

Особенности реализации непрерывного контроля уплотнения асфальтобетонной смеси

А. П. Прокопьев¹, Ж. И. Набижанов², Р. Т. Емельянов³, В. И. Иванчура⁴

Сибирский федеральный университет

¹prok1@yandex.ru, ²jasur150691@yandex.ru, ³ert-44@yandex.ru, ⁴ivan43ura@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются проблемные задачи научно-практического направления развития систем контроля и управления основными процессами дорожно-строительных машин. Выделяется этап «укладка – уплотнение асфальтобетонной смеси» эффективное управление которым приводит к значительному улучшению качества асфальтобетонных покрытий, увеличению долговечности и уменьшению дефектов покрытий. Обоснованы предпосылки разработки интеллектуальных систем управления рабочими процессами дорожно-строительных машин. Предлагаются варианты комплексной автоматизации технологического процесса строительства дорожных покрытий.

Ключевые слова: дорожно-строительные машины; асфальтоукладчик; дорожный каток; автоматизация; интеллектуальное уплотнение; непрерывный контроль уплотнения; система управления

1. ВВЕДЕНИЕ

Асфальтобетонные дорожные покрытия являются наиболее распространенными дорожными покрытиями в мире. Все этапы технологического процесса дорожного строительства оказывают значительное влияние на качество покрытия дорог.

В мировой практике известны [1] примеры существования конкуренции между дорожными строителями цементобетонных и асфальтобетонных покрытий в США. Сторонники жестких дорожных одежд со слоями из асфальтобетона обобщили положительный опыт и предложили конструкции с расчетным сроком службы таким же, как у цементобетонных покрытий – около 50 лет. Срок службы слоев износа составляет от 3 до 15 лет в зависимости от их качества и условий эксплуатации. Накапливающиеся внутренние напряжения и необратимые деформации, способствуют появлению различных дефектов и повреждений асфальтобетонного покрытия [2].

Структура асфальтобетона, определяющая его прочность и долговечность, в значительной степени формируется в результате уплотнения дорожно-строительными машинами – рабочим органом укладчика и вибрационными дорожными катками [3].

Деформации и разрушения дорог подразделяют [4] на дефекты и повреждения покрытия и дорожной одежды в

целом. По данным исследования авторов [5], асфальтобетонное покрытие автомобильных дорог вступает в эксплуатацию уже с набором дефектов, приобретенных на предыдущих этапах жизненного цикла.

По данным мировой дорожной статистики есть три главные причины появления на асфальтобетонных покрытиях всех (100 %) дефектов и разрушений [6, 7]:

- 50 % – низкое качество уплотнения асфальтобетонной смеси;
- 30 % – плохой подбор гранулометрического состава асфальтобетонной смеси или отступления от стандартов;
- 20 % – низкое качество материалов в составе смеси, особенно в битумов, плохое покрытие частиц смеси битумом при перемешивании на АБЗ, низкая адгезия битума к частицам смеси.

Известны научные работы [8–16] посвященные повышению качества асфальтобетонных смесей и дорожных покрытий за счет комплексной автоматизации технологических процессов.

С учетом выше рассмотренного, можно утверждать, что значительного улучшения качества строительства асфальтобетонных дорожных покрытий, с уменьшением до 50 % всех дефектов и разрушений [6, 7], можно добиться за счет технологического этапа – уплотнения смеси, на основе современной технологии автоматизированного управления процессами, реализуемыми комплектом дорожно-строительных машин (КДСМ) по укладке и уплотнению смеси, включающего асфальтоукладчик и звено катков.

Из практики дорожного строительства известно – чем выше плотность асфальтобетона после укладчика, тем ровнее и долговечнее готовое покрытие [17]. Уплотняющая способность асфальтоукладчиков, а также машин с аналогичными уплотняющими органами, реализующих технологии «reshope», «regrip», «repave», «remix», «remix+», по данным исследований зарубежных и российских ученых позволяет добиться заданного коэффициента уплотнения, но ручное управление этим процессом является неэффективным [18].

Ведущие зарубежные производители вибрационных катков предлагают системы управления процессом

уплотнения (Asphalt Manager фирмы Bomag), контрольно-измерительные системы (ACE – Ammann Compaction Expert компании AMMANN) и другие, адаптированные к своим типам вибрационных катков. Эти и другие системы позволяют осуществлять непрерывный контроль за степенью уплотнения, настраивать амплитуду и частоту колебаний вальца [19]. Дорожные катки не гарантируют получение качественных асфальтобетонных покрытий: брак составляет до 65 % [20].

Дорожные катки в Российской Федерации выпускаются предприятиями без систем автоматического контроля и управления процессом уплотнения, что снижает их конкурентоспособность по сравнению с зарубежными, при аналогичном качестве конструкции и приводов механизмов.

Автоматизация процессов дорожного строительства благодаря развитию сети интернет, глобальных навигационных систем (GPS, GLONASS), применению микропроцессорных систем управления, позволяет рассматривать задачи управления дорожным строительством эффективно и комплексно, реализуя концепцию BIM-технологии – регулирование режимами работы машин с использованием информационной модели проекта дороги, текущий контроль качества и документирование результатов строительства.

Выделяя из этапов дорожного строительства технологический процесс уплотнения асфальтобетонной смеси, для обеспечения соответствия уровню научно-технического прогресса, современный дорожный каток, кроме систем управления вибровозбудителем и контроля качества уплотняемого материала, должен содержать систему адаптивного управления двигателем и систему контроля состояния, самодиагностики, сбора, хранения и передачи данных о совокупности параметров машины, её узлов и систем. Этого можно достичь повышая уровень автоматизации до интеллектуального.

Таким образом, «интеллектуализация» катка позволяет значительно улучшить его важнейшие технологические показатели: качество уплотнения – применением систем оперативного контроля уплотнения; производительность – применением системы управления вибровозбудителем; надежность – применением системы контроля параметров узлов и систем катка; расход топлива и токсичность выбросов – применением системы оптимизации работы двигателя. К сожалению, производители дорожно-строительных машин Российской Федерации пока не выпускает такую продукцию.

II. ПРОБЛЕМЫ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основные препятствия, сдерживающие разработку и внедрение систем автоматического управления для вибрационных дорожных катков [21]:

- отсутствие российских многорежимных вибрационных возбудителей;

- отсутствие надежных и информативных систем оперативного контроля состояния дорожно-строительного материала в процессе его уплотнения.

Из недостатков можно отметить значительную стоимость автоматизированных систем зарубежных производителей, что не позволяет рассматривать их для внедрения на российские модели дорожных катков.

На основе анализа текущего состояния в области автоматизации процессов уплотнения дорожно-строительных материалов в США можно сделать следующие выводы:

- для организации продвижения технологии интеллектуального уплотнения – intelligent compaction (IC) оснований и дорожных покрытий в США сформирована Рабочая Группа (Task Working Group), в которую вошли представители федеральных органов США (FHWA – Federal Highway Administration), представители разработчиков IC, ведущих научно-исследовательских центров;
- основные фирмы-производители дорожных катков – Caterpillar, Dynapac, Sakai, Ammann, Bomag, Volvo предлагают комплектацию катков с приборами IC, оборудованием GPS и радиосвязи;
- в течение последних нескольких лет в ведущих научно-исследовательских центрах при финансовой поддержке Администрации Федеральных Дорог США (Federal Highway Administration) выполнены и продолжают выполняться теоретические и экспериментальные исследования по технологии IC, а также, распространенного в Европе и Китае, непрерывного контроля уплотнения – continuous compaction control (CCC);
- в разных штатах США организуются практические семинары по обучению специалистов теоретическим и практическим основам IC и методам управления вибрационными катками, стандартизации дорожно-строительных работ;
- в течение года проводятся демонстрационные испытания вибрационных катков разных производителей, оснащенных автоматикой IC;
- технология интеллектуального уплотнения выведена на уровень стандартизации дорожно-строительных работ;
- совокупность проводимых в США мероприятий, базирующихся на системном подходе, способствует значительному повышению качества и производительности дорожного строительства.

В Российской Федерации пока нет ни одного из вышеперечисленных мероприятий, за исключением инициативных научно-исследовательских работ

выполняемых учеными в учебных заведениях: МГСУ, МАДИ, СПбГТУ, ЯГТУ, СибАДИ, ТОГУ, СФУ и др.

Учитывая текущий уровень теоретических знаний о процессах уплотнения дорожно-строительных материалов, научных и технических достижений в области разработки систем автоматического управления асфальтоукладчиками и дорожными катками, можно сформулировать научную задачу о необходимости разработки концепции комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей с целью повышения качества дорожных покрытий.

III. НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

Комплексная система автоматизированного управления рабочими процессами комплекта «асфальтоукладчик – дорожные катки» (далее СИСТЕМА), обеспечивающего укладку и уплотнение смеси, предназначена для управления режимными параметрами КДСМ, которые без непосредственного участия человека-оператора в управлении адаптируются под изменяющиеся условия технологических процессов с учетом характеристик дорожно-строительных материалов, других возмущающих факторов для обеспечения заданной степени уплотнения асфальтобетонного покрытия.

Целями создания СИСТЕМЫ являются:

- улучшение условий работы операторов машин за счет автоматизации управления процессами;
- улучшение эксплуатационных показателей КДСМ;
- увеличение долговечности асфальтобетонного покрытия.

Критерии управления СИСТЕМЫ.

Критериями оценки выполнения целей создания системы являются:

- увеличение производительности КДСМ и уменьшение «человеческого фактора» в управлении режимами работы машин;
- поддержание заданного уровня степени уплотнения покрытия.

Актуальным направлением в совершенствовании машин для строительства асфальтобетонных смесей является разработка новых технических решений, теоретические и экспериментальные исследования, подготовка методик проектирования новых конструкций.

Используя системный подход в научно-прикладном направлении реализации идеи концепции комплексной автоматизации СИСТЕМЫ, авторами разработаны новые технические решения систем автоматического управления процессами укладки и уплотнения асфальтобетонных смесей [22–27]. Также известны [28, 29] современные решения комплексной автоматизации комплекта «асфальтоукладчик – каток» основанные на контроле температуры асфальтобетонной смеси, что позволяет машинистам оперативно предпринимать корректные

действия по управлению рабочими режимами машин. Но для этого варианта управления процессами необходимо наличие высокой квалификации машиниста.

Учитывая сложность конструкции асфальтоукладчика из-за наличия нескольких технологических агрегатов с гидравлическими приводами (ходовой части; питателя, левого и правого; шнеков, левого и правого; электрогидравлического регулятора высоты рабочего органа; боковин бункера; механизма подъема рабочего органа в положение для транспортировки; трамбующего бруса и вибрационной плиты) рекомендуется применение децентрализованной автоматизированной системы управления с объединением информационных потоков в бортовой ЭВМ машины. Регуляторы систем управления агрегатами укладчика, учитывая особенности рабочего процесса, значительное влияние внешних возмущающих факторов, могут создаваться с применением интеллектуальной (нечеткой, нейронной, гибридной) технологии. Такой вариант автоматизации машин можно отнести к интеллектуальному.

Предлагается к уже существующим системам управления асфальтоукладчиком дополнить системой регулирования процессом уплотнения рабочим органом на основе нечеткой логики, искусственной нейронной сети. Входные данные об эффективности уплотнения смеси асфальтоукладчиком подсистема управления уплотнением, учитывая современный уровень развития автоматизированных вибрационных катков, позволяющих получать с достаточно высокой степенью достоверности информацию о коэффициенте уплотнения, может получать с использованием радиосигнала от идущего за ним вибрационного катка.

Второй вариант подсистемы управления уплотнением укладчиком предлагается в виде совокупности элементов, формирующих управляющий сигнал изменения частоты вращения эксцентрикового вала привода трамбующего бруса сравнением задающего сигнала управления и выходного преобразованного сигнала тензометрического датчика, соответствующего усилию в конструкции трамбующего бруса.

Системы автоматического управления асфальтовыми вибрационными катками развиваются в направлении интеллектуализации процесса уплотнения с централизованным управлением. Предлагается использование в САУ вибрационными катками нечетких и нейро-нечетких регуляторов [27].

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учетом стратегических планов дорожного строительства в Российской Федерации, для обеспечения высокого качества готового асфальтобетонного покрытия, необходимо внедрение интеллектуального автоматизированного контроля и управления процессами уплотнения на ответственных этапах дорожно-строительных работ – укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси.

Реализация концепции ВМ-технологии в дорожно-строительных работах предполагает применение

вибрационных катков с приборами интеллектуального уплотнения (или непрерывного контроля уплотнения), с комплектом оборудования глобальной навигации и радиосвязи, что значительно повышает эффективность работ. В США эти системы постепенно становятся стандартом в дорожной отрасли, осуществляется активная подготовка специалистов по их использованию. В Российской Федерации такая работа не имеет необходимого уровня государственной поддержки. Имеются как объективные, так и субъективные факторы, сдерживающие внедрение аналогичных технологий и методов в отрасли. Предлагаются варианты внедрения концепции интеллектуализации систем контроля и управления технологическими процессами строительства дорожных асфальтобетонных покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Кирухин Г.Н., Казарновский В.Д. О нормативной базе расчетных характеристик асфальтобетонов [Электронный ресурс] // Каталог-справочник «Дорожная техника 2010». СПб.: ООО «Славутич», 2010. С. 73–74.
- [2] Пермяков В.Б., Швецов В.А., Захаренко А.В., Семёнов А.С., Захаренко А.А., Дегтярёв А.С. Анализ негативных факторов и накопление дефектов в асфальтобетонных слоях дорожных одежд в течение жизненного цикла // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. Т. 14. № 2 (14). С. 261–265.
- [3] Стороженко М.С. Совершенствование технологии уплотнения асфальтобетонных покрытий с целью повышения прочности и долговечности // Вестник ХНАДУ. Харьков: ХНАДУ. 2008. Вып. 40. С. 99–102.
- [4] Горельшова Л.А. Новые эффективные методы ремонта, содержания и совершенствования асфальтобетонных покрытий // Автомобильные дороги и мосты: обзорная информация, вып. 5. М.: Информавтодор, 2006. 104 с.
- [5] Захаренко А.В., Дегтярев А.С., Захаренко А.А. Сравнительные исследования результатов испытания образцов асфальтобетонных смесей и асфальтобетонных покрытий с применением методов и испытательного оборудования: асфальто-анализаторов типа «Инфратест», выжигания и экстрагирования по ГОСТ 12801-98. ОАО «Хантымансийскдорстрой», 2008. 19 с.
- [6] Костельов М.П., Перевалов В.П., Пахаренко Д.В. Способна ли Россия быстро и резко повысить качество и сроки службы своих автомобильных дорог до китайского, европейского или американского уровня? // Второй Всероссийский Дорожный Конгресс: сб. науч. тр. М.: МАДИ, МОО «Дорож. Конгресс», 2010. С. 44–50.
- [7] Костельов М.П., Перевалов В.П., Пахаренко Д.В. До какого уровня (китайского, европейского или американского ?) следует России поднимать качество строительства и сроки службы своих новых автомобильных дорог [Электронный ресурс] // Каталог-справочник «Дорожная техника 2011». СПб.: ООО «Славутич», 2011. С. 13–26.
- [8] Heejune L., Schmitt R., Hui-Ping T., Jeffrey S. R., Hussain U. B., Bosscher P. Automated Hot Mix Asphalt Construction System by Integrating Productivity and Material Quality // Proceedings of the 15th ISARC, Munchen, Germany, 1998, pp. 163–172.
- [9] Heejune L., Jeffrey S.R., Robert L.S., Hui-Ping T., Awad S.H., Hussain U.B. Computer-integrated methodologies for real-time control of asphalt paving operations // Proceedings of the 15th ISARC, Munchen, Germany, 1998, pp. 423–431.
- [10] Heejune L., Robert L.S., Hui-Ping T., Jeffrey S.R., Hussain U.B. Automated quality control of hot-mix asphalt construction operation // Proceedings of the 16th ISARC, Madrid, Spain, 1999, pp. 17–22.
- [11] Доценко А.И. Комплексная автоматизация производства асфальтобетонной смеси с учетом влияния факторов её транспортировки, укладки и уплотнения: Автореф. дисс. ...д-ра техн. наук: 05.13.06. М.: РГБ, 2006.
- [12] Maksimych O.I., Karelina M.Y., Ostroukh A.V., Sultan Iadimirovich Zhankaziev S.V., Pastukhov D.A., Nuruev Y. Elshan-ogly. Automated

- Control System of Road Construction Works // International Journal of Applied Engineering Research. ISSN 0973-4562. Volume 11, Number 9 (2016), pp 6441-6446.
- [13] Максимычев О.И. Концепция автоматизированной системы управления дорожно-строительными работами // Автоматизация и управление в технических системах. 2015. № 1. С. 80–91.; URL: aut.esrae.ru/13-257. DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-10. ISSN 2306-1561.
 - [14] Максимычев О.И., Васильевский А.М. Новые направления в автоматизации технологий дорожного строительства // Вестник МАДИ. Вып. 3 (30). 2012. С. 53–57.
 - [15] Ватин Н.И., Колосова Н.Б., Бердюгин И.А. Исследование методик оценки эффективности производства земляных работ // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2013, № 7 (12). С. 64–70.
 - [16] Ватин Н.И., Колосова Н.Б., Бердюгин И.А. Эффективность применения систем автоматического управления AccuGrade в строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений, 2013, № 4 (9). С. 29–35.
 - [17] Костельов М.П., Пахаренко Д.В., Бринкс З.К. Как правильно выбрать и настроить асфальтоукладчик // Каталог-справочник «Дорожная техника – 2007». 2007. Вып. № 70.
 - [18] Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т. Комплексная автоматизация технологических процессов устройства дорожных покрытий: монография. Красноярск: Сибирский федер. ун-т, 2011. 152 с. ISBN 978–5–7638–2284–7.
 - [19] Кустарев Г.В. «Мозги» для катков – панацея или помощник? // Автомобильные дороги. № 9 (934). 2009. С. 118–121.
 - [20] Тюремов И.С., Чабуткин Е.К., Окулов Р.Д. «Интеллектуальные» катки – «интеллектуальное» уплотнение // Строит. и дор. машины. № 8. 2008.
 - [21] Шестаков В.Н., Пермяков В.Б., Ворожейкин В.М., Старков Г.Б. Технологическое обеспечение качества строительства асфальтобетонных покрытий: Методические рекомендации. Омск: ОАО «Омский дом печати», 2004. 256 с.
 - [22] Пат. 97742 РФ, МПК7 В 01 С 19/42. Система автоматического управления положением выглаживающей плиты асфальтоукладчика / А.С. Климов, Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, С.С. Климов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». № 2010108004/03; заявл. 04.03.2010; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26–10. 2 с.
 - [23] Пат. 95681 РФ, МПК7 В 01 С 19/42. Устройство для управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси / Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, А.С. Климов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». № 2009118046/22; заявл. 12.05.2009; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19–10. 2 с.
 - [24] Пат. 105307 РФ, МПК Е 01 С 19/48. Система автоматического управления асфальтоукладчиком / А.С. Климов, Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, С.С. Климов, А.И. Авласевич; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». № 2011106074/03; заявл. 17.02.2011; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 16_11. 2 с.
 - [25] Пат. 106627 РФ, МПК Е 01 С 23/07. Система автоматического управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси катком / А.С. Климов, Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, С.С. Климов, И.Б. Оленев, Е.С. Турышева; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». № 2011109346/03; заявл. 11.03.2011; опубл. 11.07.2011, Бюл. № 20_11. 2 с.
 - [26] Пат. на изобрет. 2499095 РФ, МПК Е 01 С 23/07 (2006.01). Цифровая адаптивная система управления процессом уплотнения асфальтобетонной смеси / А.С. Климов, Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев, С.С. Климов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». № 2012114326/03; заявл. 11.04.2012; опубл. 20.11.2013, Бюл. № 32. 9 с.
 - [27] Прокопьев А.П., Емельянов Р.Т., Иванчура В.И. Методы управления технологическими процессами строительства асфальтобетонных покрытий: монография. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. 255 с. ISBN 978-5-7638-2585-5.
 - [28] Asphalt Compaction Documentation – ACD. GEODYNAMIK. URL: www.geodynamik.com.
 - [29] United States Patent 8,099,218. Paving system and method. 2012.