

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Набижанова Жасурбека Ильхомовича
«Нейросетевая система управления процессом уплотнения при укладке
асфальтобетонных смесей», представленную на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – Автоматизация и
управление технологическими процессами и производствами

1. Актуальность темы диссертации

Программой цифровизации в сфере дорожного хозяйства в Российской Федерации (Распоряжение Минтранса России от 31 мая 2021 г. № ВС-105-р) предусмотрены мероприятия по использованию информационных моделей объектов капитального строительства для всех автомобильных дорог. Одним из элементов цифровизации строительства являются автоматизированные строительные и дорожные машины.

Повышение эффективности при современном строительстве асфальтобетонных покрытий можно обеспечить за счет применения методов неразрушающих технологий контроля качества уплотнения. Зарубежными фирмами выпускаются системы непрерывного интеллектуального уплотнения и непрерывного контроля уплотнения, которые устанавливаются на дорожные катки. Им посвящено много научных работ.

За счет оптимального уплотнения асфальтобетонной смеси в начале этапа строительства асфальтоукладчиком и, на завершающем этапе – дорожными катками можно уменьшить до 50% недостатков дорожных покрытий и увеличить срок их службы. Основным показателем качества уплотнения асфальтобетонных покрытий является коэффициент уплотнения. В Российской Федерации коэффициент уплотнения определяется после завершения строительства с применением разрушающей технологии – вырубки кернов.

Современные асфальтоукладчики могут обеспечить высокое уплотнение дорожных смесей, при этом уменьшается использование дорожных катков. В диссертационной работе, для повышения производительности укладчиков, предложены системы непрерывного контроля и управления процессом уплотнения. Научные работы в этом направлении носят описательный характер и посвящены отдельным задачам создания системы контроля коэффициента уплотнения для асфальтоукладчиков. Процесс уплотнения дорожных материалов асфальтоукладчиками значительно отличается от процесса уплотнения дорожных катков, непрерывностью работы, уплотняющими элементами, температурным диапазоном, шириной укладки, нивелированием и профилированием дорожной поверхности и т.д. Для разработки систем непрерывного контроля и управления процессом уплотнения на основе современных средств компьютерного моделирования, технических средств автоматизации и методов искусственного интеллекта, требуется проведение теоретических и экспериментальных научных работ.

Актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнения, учитывая поставленные автором задачи получения новых научно обоснованных технических разработок непрерывного контроля и управления качеством

уплотнения асфальтобетонных смесей при укладке, имеющих существенное значение для развития отечественной дорожно-строительной отрасли в современных условиях внедрения цифровизации строительства, информационных моделей объектов. Можно отметить также, что научная работа Набижанова Ж.И. поддержана грантом РФФИ № 19-37-90052 (2019-2021 гг.).

2. Общая характеристика работы

В диссертационной работе рассматривается научно-техническая задача, решение которой направлено на повышение производительности процесса уплотнения дорожных покрытий за счет применения нейросетевой системы управления коэффициентом уплотнения асфальтобетонных смесей. Для достижения цели в диссертационной работе решены следующие задачи:

- выполнен обзор методов, моделей и технологий контроля и управления уплотнением дорожных материалов. Предложены технические решения по усовершенствованию системы управления процессом уплотнения при укладке асфальтобетонных смесей;
- получены математическая и имитационная модели процесса уплотнения асфальтобетонной смеси рабочим органом асфальтоукладчика;
- предложен метод непрерывного нейросетевого контроля уплотнения асфальтобетонных смесей в процессе их укладки;
- разработана нейросетевая система управления уплотнением в процессе укладки асфальтобетонных смесей;
- разработано алгоритмическое и аппаратно-программное обеспечение нейросетевой системы контроля и управления уплотнением для асфальтоукладчиков.

Диссертация включает: введение, 4 главы, заключение, список литературы из 149 наименований, 62 рисунка, 10 таблиц, 6 приложений. Полный объем диссертации составляет 144 страниц.

Во *введении* обоснована актуальность выполненного автором научного исследования. Сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Приведены научная новизна, научная и практическая значимость, методы исследования, обоснованность и достоверность полученных в работе результатов.

В *первой главе* приведена характеристика технологического процесса строительства асфальтобетонных покрытий. Проведен обзор современных методов, моделей и информационных технологий неразрушающего контроля уплотнения при строительстве асфальтобетонных дорожных покрытий. Показаны особенности нейросетевой системы контроля уплотнения дорожных материалов, применяемые на вибрационных катках.

Вторая глава посвящена разработке математической и имитационной модели процесса уплотнения асфальтобетонной смеси рабочими органами асфальтоукладчика с целью получения данных для исследования модели непрерывного контроля коэффициента уплотнения. Приведено описание модели процесса уплотнения смеси асфальтоукладчиком в пространстве состояний. Дорожный материал представлен реологической моделью упруго-вязкого тела.

Приведено описание предложенной модифицированной имитационной модели рабочего процесса уплотнения дорожных материалов с блоком спектрального анализа сигналов от рабочих органов асфальтоукладчика в режиме реального времени. Показаны результаты проверки адекватности имитационной модели сопоставлением результатов компьютерного эксперимента и полевых исследований.

В *третьей главе* автором разработаны метод непрерывного анализа уплотнения и метод прогнозирования качества уплотнения смесей для асфальтоукладчиков на базе искусственной нейронной сети, которые позволяют находить и воспроизводить нелинейные зависимости между экспериментально измеренными показателями рабочего процесса уплотнения асфальтобетонных смесей. Метод непрерывного анализа построен на основе информационных сигналов, полученных в полевых условиях, таких как частота колебания трамбуемого бруса, тип смеси, скорость движения асфальтоукладчика и максимальное усилие в толкателе трамбуемого бруса. Метод прогнозирования качества уплотнения построен на основе разработанной имитационной модели, где входными параметрами сети служат тип смеси, скорость движения укладчика, усилие в толкателе трамбуемого бруса и частотные характеристики сигналов ускорений вибрационной выравнивающей плиты. Выходным параметром разработанных методов является значение коэффициента уплотнения асфальтобетонной смеси.

Приведено описание предложенной автором нейросетевой системы управления процессом уплотнения при укладке асфальтобетонных смесей. Идентификацию параметров модели рабочего процесса в реальном времени обеспечивает нейросетевая модель контроля уплотнения асфальтобетонных смесей. Модель нейросетевой автоматизированной системы управления состоит из моделей двух искусственных нейронных сетей. Первая нейронная сеть входит в состав нейросетевого регулятора частоты колебания трамбуемого бруса, а вторая обеспечивает метод непрерывного анализа уплотнения.

В *четвертой главе* анализируется технологический процесс автоматизированного асфальтоукладчика в составе кибер-физической дорожно-строительной системы. Приведено описание принципа работы системы нейросетевого непрерывного контроля и управления, и рекомендации по ее программно-техническому обеспечению.

Описываются полевые испытания (г. Красноярск) асфальтоукладчика с системой нейросетевого непрерывного контроля и управления. Показаны результаты полевых и лабораторных испытаний.

В *заключении* обобщены полученные в процессе диссертационного исследования научные и практические результаты.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

В *приложении* представлены свидетельства государственной регистрации программы для ЭВМ и приведены акты внедрения.

В целом выполненное диссертационное исследование соответствует поставленной цели, решаемым задачам по ее достижению.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Сформулированные в диссертационной работе научные положения соответствуют поставленной цели. Основная идея работы Набижанова Ж.И. заключается в определении и корректировке режимных параметров процесса уплотнения асфальтобетонных смесей укладчиками в соответствии с изменяемыми свойствами уплотняемого материала с помощью нейросетевой автоматизированной системы управления, позволяющей повысить производительность технологического процесса. Научные положения, выводы и рекомендации обоснованы результатами теоретических и экспериментальных исследований, определяемых поставленными задачами и содержанием диссертационной работы. Степень достоверности результатов подтверждается применением известных положений теории автоматического управления, методов математической статистики, математического моделирования и машинного обучения, теории планирования эксперимента и удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментальных результатов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) получена модифицированная имитационная модель процесса уплотнения асфальтобетонной смеси рабочими органами укладчиков, отличающаяся от известных определением значений усилия в толкателе трамбующего бруса и спектров вертикального ускорения вибрационной плиты, позволяющая определять влияние рабочих параметров асфальтоукладчика на физико-механические свойства дорожных материалов;

2) предложен метод непрерывного анализа уплотнения асфальтобетонных смесей на основе нейронных сетей, отличающийся учетом усилия в толкателе трамбующего бруса, позволяющий определять коэффициент уплотнения;

3) разработана модель системы прогнозирования качества уплотнения при укладке асфальтобетонных смесей, отличающаяся от известных учетом усилия в толкателе трамбующего бруса и вертикального ускорения колебаний вибрационной плиты укладчика, позволяющая прогнозировать коэффициент уплотнения в режиме реального времени;

4) предложен новый метод нейросетевого управления уплотнением в процессе укладки асфальтобетонных смесей, отличающийся от известных возможностью автоматически регулировать величину коэффициента уплотнения, позволяющий автоматизировать управление процессом уплотнения.

4. Практическая значимость результатов диссертационного исследования

Основное практическое значение диссертации заключается в разработке методов непрерывного контроля качества уплотнения асфальтобетонных смесей при укладке, программных средств, позволяющих определять оптимальные значения режимных параметров уплотнения в зависимости от физико-механических свойств смесей. На созданное программное обеспечение для контроля и управления уплотнением при укладке асфальтобетонных смесей получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Практическое приложение выводов и рекомендаций, полученных по результатам диссертационного исследования, подтверждено актами о внедрении нейросетевой системы контроля и управления процессом уплотнения для асфальтоукладчиков.

Результаты диссертационной работы позволяют:

- дорожно-строительным организациям, осуществляющим работы по строительству асфальтобетонных дорожных покрытий, улучшить планирование проекта производства работ, максимально использовать технические возможности асфальтоукладчиков, планировать повышение производительности труда, снизить нагрузку на машинистов;
- модернизировать асфальтоукладчики путем оснащения автоматизированной системой управления режимами уплотнения;
- учебным организациям создавать и совершенствовать учебно-методические комплексы для обучения студентов по направлениям, связанным с разработкой систем непрерывного контроля и управления процессом укладки и уплотнения дорожных материалов, исследованиями влияния динамических и режимных параметров укладчиков на физико-механические свойства дорожных материалов.

5. Апробация диссертационной работы

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на международных конференциях. Материалы диссертационной работы опубликованы в открытой печати в 43 работах, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК, 14 статей в изданиях, индексируемых Scopus и Web of Science, 19 публикаций в материалах международных научных конференций. Получено 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ, поданы 2 заявки на изобретение в Роспатент.

6. Замечания по диссертационной работе

Оценивая положительно результаты диссертационного исследования, следует отметить ряд замечаний по диссертации и автореферату:

1. Главу 1 диссертации следовало назвать «СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ» учитывая отсутствие в названии главы 1 ключевых слов «управление», «нейросетевая», «укладка асфальтобетонной смеси», и в то же время использование второстепенного для работы термина «неразрушающего контроля».

2. В главе 1 по результатам обзора не приведено описание предложенного автором нового способа непрерывного нейросетевого контроля и управления уплотнением в процессе укладки асфальтобетонных смесей, о котором сообщается в диссертации с. 9 и автореферате с. 4.

3. В главе 2 диссертации отсутствует пояснение блока спектрального анализа сигналов ускорения вибрационной плиты, представленной в имитационной модели (Рисунок 26).

4. Раздел диссертации 3.1.1 «Система прогнозирования качества уплотнения...» следовало бы назвать «3.1.1 Система оценки качества уплотнения...», так как результатом функционирования системы является расчетное значение коэффициента уплотнения (Рисунок 34. Алгоритм...).

5. В главе 4 диссертации «РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА...» отсутствуют рекомендации по выбору контроллера, программному обеспечению нейросетевой системы контроля и управления процессом уплотнения для асфальтоукладчиков.

6. В автореферате на с. 8 формулы (1)–(3) имеют дефекты оформления.

Отмеченные замечания не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации.

7. Заключение

Диссертационная работа Набижанова Жасурбека Ильхомовича «Нейросетевая система управления процессом уплотнения при укладке асфальтобетонных смесей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-обоснованные технические решения непрерывного нейросетевого контроля и управления процессом уплотнения при строительстве дорожных покрытий автомобильных дорог. На основании анализа материалов диссертационной работы, автореферата и опубликованных автором работ можно сделать вывод, что диссертационное исследование содержит достоверные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью в предметной области.

Считаю, что диссертационная работа удовлетворяет требованиям «Положения о присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор Набижанов Жасурбек Ильхомович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

Официальный оппонент,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Технология,
организация и экономика»
ФГБОУ ВО «Сибирский
государственный университет
путей сообщения»

Кузнецов Сергей Михайлович

24 апреля 2022 года

Адрес места работы: 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук 191.

E-mail: ksm56@yandex.ru

Контактный телефон: +7 (383) 328-04-57, +7-952-901-50-10.

Подпись Кузнецова С.М. заверяю:

