

## **АННОТАЦИЯ**

**диссертации на соискание ученой степени доктора философии PhD  
по специальности 6D071300 – «Транспорт, транспортная техника и  
технологии»**

Кунаев Вячеслав Александрович

### **Определение параметров средств механизации и технологического процесса гидрофобизации шлакового щебня**

#### **Актуальность**

Производство и доставка щебня для устройства оснований автомобильных дорог являются одними из наиболее материалоемких, финансово- и энергозатратных операций в дорожном строительстве. Переработка и дальнейшее использование твердых металлургических шлаков вместо дорогостоящего природного щебня сокращает стоимость строительства автодороги, значительно снижает экологическую нагрузку в регионах за счет ликвидации шлакоотвалов, позволяет сохранить запасы горно-химического сырья, минеральных материалов.

Одним из перспективных направлений развития транспортной техники является разработка и внедрение нового оборудования и новых технологий производства строительных материалов, в том числе щебня для устройства дорожных оснований из твердых металлургических шлаков.

Максимум эффективности при использовании шлакового щебня в качестве материала дорожных оснований достигается при малом расстоянии его доставки от отвала к месту строительства автодороги. Таким образом, применение металлургических шлаков для производства дорожно-строительного щебня наиболее целесообразно в регионах с развитым металлургическим производством, например, в Карагандинской области. В этом регионе имеется крупное предприятие черной металлургии (АО «Арселор Миттал Темиртау»), обладающее колоссальными запасами промышленных отходов. В отвалах АО «Арселор Миттал Темиртау» накоплено свыше 30 млн. тонн доменного шлака.

Доменный шлак используется для производства шлакового щебня, но применение этого материала в дорожном строительстве ограничено из-за его высокого водопоглощения, недостаточной морозостойкости и снижающейся со временем прочности, обусловленных значительным количеством внутренних и внешних пор.

По этой причине использование щебня, полученного из доменного шлака, без заполнения его пор и дополнительной обработки гидрофобизирующим (водоотталкивающим) составом является нецелесообразным в силу быстрого разрушения автодорог, построенных на его основе. На настоящий момент не существует действующего и спроектированного оборудования, предназначенного для заполнения пор

шлакового щебня и его пропитки водоотталкивающим составом. Для определения оптимальных параметров средств механизации и технологического процесса гидрофобизации шлакового щебня необходимо проведение предварительных аналитических и экспериментальных исследований, в том числе по получению дорожно-строительного материала. Это обуславливает актуальность настоящего диссертационного исследования, направленного на проектирование нового оборудования и технологической линии для переработки доменного шлака и получения из него качественного материала для строительства дорожных оснований.

**Целью работы** является установление зависимостей, позволяющих разработать технологию и оборудование для получения материала дорожных оснований на основе доменного шлака.

**Основная идея работы** заключается в повышении долговечности и снижении водопоглощения дорожно-строительного материала за счет изменения его структуры заполнением пор.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести литературно-патентный обзор средств механизации, перспективных технологий дорожного строительства, материалов дорожных оснований;

- разработать экономико-математическую модель, позволяющую выбрать оптимальный вариант технологического процесса дорожного строительства в конкретных условиях и установить требования к оборудованию, необходимому для создания опытной технологической линии по гидрофобизации шлакового щебня, а также к технологическому процессу обработки этого материала;

- разработать предложения по комплексу оборудования и технологии гидрофобизации дорожно-строительного шлакового щебня на основе экспериментальных исследований;

- экспериментально определить влияние предложенного способа обработки шлакового щебня на его физико-механические характеристики;

- выполнить обработку экспериментальных данных, разработать математическую модель процесса гидрофобизации шлакового щебня;

- определить оптимальные параметры оборудования, используемого в составе предлагаемой линии;

- разработать техническое задание на проектирование опытной технологической линии для гидрофобизации шлакового щебня.

**Объектом исследования** является технологический процесс дорожного строительства.

**Предмет исследования** – оборудование и технология для повышения физико-механических характеристик дорожно-строительного шлакового щебня.

**Методы исследования:** экономико-математическое моделирование, теория оптимизации, лабораторный эксперимент, корреляционный анализ, математическое моделирование, теория планирования эксперимента.

**Научная новизна.** В работе впервые:

- предложено понятие "условия дорожного строительства" и установлено множество параметров, определяющих вид и критерии оптимизации разрабатываемой экономико-математической модели;

- на основе экономико-математической модели, позволяющей оценивать разные варианты технологий возведения автодороги по критериям оптимизации, установлены зависимости, взаимосвязывающие технические параметры строительно-дорожных машин, физико-механические свойства строительных материалов, дальность их доставки к строящейся автомобильной дороге и экономические характеристики процесса дорожного строительства;

- в результате анализа математической модели процесса гидрофобизации шлакового щебня получены закономерности влияния обработки этого материала предложенным способом на его физико-механические свойства, определяющие оптимальную продолжительность рабочего цикла и состав оборудования, используемого для решения этой задачи;

- установлены математические зависимости, позволяющие разработать комплекс оборудования для гидрофобизации шлакового щебня и определить основные требования к его параметрам.

**Практическая значимость** заключается в разработке предложений, рекомендаций и технического задания на проектирование линии по гидрофобизации дорожно-строительного щебня на основе доменного шлака.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- предложенный способ гидрофобизации шлакового щебня, снижающий его водопоглощение с 5,71% до 1,11% и повышающий прочность, определенную по результатам испытаний на дробимость, с марки М800 до М1000;

- разработанная многокритериальная экономико-математическая модель, позволяющая выбирать по требованиям заказчика вариант выполнения строительных работ с минимальными дисконтированными затратами, трудоемкостью и сроком строительства;

- способ расчета критического расстояния расположения отвалов шлакового щебня от объекта строительства, определяющий экономическую целесообразность применения предлагаемого оборудования в конкретных условиях;

- метод установления оптимального времени пропитки шлакового щебня водооталкивающим составом;

- полученные в результате экспериментальных исследований зависимости, позволяющие рассчитать параметры оборудования и технологического процесса гидрофобизации шлакового щебня.

**Автор защищает:**

1) предложенное множество условий дорожного строительства, определяющих требования к технологическому процессу и оборудованию для строительства автомобильных дорог;

2) выбранные критерии оптимальности и результаты анализа экономико-математической модели;

3) предложенный способ обработки шлакового щебня;

4) результаты экспериментальных исследований, выраженных в уравнении аппроксимации, связывающем значения времени пропитки шлакового щебня и его водопоглощения;

5) математическую модель, определяющую скорость и ускорение изменения водопоглощения шлакового щебня, позволяющую рассчитать продолжительность рабочего цикла предлагаемого оборудования;

6) условия эффективного применения гидрофобизированного шлакового щебня при возведении дорожных оснований;

7) предложения по конструкции предлагаемого оборудования, технологическую линию по гидрофобизации шлакового щебня и разработанное техническое задание.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов** подтверждается корректностью постановки задачи, адекватностью теоретических и экспериментальных исследований.

**Личный вклад автора** заключается в постановке задач, разработке методики исследования, установлении множества условий дорожного строительства, разработке и анализе экономико-математической модели, позволяющей оценивать разные варианты технологических процессов строительства автодороги по критериям оптимизации, планировании и выполнении экспериментальных исследований, позволивших определить параметры средств механизации и технологического процесса гидрофобизации шлакового щебня, разработке и исследовании математической модели этого процесса, разработке технического задания на проектирование опытной технологической линии по гидрофобизации шлакового щебня.

**Реализация результатов работы.** Методика определения оптимальной продолжительности пропитки пористых дорожно-строительных материалов водоотталкивающим составом, позволяющая устанавливать рациональные параметры технологического цикла машины для гидрофобизации шлакового щебня, передана в ТОО «Центрпромстрой» в 2018 году. Разработанная методика экспериментальных исследований представлена в методическом указании для выполнения исследований студентами, магистрантами, докторантами «Основы научных исследований».

## **Сведения о публикациях**

По материалам диссертации опубликовано 20 работ на русском, казахском и английском языках. Из них 1 статья в журнале, входящем в базы данных рейтинговых агентств Thomson Reuters и Scopus, 1 статья в журнале, входящем в базу данных рейтингового агентства Scopus, 6 статей в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК. Работа апробировалась на 7 международных конференциях, в том числе 2 зарубежных. Имеется 1 свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права и 1 патент на полезную модель.

## **Выводы.**

1) На основе выполненного литературно-патентного обзора установлено множество условий дорожного строительства, определяющее вид и критерии оптимизации разработанной экономико-математической модели, которая позволяет оценивать разные варианты технологий возведения автодороги, в том числе эффективность использования оборудования для гидрофобизации шлакового щебня.

2) По результатам анализа экономико-математической модели для снижения дисконтированных затрат на строительство автодорог предложено использовать в качестве материала дорожных оснований щебень на основе доменного шлака вместо дорогостоящего природного щебня.

3) На основе экспериментальных исследований установлен комплекс требований к оборудованию, технологии и материалам, необходимым для обработки дорожно-строительного шлакового щебня предложенным способом.

4) Предложена и обоснована технология обработки шлакового щебня для дорожного строительства, включающая заполнение его пор смесью цемента с микрокремнеземом и измельченным доменным шлаком и последующую пропитку водоотталкивающим составом, например, отработанным моторным маслом. Разработаны предложения по оборудованию для гидрофобизации шлакового щебня.

5) Проведенные экспериментальные исследования показали, что обработка шлакового щебня предложенным способом снижает его водопоглощение с 5,71 до 1,11% и повышает прочность с марки М800 до М1000.

6) По результатам обработки экспериментальных данных установлено наличие средней корреляционной связи между временем пропитки шлакового щебня гидрофобизатором и его водопоглощением ( $r=-0.598$ ), построена математическая модель, описывающая динамику процесса гидрофобизации шлакового щебня, позволяющая рассчитать оптимальную продолжительность рабочего цикла оборудования.

7) Разработано техническое задание на проектирование опытной технологической линии для обработки шлакового щебня предложенным способом, обоснованы конструкции машины для гидрофобизации шлакового щебня и универсальной фрезы со сменными рабочими инструментами

(щетками с синтетической щетиной), установлены математические зависимости для определения основных показателей назначения (производительность, продолжительность рабочего цикла) предлагаемого оборудования.

8) Определены рациональные параметры оборудования, используемого в составе технологической линии по гидрофобизации шлакового щебня.