

$$m_1 \ddot{x}_1 + b(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C(x_1 - x_2) = F \sin \omega t + m_1 g, \quad (2)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + b(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + C(x_1 - x_2) = F \sin \omega t - P(t) + m_2 g.$$

Для моделирования процесса формирования слоя асфальтобетонной смеси как динамической системы используется система MATLAB, содержащая в своем составе пакет визуального моделирования SIMULINK.

Модель, разработанная в среде SIMULINK приведена на рис. 4.

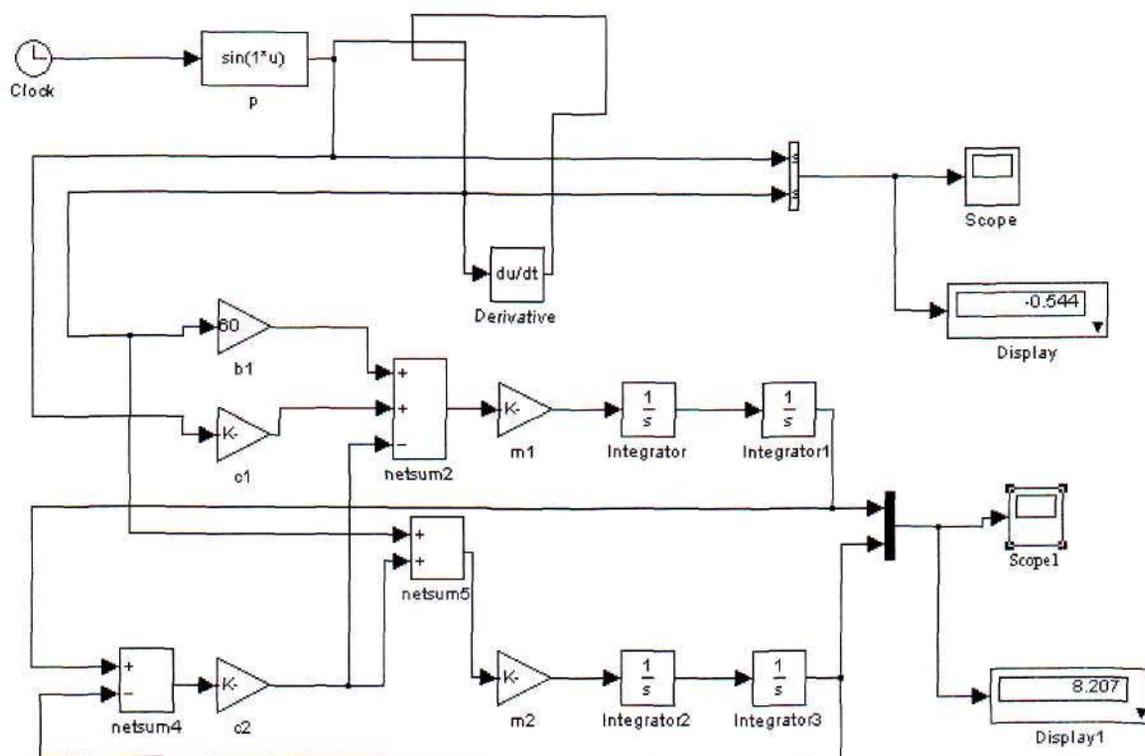


Рис. 4. Схема модели в среде SIMULINK

Результаты моделирования представлены в графическом виде на рис. 5.

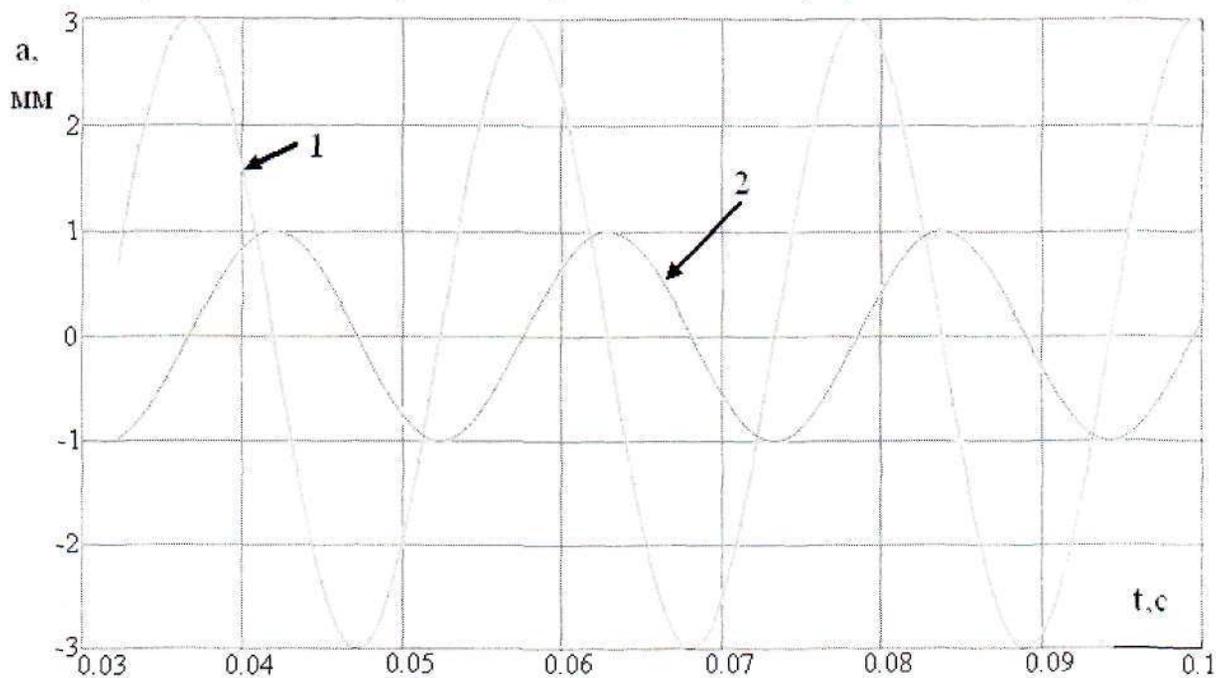


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика процесса формирования слоя асфальтобетонной смеси: 1 – частота колебаний вибровозбудителя; 2 – частота колебаний выглаживающей плиты

Варьированием параметров частоты колебаний и плотности грунта получены графики функций затухающих колебаний системы (рис. 6).

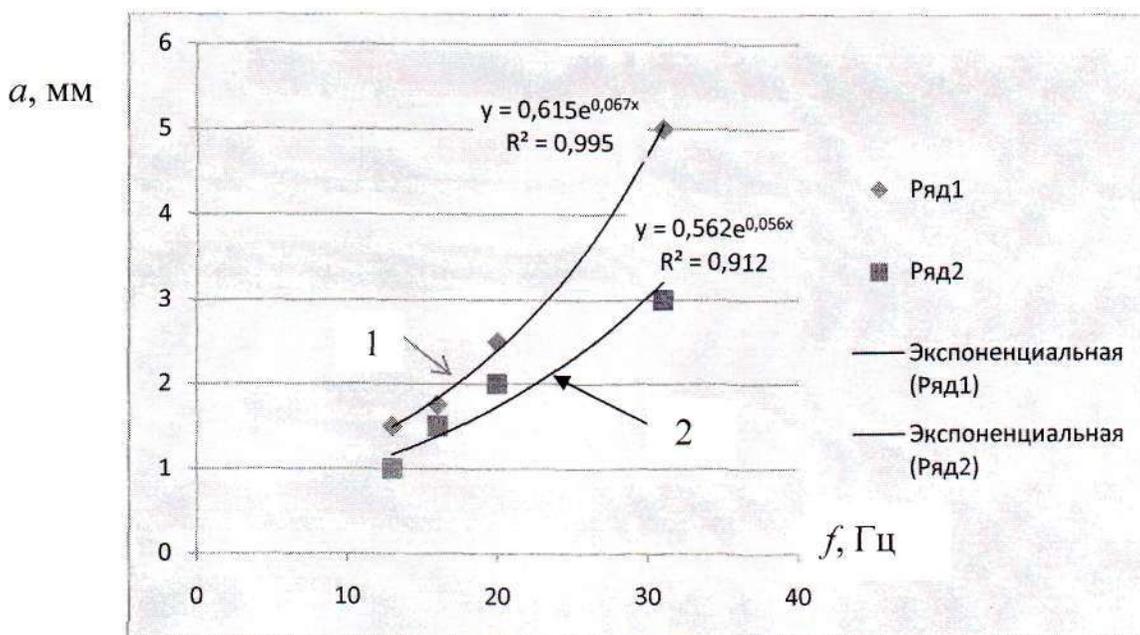


Рис. 6. Зависимости амплитуды от частоты колебаний массы плиты:

1 – при $b = 1,25$ кНс/м; 2 – при $b = 1,5$ кНс/м

При частоте 30 Гц и демпфирующим сопротивлении $b = 1,5$ кНс/м амплитуда колебаний достигает 3,0 мм. Это в два раза превышает нормативное значение ускорения. Уменьшение частоты до 18 Гц при прежнем значении b амплитуда снижается до 1,5 мм и соответствует нормативным требованиям. Такой же результат достигается при сочетании параметров $b = 1,25$ кНс/м и частоте колебаний 18 Гц. Сопротивление снижает амплитуду, частота колебаний действует обратно пропорционально.

Для автоматизации процесса формирования асфальтобетонного слоя предложен дополнительный контур гидравлической системы, служащий для установки угла подъема выглаживающей плиты и виброуплотнения асфальтобетонной смеси. Структурная схема дополнительного контура гидропривода приведена на рис. 7.

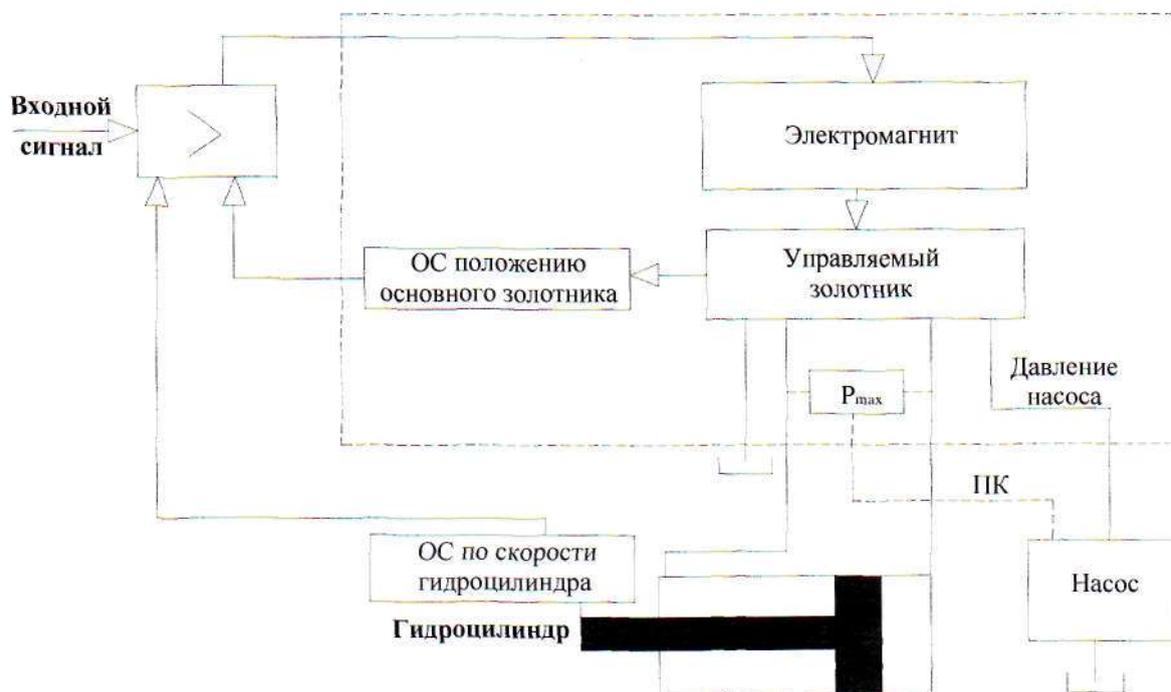


Рис. 7. Структурная схема дополнительного контура гидропривода

На рис. 8 приведены результаты моделирования при исследовании гидропривода установки угла атаки выглаживающей плиты. В качестве входных данных для модели использовались: постоянное давление питания ($P_{пит} = 21$ МПа), внешний возмущающий момент ($Mb = 2$ Нм) и сигнал, соответствующий значению плунжера ($y_{max} = 0,3$ мм), который меняется по времени и задается при помощи функции “Signal Builder” в ПК MATLAB. Переходный процесс дросселирования рабочей жидкости в начальный период времени работы гидроцилиндра является колебательным. Через 2,5 с процесс становится стационарным.

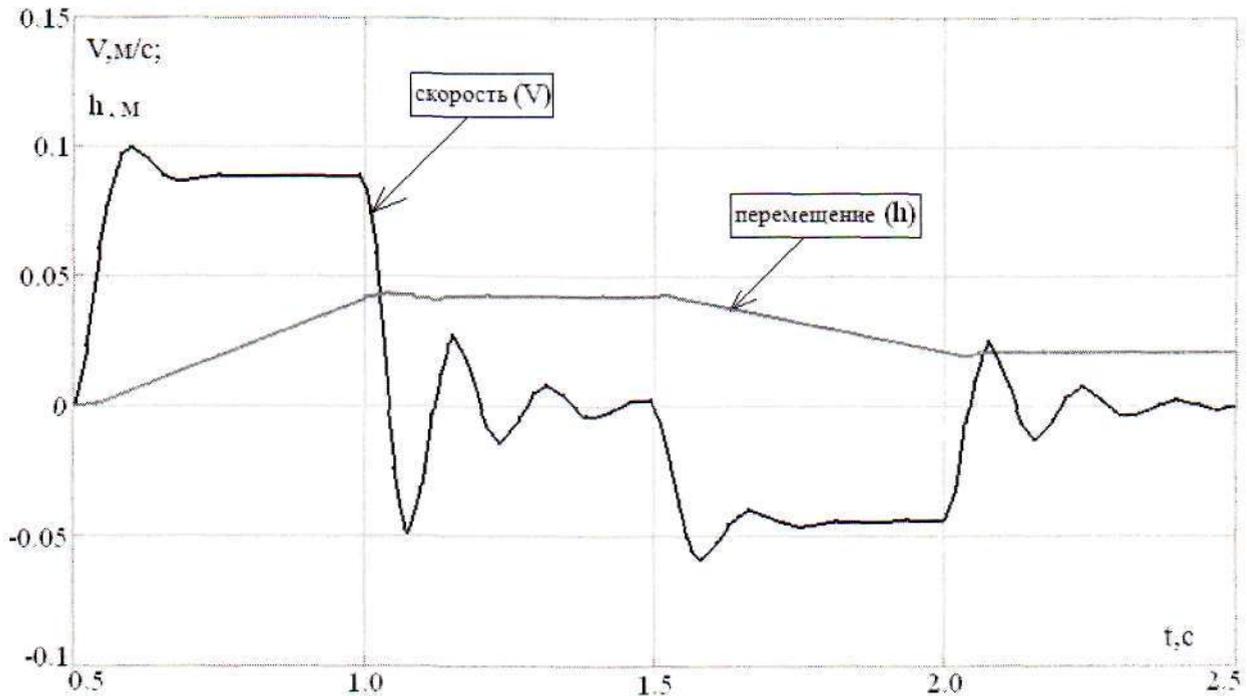


Рис. 8. Зависимости скорости и перемещения поршня гидроцилиндра

Переходная характеристика вызвана скачком градиента при турбулентном течении рабочей жидкости. При изменении разности давления на клапане, процесс дросселирования неустойчив, в течение 2,5 с. Далее процесс ставится стационарным.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований. Основные задачи исследования заключались в определении количественных показателей параметров, а также проверке и подтверждении правомерности принятых ранее теоретических положений. Экспериментальные исследования проводилось на асфальтоукладчике фирмы MARINI MF 805 и лабораторном стенде.

Результаты испытаний рабочего оборудования асфальтоукладчика с САУ показали, что на ровность асфальтобетонного покрытия значительное влияние оказывают режимы работы механизмов укладчика и его самого в целом, качество подготовки основания дороги и степень предварительного уплотнения слоя смеси рабочим органом укладчика.

При внезапном наезде ходового устройства укладчика на неровность на основании (выступ, бугор, впадина) траектория перемещения выглаживающей плиты скачкообразно изменяется, т.е. происходит внезапное изменение угла атаки выглаживающей плиты (рис. 9).

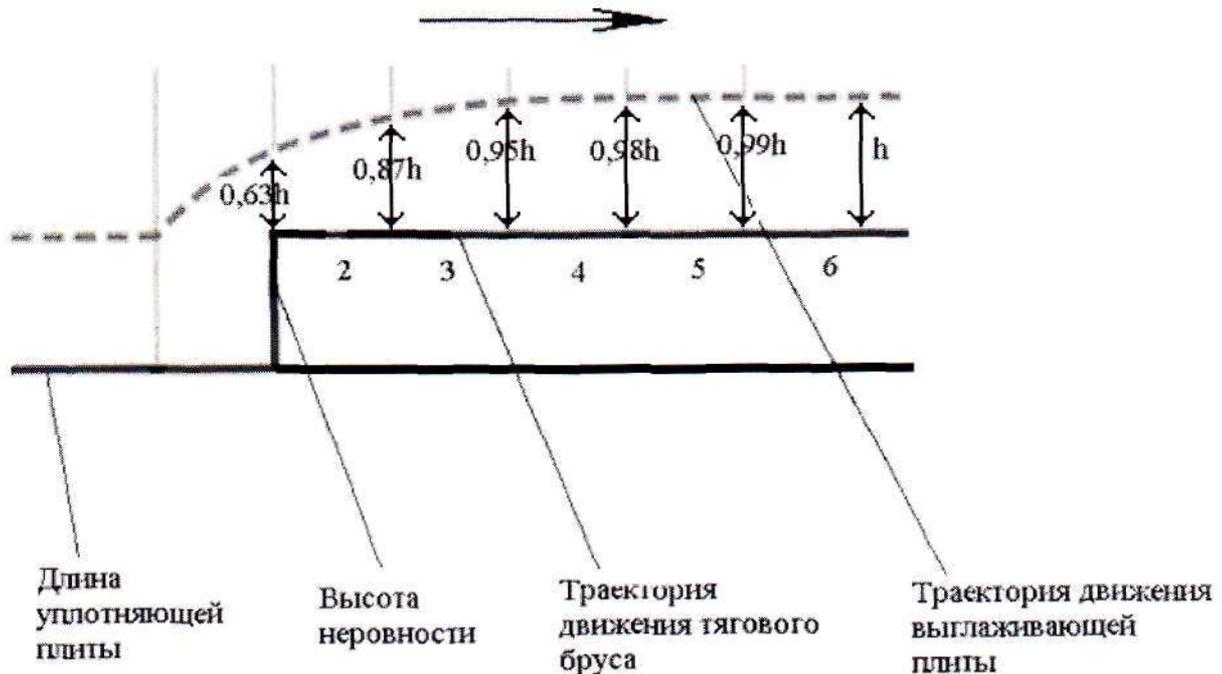


Рис. 9. Траектория перемещения выглаживающей плиты асфальтоукладчика

Из рис. 9 видно, что $0,63$ своего нового высотного положения плита достигает после прохождения укладчиком расстояния, равного одной длине тягового бруса (лонжерона), $0,95$ – после трех длин и $0,99$ – после пяти длин. Автоматическое изменение угла атаки выглаживающей плиты обеспечивает стабилизацию плотности асфальтобетонной смеси.

Для определения динамических характеристик виброплиты были проведены лабораторные испытания на лабораторном стенде с упругим основанием вибровозбудителя. Результаты исследований, представленные на рис. 10, показывают, что интенсивность (i) уплотнения покрытия дороги при частоте колебаний плиты 5 Гц составляет $1,2$ при времени вибрирования 20 с.

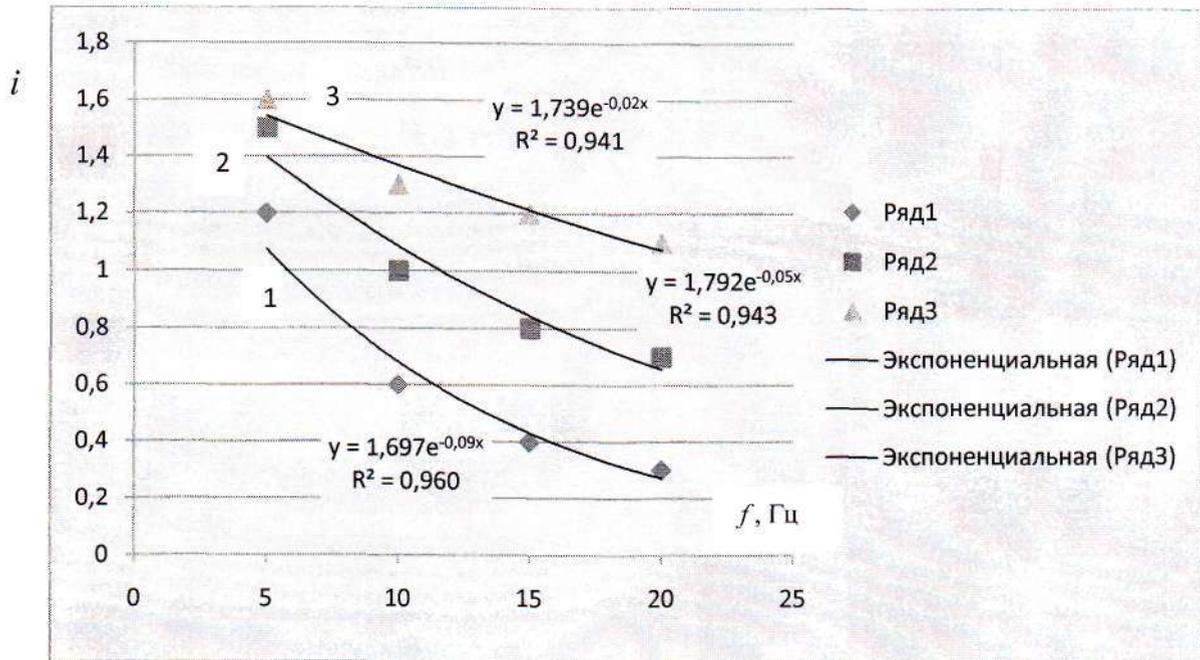


Рис. 10. Интенсивность уплотнения асфальтобетонной смеси от частоты вибрирования выглаживающей плиты:

1 – время вибрирования 20 с; 2 – тоже при 30 с; 3 – тоже при 40 с

При частоте 20 Гц интенсивность уплотнения уменьшается с 1,1 до 0,3. При времени вибрирования 30 с увеличение частоты колебаний плиты с 5 Гц до 20 Гц приводит к уменьшению интенсивности (i) уплотнения в два раза, а при времени вибрирования 40 с интенсивность уплотнения уменьшается в 1,45 раза.

В четвертой главе на основе выполненных исследований разработана система автоматического управления процессом формирования асфальтобетонного покрытия.

Система автоматического управления положением выглаживающей плиты асфальтоукладчика (рис. 11), может быть установлена на асфальтоукладчике с рабочим органом, в состав которого входит выглаживающая плита с вибратором (или без него) и трамбующий брус (или без него). Система содержит датчик углового положения, имеющий индикатор ошибки и переключатели задатчика стабилизируемого угла,

датчик высотного положения с индикатором ошибки, тензометрический преобразователь (датчик), блок управления и дискретные гидравлические приводы. Датчик углового положения вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный величине отклонения рабочего органа асфальтоукладчика от гравитационной вертикали.

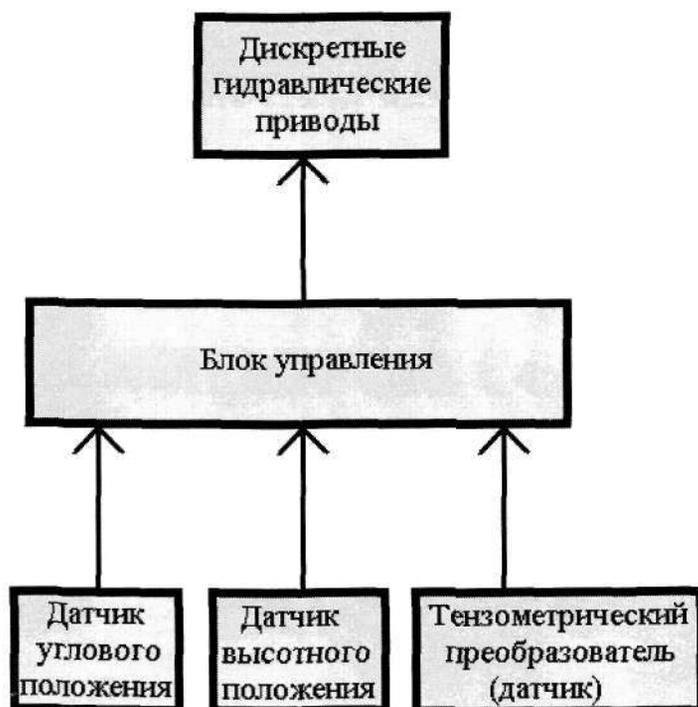


Рис. 11. Структурная схема системы автоматического управления положением выглаживающей плиты асфальтоукладчика

Сигнал ошибки поступает с выхода датчика углового положения на первый вход блока управления. Датчик высотного положения вырабатывает сигнал ошибки, пропорциональный величине отклонения рабочего органа от положения, заданного копиром. Сигнал ошибки поступает с выхода датчика высотного положения на второй вход блока управления.

Тензометрический преобразователь (датчик) вырабатывает сигнал, пропорциональный усилию в металлоконструкции выглаживающей плиты, который поступает с выхода тензометрического преобразователя (датчика) на третий вход блока управления. Блок управления вырабатывает сигналы

управления дискретными гидравлическими приводами для сведения текущих ошибок к нулю. Длительность и частота управляющих сигналов зависит от величины ошибки.

Разработано программное обеспечение системы автоматического управления режимами формирования асфальтобетонной смеси в оболочке «LabVIEW» - инструментальной среды разработки приложений сбора, обработки и графического представления данных и управления, на основе контроля степени уплотнения материалов по величине максимального усилия в толкателях рабочего органа. Для этого в зависимости от задачи управления осуществляется выборка одной из заложенных в память ПЭВМ программ и воспроизводится на экране монитора информация в цифровом и графическом виде. Помимо традиционных средств создания интерфейса оператора, «LabVIEW» включает в себя встроенную среду программирования на языке сценариев, совместимом с Visual Basic для приложений (VBA). Для обеспечения идентичности методов программирования с Microsoft Visual Basic (VB) и Visual Basic для приложений (VBA) в систему разработки и исполнительную среду «LabVIEW» встроена среда программирования Basic-сценариев фирмы SUMMIT. Указанная среда программирования значительно облегчает процесс реализации сложных алгоритмов обработки и анализа данных. Кроме того, данная среда является мощным и универсальным средством адаптации пакета к требованиям прикладной задачи.

Информация о работе уплотняющего оборудования отображается на экране дисплея в цифровом и графическом виде. Обработка данных, поступающих в ПЭВМ, производится с помощью программного комплекса «LabVIEW».

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На ровность асфальтобетонного покрытия значительное влияние оказывают режимы работы механизмов укладчика и его самого в целом, качество подготовки основания дороги и степень предварительного уплотнения слоя смеси рабочим органом укладчика.

2. Разработана математическая модель процесса формирования асфальтобетонного дорожного покрытия, учитывающая распределение контактных давлений по длине выглаживающей плиты.

3. Уточнены регрессионные уравнения, устанавливающие взаимосвязь между частотой колебаний вибратора и реологическими свойствами асфальтобетонной смеси.

4. Уточнены зависимости коэффициента интенсивности уплотнения асфальтобетонной смеси от частоты вибрирования выглаживающей плиты, а также изменение потребной мощности привода в зависимости от массы плиты по времени вибрирования.

5. Разработано программное обеспечение системы управления процессом формирования асфальтобетонного полотна дороги.

6. Апробация результатов работы проведена в объединении ООО «Стройгарант» г. Красноярск, что подтверждено актом внедрения. Результаты научно-исследовательской работы внедрены в учебный процесс.

Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:

1. 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.
2. Емельянов Р.Т. Исследование процесса уплотнения асфальтобетонной смеси по ширине укладки. / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. Климов // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 7 – С. 12–16.

3. Емельянов Р.Т. Моделирование рабочего процесса гидропривода с дроссельным регулированием / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. **Климов** // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 11. – С. 15-18.
4. Тучин А.В. Экспериментальные исследования автоматизированных схем присоединения потребителей к тепловым сетям. / А.В. Тучин, А.С. **Климов** // Сборник материалов 26 региональной научно-технической конференции. – Красноярск: СФУ, 2008. – С. 127–128.
5. **Климов А.С.** Автоматические регуляторы. / А.С. **Климов** // Молодежь и наука: начало XXI века. Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ, 2009. – С. 11–12.
6. **Климов А.С.** Параметрическое проектирование дроссельного гидропривода замкнутого типа. / А.С. **Климов** // Перспективы развития фундаментальных наук. Труды VI Международной конференции студентов и молодых ученых. Секция 4. Технология: Строительство и архитектура, электротехника, геоинженерия, механика, информационные технологии. – Россия, Томск: ТПУ, 2009. – С. 737–739.
7. Емельянов Р.Т. Термодинамический анализ дроссельного гидропривода. / Р.Т. Емельянов, А.С. **Климов** // Молодежь и наука: начало XXI века. Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ, 2009. – С. 215–217.
8. Клиндух Н.Ю. Автоматизация проектирования рециркуляционной системы гидропривода. / Н.Ю. Клиндух, А.С. **Климов** // Молодежь и наука: начало XXI века. Сборник материалов V Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Красноярск: СФУ, 2009. – С. 222–224.

Климов Алексей Сергеевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ ДОРОГИ**

Автореферат

Подписано в печать 26.04.2010.
Формат 60×84/16. Уч.-изд. л.1,3
Тираж 100 экз. Заказ № 1716

Отпечатано в типографии ИПК СФУ
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а.