

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ УПЛОТНЕНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ: КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Прокопьев А.П.

Сибирский федеральный университет

Цель работы: обоснование научного направления, обеспечивающего эффективное управление процессами дорожного строительства, для повышения качества асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог.

На качество асфальтобетонных смесей и асфальтобетона существенное влияние оказывают все элементы производственно-технологического комплекса создания дорожного покрытия:

состав асфальтобетонной смеси: характеристики ее компонентов (крупный заполнитель – щебень, мелкий заполнитель – песок, минеральный порошок, битум и добавки) и вариация этих показателей;

производственные факторы: хранение; предварительное дозирование песка и щебня; сушка песка и щебня в сушильном барабане; сортировка компонентов по фракциям; дозирование всех компонентов смеси; приготовление смеси в смесителе; подача готовой смеси в склад;

транспортировка (автосамосвалы), укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси (асфальтоукладчики; дорожные катки).

Асфальтобетонные заводы в России имеют разные источники (месторождения, предприятия) исходных материалов (отличающиеся по основным характеристикам), различный технический уровень оборудования и технологии производства. Физический износ оборудования (что является актуальным для России), напр., дозаторов, приводит к ухудшению качества и как следствие к значительному разбросу величины прочности (МПа) асфальтобетона.

Транспортировка асфальтобетонной смеси в каждом конкретном случае дорожного строительства имеет отличие, по дальности до объекта, времени доставки с учетом проблем по скорости движения автотранспорта (напр., из-за «автомобильных пробок»), температуре окружающей среды, грузоподъемности и конструкции автосамосвалов и др. факторов. Укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси выполняется различными моделями асфальтоукладчиков и дорожных катков.

Для решения задачи оптимального управления процессом дорожного строительства необходимо уменьшить число влияющих факторов технологического процесса: «производство – укладка и уплотнение асфальтобетонной смеси». Можно предположить, что факторы этапа дорожного строительства – укладка и уплотнение смеси, являются определяющими, при различных значениях характеристик компонентов, производства и транспортировки асфальтобетонной смеси. Обеспечить требуемые показатели качества готового асфальтобетонного покрытия, не зависимо от характеристик поступающей на объект дорожного строительства асфальтобетонной смеси, можно, изменяя режимные параметры комплекта дорожно-строительных машин (ДСМ) – «асфальтоукладчик - дорожные катки»: частоту вращения эксцентрикового вала трамбуемого бруса; величину хода трамбуемых брусьев; частоту вибрации выглаживающей плиты; частоту вибрации вальцов; скорость катков. Тогда, задача адаптивного управления технологическими процессами, значительно упрощается.

Важным качественным показателем асфальтоукладчика в целом является достигнутая в результате рабочего процесса степень уплотнения асфальтобетонной смеси, т. к. от этого зависит не только подбор необходимых типов и количества катков

для последующей ее укатки, но и технологические приемы выполнения операции уплотнения смеси. Практика дорожного строительства показала, чем выше плотность асфальтобетона после укладчика, тем ровнее и долговечнее готовое асфальтобетонное покрытие. Уплотняющая способность дорожно-строительных машин – асфальтоукладчиков, а также машин с аналогичными уплотняющими органами, реализующих технологии «reshore», «regrip», «grave», «remix», «remix+», по данным исследований зарубежных и российских ученых позволяют обеспечить максимальный коэффициент уплотнения, но ручное управление этим процессом является неэффективным, из-за отсутствия приборов текущего контроля степени уплотнения и большой нагрузки на машиниста-оператора при управлении асфальтоукладчиком.

В зависимости от достигнутого коэффициента уплотнения, количество катков за укладчиком можно сокращать, что способствует повышению производительности дорожного строительства, снижению себестоимости покрытия. Но полностью исключить использование дорожных катков при существующих технологиях нельзя, т.к. они нужны для закрепления достигнутого коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси и повышения структурной прочности асфальтобетона за счет усиления распора его частиц с одновременным закреплением повышающейся клеящей способностью битума при понижении его температуры.

Идентификация дорожно-строительной машины (напр., асфальтоукладчика), как нелинейного дискретно-непрерывного динамического объекта управления представляет задачу, с которой сталкиваются разработчики управляемых систем такого класса. Закон управления рабочим процессом в зависимости от показаний датчиков, должен быть заранее рассчитан на основании анализа математической модели динамики объекта управления – движения трамбующего бруса и вибрационной плиты укладчика в тех или иных возможных условиях и записан в контроллере.

Составляется математическая модель объекта управления и находится ее обратное решение, которое указывает, какие управляющие воздействия следует развить рабочему органу, чтобы в текущих условиях настроить режимные параметры объекта управления к заданному желаемому состоянию оптимального уплотнения смеси. Обычно математическая модель представляет собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают движение, как твердотельных элементов рабочего органа, так и его осциллирующих элементов. Значения коэффициентов определяются по результатам экспериментальных испытаний. Проблема состоит в том, что разработать точную математическую модель асфальтоукладчика с уплотняющим рабочим органом, воздействующим на асфальтобетонную смесь, очень трудно. Системный подход с целью учета основных элементов укладчика, асфальтобетонной смеси, делают его математическую модель избыточно сложной и не поддающейся расчетам действительного значения исследуемой физической величины.

Задача усложняется из-за того, что свойства реального асфальтоукладчика (дорожного катка) постоянно изменяются даже в течение одной смены – изменяется его масса в результате изменения массы асфальтобетонной смеси в бункере, изменяется температурный режим уплотнения, характеристики основания на которое укладывается покрытие (плотность, ровность) и т.п. Поэтому любая зафиксированная математическая модель в целом оказывается неверной, а качество управления, следовательно, ограничено.

Сравнительно недавно (2005 г.) диссертационная работа, посвященная созданию методологической основы для комплексной автоматизации производства асфальтобетонной смеси с учетом процессов транспортировки, укладки и уплотнения смеси на основе современных информационных технологий, защищена Доценко А.И.

Известно, что контракты на дорожно-строительные работы заключаются с дорожниками по результатам открытых тендеров. На момент написания данной статьи (2012 г.), можно отметить отсутствие производственных и коммерческих возможностей для внедрения подобной комплексной системы управления производством качественной асфальтобетонной смеси.

Следовательно, можно сделать вывод о необходимости разработки системы автоматизированного управления комплектом ДСМ («асфальтоукладчик-дорожные катки»), которые должны в процессе дорожного строительства, независимо от качества подаваемой для укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси, адаптировать режимы технологического процесса и обеспечивать рациональные, для конкретных условий, качественные характеристики готового асфальтобетонного покрытия.

Научные предпосылки комплексной автоматизации

В работах разных авторов и [1], было установлено, что варьирование режимов работы асфальтоукладчика (скорость движения, режимные параметры работы трамбуемого бруса и плиты) оказывает значительное влияние на степень предварительного уплотнения различных асфальтобетонных 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». Исследования проводились на стенде-укладчике оборудованном тензометрической аппаратурой при уплотнении аналога песчаной асфальтобетонной смеси типа Д. Вид полученных зависимостей – нелинейный. Нелинейность зависимостей коэффициента уплотнения от режимных параметров асфальтоукладчиков подтверждаются результатами научных исследований Пермякова В.Б., Иванченко С.Н. и др. авторов [2, 3, 4, 5, 6].

В научных работах Пермякова В.Б., Иванченко С.Н. и др. авторов, при теоретических исследованиях и моделировании асфальтобетонные смеси рассматриваются как упруговязкопластический материал, свойства которого зависят от изменения скорости деформирования и уровня напряженного состояния в уплотняемом слое. Один цикл уплотнения асфальтоукладчика представляет собой несколько ударов трамбуемого бруса (при скорости 3,2 м/с и частоте трамбования 1300 с^{-1} – около 5 ударов на ударной части бруса размером 12 мм), после которых достигается требуемая степень уплотнения смеси асфальтоукладчиком. При постоянной скорости $V = \text{const}$, цикл уплотнения смеси характеризуется как одинаковый промежуток времени, за который в зависимости от частоты трамбования будет происходить несколько (4-6) ударов. Система автоматического управления должна обеспечивать необходимую (заданную) степень уплотнения за этот промежуток времени без участия оператора.

Недостатком известных методов моделирования уплотняемой среды на основе реологических моделей, является возможность использования в основном для получения значений нагрузок в металлоконструкции дорожно-строительных машин, и невозможность использования их при разработке алгоритмов автоматического управления рабочими процессами.

Современные тенденции в системах управления ДСМ

Развитие цифровых компьютерных технологий, их внедрение в разные отрасли, отразились и на дорожно-строительных машинах. Ведущие производители машин предлагают дорожным строителям вибрационные катки с «интеллектуальным уплотнением» (IC), в которых выходная мощность регулируется автоматически, что исключает «недоуплотнение» и «переуплотнение» материала.

Фирмы Ammann, Bomag и Дунарас выпускают машины с системой IC, готовые к работе на грунте и щебёночных основаниях, причём у первых двух фирм есть такие модели и для асфальтобетона. Фирма Caterpillar официально представила грунтовой

каток с системой IC в 2007 г., а асфальтовую модель – примерно через год. Фирма Sakai намеревается выйти на североамериканский рынок с катками IC обоих типов в 2008 г., а фирма Дунарас разрабатывает асфальтовую машину, которая скоро поступит в продажу в Европу, а затем и на мировой рынок. Эти события указывают на основную тенденцию – обеспечить максимальное уплотнение смеси дорожными катками после укладчика. Но как отмечено выше, более важным, для качества покрытия, является обеспечение оптимальной степени предварительного уплотнения асфальтобетонной смеси получаемой после прохождения асфальтоукладчика.

В соответствии с методом системного анализа представляется актуальным разработка и исследование комплексной системы автоматизированного управления комплектом дорожно-строительных машин – «асфальтоукладчик-дорожные катки», управляющие системы которых строятся не на основе математических моделей, а на основе подходов, характерных для задач анализа «черного ящика». Это подходы, использующие экспертные системы, нечеткую логику, искусственные нейронные сети, гибридные системы и т.п. Достоинством таких управляющих систем является то, что они основаны не на математических моделях объектов управления. Закон управления в них получается либо в результате автоматического обучения по информации с датчиков, либо в результате записи в управляющую систему знаний человека-эксперта в формализованном виде.

Заключение

На этапе укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси в технологическом комплексе дорожно-строительных работ для обеспечения высокого качества готового асфальтобетонного покрытия необходимо внедрение автоматического управления процессами уплотнения. Проблема неравномерности распределения коэффициента уплотнения по ширине рабочего органа асфальтоукладчика, проявившаяся по результатам экспериментальных исследований различных авторов, создает предпосылки необходимости проведения дополнительных научных исследований для поиска новых технических решений и разработки алгоритмов управления режимными параметрами рабочего процесса. В работе обоснованы предпосылки разработки системы автоматического управления рабочими процессами комплекта ДСМ (асфальтоукладчик-дорожные катки) на основе традиционных и интеллектуальных технологий.

Список литературы

1. Прокопьев А.П. Исследование уплотняющего оборудования асфальтоукладчика // Известия вузов. Строительство. – 1994 – № 4.
2. Костельов М.П., Никольский Ю.Е., Райский Ю.Э. Методы и средства контроля качества уплотнения дорожного земляного полотна, щебеночного основания и асфальтобетонного покрытия [Электронный ресурс] // Каталог-справочник «Дорожная техника». – 2003. URL: <http://www.library.stroit.ru/v-series/j-2/p-1.html>.
3. Марышев Б.С., Слепая Б.М. и др. Скоростное строительство асфальтобетонных покрытий. – М.: ВПТИ Трансстрой, 1983.
4. Пермяков В.Б., Щербаков В.С., Ахилбеков М.Н. Анализ реологических моделей процесса уплотнения асфальтобетонной смеси // Деп. в ЦНИИТЭстроймаш 09.01.87, № 13-сд 87. – 22 с.
5. Иванченко С.Н. Научные основы формирования рабочих органов дорожных машин для уплотнения асфальтобетонных смесей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – СПб, 1997. – 34 с.
6. Емельянов Р.Т., Прокопьев А.П., Климов А.С. Исследование процесса уплотнения асфальтобетонной смеси по ширине укладки // Строительные и дорожные машины. – 2009. – № 7. – С. 12-17.