

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-  
дорожный университет (СибАДИ)»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

## НАУЧНЫЙ ДОКЛАД

Об основных результатах научно-квалификационной работы (диссертации)

Тема: «Дорожный бетон с добавкой золошлаковых отходов для  
климатических условий Западной Сибири»

Направление подготовки 08.06.01 «Техника и технологии строительства»  
Научная направленность «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Аспирант



Явинский Александр Викторович

Допустить к защите научного доклада:

Заведующий кафедрой ПГС



к.т.н., доцент, М.А. Ращупкина

Научный руководитель:



д.т.н., профессор, И.Л. Чулкова

Нормоконтроль:



к.т.н., доцент, П.П. Дерябин

Омск-2026

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

**Актуальность.** Стратегические государственные документы (Транспортная стратегия до 2030 г., нацпроекты «Безопасные качественные дороги» и др.) ставят масштабные задачи по развитию дорожной сети РФ. Их решение требует огромного количества природных минеральных материалов. В условиях подорожания и истощения традиционных ресурсов остро востребованы альтернативные источники сырья. Наиболее перспективным представляется вовлечение крупнотоннажных техногенных отходов в производство композитов для дорожных конструкций.

Большинство российских трасс сегодня имеют асфальтобетонное покрытие, которое недостаточно устойчиво к суровым условиям эксплуатации. Цементобетон, напротив, выигрывает по долговечности, прочности и сопротивлению износу. Применение золошлаковых материалов (ЗШМ) в дорожной отрасли позволит улучшить как экологическую, так и экономическую ситуацию.

Исследование поддержано грантом У.М.Н.И.К. (договор № 18924ГУ/2023 от 02.10.2023).

**Степень изученности вопроса.** Переработкой промышленных отходов для стройиндустрии занимались Г.С. Меренцова, Н.В. Савицкий, С.-А.Ю. Муртазаев, В.В. Белов, Т. Torichigai, R. Davis и другие. Особенности структурообразования и свойств бетонов с ЗШМ ТЭЦ активно исследовались в последние десятилетия в связи с ростом объема техногенных отходов. Благодаря этим работам изучены физико-химические процессы гидратации цемента в присутствии ЗШМ, установлена пуццолановая активность разных видов золошлаков, выявлены закономерности формирования цементной матрицы при замещении части цемента этими компонентами. Описано влияние ЗШМ на прочность (в ранние и поздние сроки), водопоглощение, морозостойкость, истираемость.

Тем не менее, остаются недостаточно проработанными вопросы управления технологическими свойствами бетонных смесей для дорог и эксплуатационными характеристиками (особенно морозостойкость при частых переходах через 0°C, водонепроницаемость, истираемость) при совместном введении ЗШМ с пластификаторами и гидрофобизаторами в климатических и сырьевых реалиях Западной Сибири. Также мало изучено влияние гранулометрии ЗШМ на свойства итогового композита.

**Объект исследования:** тяжелая бетонная смесь с ЗШМ и химическими модификаторами, а также получаемый на ее основе тяжелый бетон.

**Предмет исследования:** физико-механические свойства (морозостойкость, истираемость, водонепроницаемость) модифицированного тяжелого бетона, предназначенного для дорожного строительства.

**Цель работы:** предложить научно обоснованное технологическое решение для получения дорожного тяжелого бетона с улучшенными характеристиками (морозостойкость, истираемость, водонепроницаемость) за счет модификации ЗШМ и новыми химическими добавками.

**Задачи исследования:**

1. Проанализировать существующие представления о тяжелых бетонах с частичной заменой традиционных компонентов на ЗШМ.

2. Оценить влияние свойств ЗШМ (глубина хранения, зерновой состав, генезис) на свойства раствора.

3. Подобрать оптимальное соотношение компонентов и химических добавок в составе тяжелого бетона для дорожных одежд.

4. Разработать технологические рекомендации, провести опытно-промышленную апробацию.

5. Рассчитать технико-экономическую эффективность предложенных решений.

**Научная гипотеза:** если заменить часть цемента ЗШМ определенного минерально-гранулометрического состава и ввести комплекс химических добавок (в т.ч. из отходов), то в дорожном бетоне сформируется плотная

упаковка, что повысит морозостойкость, водонепроницаемость и сопротивление истиранию в условиях Западной Сибири.

#### **Научная новизна:**

1. Обосновано и подтверждено технологическое решение: введение до 20% кислых ЗШМ взамен части цемента вместе с комплексом добавок (воздухововлекающая 0,05% – «Полипласт Аэро», пластифицирующая 1% – ССФС, гидрофобизирующая 1% – ДГС из соапстока). Это обеспечивает уплотнение структуры за счет пуццоланической реакции и образования дополнительных гидросиликатов кальция, в результате чего достигаются марки: по истираемости G1, водонепроницаемости W12, морозостойкости F3300.

2. Выявлена зависимость: при уменьшении отношения остатка на сите 0,315 к остатку на сите 0,16 прочность бетона возрастает до 21%. Предложен коэффициент  $k$  для отбора ЗШМ в дорожные бетоны.

3. Разработана гидрофобизирующая добавка из отхода маслопроизводства (соапсток), которая сокращает водопоглощение бетона в 3 раза (до 4,8%).

#### **Теоретическая значимость:**

- Расширены теоретические представления о влиянии гранулометрии ЗШМ на прочность тяжелого бетона.
- Предложен научно обоснованный подход к проектированию составов дорожного тяжелого бетона с заменой 20% цемента на ЗШМ и комплексом химдобавок.
- Теоретически обоснована необходимость отбора ЗШМ с определенным зерновым составом.

#### **Практическая значимость:**

- Создана комплексная гидрофобизирующая добавка (соапсток + насыщенный раствор КОН), повышающая эксплуатационные свойства цементных композитов.

- Предложен к применению состав тяжелой дорожной бетонной смеси (цемент 288 кг, ЗШМ 72 кг, вода 166 кг, песок 700 кг, щебень 1150 кг, ССФС 2,9 кг, ДГС 2,8 кг, Полипласт Аэро 0,14 кг), дающий повышенные эксплуатационные характеристики для дорожных плит.
- Разработаны нормативные и технологические документы, проведена производственная апробация.

**Методология и методы:** системный подход при разработке композитов. Используются стандартные методы, а также РФА, ДТА. Исследования выполнены в аккредитованной лаборатории.

**Положения на защиту:**

1. Обоснование возможности совместного применения ЗШМ и комплекса химических добавок в тяжелом дорожном бетоне без потери эксплуатационных качеств.
2. Коэффициент  $k$  для отбора ЗШМ, позволяющий косвенно прогнозировать прочность бетона.
3. Установленное влияние комплекса химдобавок на физико-механические показатели.
4. Технологическое решение: использование влажных ЗШМ без предварительной сушки, вводимых в предварительно замешанную смесь.
5. Результаты апробации и экономической эффективности.

**Достоверность** обеспечена математическим планированием экспериментов, использованием современного оборудования (ЦК ИВРМСО СибАДИ, ФГБОУ ВО «СибГИУ», институт катализа СО РАН), положительными производственными испытаниями.

**Внедрение результатов исследований:** составы и технология применены при изготовлении изделий на ЖБИ-7 (г. Омск). Материалы используются в учебном процессе кафедры ПГС СибАДИ.

**Апробация:** результаты представлены на многих конференциях: Омск (2020, 2021-2022, 2022, 2023), Новосибирск (2020, 2021-2025), Белгород (2021, 2026), Караганда (2022), Новокузнецк (2025), Душанбе (2020).

**Публикации:** 28 работ, из них 10 в журналах ВАК РФ. Подана 1 заявка на патент.

**Личный вклад автора:** формулировка гипотезы, создание теоретической базы, планирование и проведение экспериментов, обработка результатов, публикации, участие во внедрении.

# ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

## Глава 1. Состояние вопроса

В главе проанализированы особенности дорожных покрытий (асфальтобетонные и цементобетонные). Показано, что асфальтобетон в суровых условиях Западной Сибири быстро изнашивается, а цементобетон дорог из-за высокой стоимости цемента. Рассмотрены требования нормативных документов к бетонам транспортного назначения (морозостойкость F200–F450, водонепроницаемость не ниже W8). Обобщён отечественный и зарубежный опыт использования золошлаковых материалов (ЗШМ) – в Китае, Японии, США утилизация достигает 70–100%, в РФ низкая. Выявлены основные закономерности влияния ЗШМ на структуру бетона (пуццолановая активность, гранулометрия). Обоснована необходимость совместного применения химических добавок (пластификаторов, гидрофобизаторов, воздухововлечателей) для управления свойствами. Определены недостаточно изученные аспекты: влияние зернового состава кислых ЗШМ Западной Сибири, комплексное воздействие добавок на морозостойкость, водонепроницаемость и истираемость дорожного бетона.

## Глава 2. Характеристика сырьевых материалов. Методы испытаний

Описаны сырьевые материалы: портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н (ООО «СЛК Цемент»), песок речной (ОмРечпорт), щебень Шипуновского месторождения (фр. 5–20 мм), ЗШМ ТЭЦ-4 г. Омска (отбор проб с разных глубин), а также ЗШМ ТЭЦ-5 г. Новосибирска, Рефтинской ГРЭС, Северной ТЭЦ. Приведены химические, минералогические составы, удельная поверхность (219–490 м<sup>2</sup>/кг). Описаны химические добавки: пластификаторы

Sika Concrete и ССФС, гидрофобизаторы (олеат натрия, Пента 811, Profilux, ДГС на основе соапстока), воздухововлекатель Полипласт Аэро. Представлены методики испытаний (стандартные методы, РФА, ДТА, математическое планирование эксперимента). Разработана структурно-методическая схема исследования.

### **Глава 3. Влияние химических добавок и ЗШМ на свойства растворов**

Исследовано влияние пластификаторов: Sika Concrete и ССФС (оптимальная дозировка 1,0% от массы цемента, снижение В/Ц на 22–28%, повышение прочности на 5–6%). Изучены гидрофобизаторы: наиболее эффективна ДГС (при дозировке 1,0% водопоглощение снижается с 14,2% до 4,8%, угол смачивания 139°). Для дорожного бетона выбран объёмный метод введения. Воздухововлекатель Полипласт Аэро (0,05% от массы цемента) даёт воздухововлечение 5–7% при потере прочности не более 12%. Подбор рационального количества ЗШМ показал, что замена 20% цемента на ЗШМ оптимальна (прочность снижается на 3,5%, прочность при изгибе максимальна). Установлено влияние удельной поверхности и гранулометрии ЗШМ: предложен параметр  $k = (\text{остаток на сите } 0,315) / (\text{проход через сито } 0,16)$ . При  $k \leq 0,7$  прочность бетона не ниже контрольной. Получена прогнозная формула:

$$R_{28} = 46,5 - 5,8 \cdot k \quad (1)$$

Все исследованные ЗШМ отнесены к пуццолановым добавкам.

### **Глава 4. Состав и свойства тяжелого дорожного бетона с ЗШМ и комплексом химических добавок**

Методом полнофакторного эксперимента  $3^3$  получены регрессионные модели для прочности при сжатии в возрасте 28, 90 и 360 суток.

Оптимальный состав (№4/№9): замена 20% цемента на ЗШМ + 1,0% ССФС + 1,0% ДГС + 0,05% Полипласт Аэро. Характеристики бетона: прочность при сжатии 28 сут – 32,6 МПа (класс В25), 360 сут – 56,2 МПа (на 16,8% выше контроля); водопоглощение – 1,5%; водонепроницаемость – W12; морозостойкость – F300 (ускоренно F3300); истираемость при –50°С – 0,65 г/см<sup>2</sup> (контроль 0,81); коэффициент размягчения – 0,83; время жизни смеси – 120 мин. РФА и ДТА подтвердили пуццолановую реакцию (снижение портландита на 35%, рост C-S-H). Доказана эффективность комплекса добавок для достижения высоких эксплуатационных свойств.

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента

№ опыта	x <sub>1</sub> (ЗШМ)	x <sub>2</sub> (ССФС)	x <sub>3</sub> (ДГС)	ЗШМ, %	ССФС, %	ДГС, %
1	-1	-1	-1	0	0	0
2	-1	-1	0	0	0	0,5
3	-1	-1	1	0	0	1
4	-1	0	-1	0	0,5	0
5	-1	0	0	0	0,5	0,5
6	-1	0	1	0	0,5	1
7	-1	1	-1	0	1	0
8	-1	1	0	0	1	0,5
9	-1	1	1	0	1	1
10	0	-1	-1	10	0	0
11	0	-1	0	10	0	0,5
12	0	-1	1	10	0	1
13	0	0	-1	10	0,5	0
14	0	0	0	10	0,5	0,5
15	0	0	1	10	0,5	1
16	0	1	-1	10	1	0
17	0	1	0	10	1	0,5
18	0	1	1	10	1	1
19	1	-1	-1	20	0	0
20	1	-1	0	20	0	0,5
21	1	-1	1	20	0	1
22	1	0	-1	20	0,5	0
23	1	0	0	20	0,5	0,5
24	1	0	1	20	0,5	1
25	1	1	-1	20	1	0

26	1	1	0	20	1	0,5
27	1	1	1	20	1	1

Таблица 2 – Составы тяжелого бетона на кг/м<sup>3</sup> и их прочность

№	Цемент	ЗШМ	Вода	Песок	Щебень	ССФС	ДГС	Полипласт Аэро	R <sub>28</sub> , МПа	R <sub>90</sub> , МПа	R <sub>360</sub> , МПа
1	360	0	166	700	1150	0	0	0	34,7	44,5	48,1
2	360	0	164	700	1150	0	1,8	0,18	36,0	46,0	50,5
3	360	0	162	700	1150	0	3,6	0,18	36,5	48,0	54
4	360	0	164	700	1150	1,8	0	0,18	36,1	46,2	50,4
5	360	0	162	700	1150	1,8	1,8	0,18	36,4	47,8	53,9
6	360	0	160	700	1150	1,8	3,6	0,18	36,6	48,1	54,2
7	360	0	162	700	1150	3,6	0	0,18	36,3	47,9	53,8
8	360	0	160	700	1150	3,6	1,8	0,18	36,5	48,2	54,1
9	360	0	158	700	1150	3,6	3,6	0,18	36,4	48,0	54,0
10	324	36	170	700	1150	0	0	0	34,0	47,0	52,0
11	324	36	168	700	1150	0	1,6	0,16	34,5	48,5	55,0
12	324	36	166	700	1150	0	3,2	0,16	33,8	47,5	56,0
13	324	36	168	700	1150	1,6	0	0,16	34,4	48,6	55,1
14	324	36	166	700	1150	1,6	1,6	0,16	33,9	47,6	55,9
15	324	36	164	700	1150	1,6	3,2	0,16	33,7	47,4	56,1
16	324	36	166	700	1150	3,2	0	0,16	33,9	47,5	56,0
17	324	36	164	700	1150	3,2	1,6	0,16	33,8	47,4	55,9
18	324	36	162	700	1150	3,2	3,2	0,16	33,8	47,5	56,1
19	288	72	174	700	1150	0	0	0	33,4	49,2	58,8
20	288	72	172	700	1150	0	1,4	0,14	33,0	48,0	57,5
21	288	72	170	700	1150	0	2,8	0,14	32,6	45,3	56,2
22	288	72	172	700	1150	1,4	0	0,14	33,1	48,1	57,4
23	288	72	170	700	1150	1,4	1,4	0,14	32,5	45,4	56,3
24	288	72	168	700	1150	1,4	2,8	0,14	32,6	45,2	56,1
25	288	72	170	700	1150	2,9	0	0,14	32,7	45,4	56,3
26	288	72	168	700	1150	2,9	1,4	0,14	32,5	45,3	56,2
27	288	72	166	700	1150	2,9	2,8	0,14	32,6	45,2	56,1

Для математического описания влияния факторов на прочность тяжёлого бетона в исследованном диапазоне (замена цемента ЗШМ 0–20%, суммарная дозировка добавок ССФС и ДГС 0–2% от массы цемента) методом регрессионного анализа по данным 27 экспериментов (таблица 4.2) получены следующие квадратичные модели:

1. Прочность при сжатии (28 сут):

$$R_{28} = 34,44 - 0,67A + 0,55B - 0,07A^2 - 0,47B^2 - 0,13AB, \quad (2)$$

При  $R^2 = 0,94$

2. Прочность при сжатии (90 сут):

$$R_{90} = 46,73 + 1,68A + 0,63B - 0,87A^2 - 1,43B^2 - 1,25AB, \quad (3)$$

При  $R^2 = 0,96$

3. Прочность при сжатии (360 сут):

$$R_{360} = 53,00 + 4,07A + 0,93B - 1,43A^2 - 1,03B^2 - 1,58AB, \quad (4)$$

При  $R^2 = 0,95$

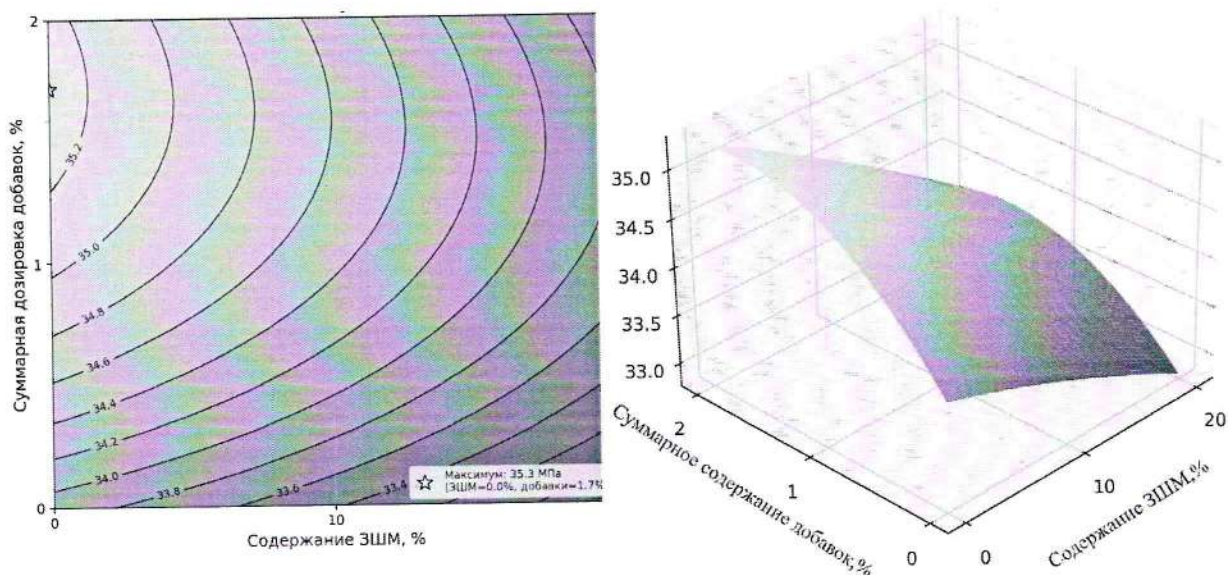


Рисунок 1 – Поверхности отклика для прочности тяжелого бетона для 28 суток

## Глава 5. Опытнo-промышленная проверка и технико-экономическая эффективность

Разработана технологическая схема производства дорожных плит: дозирование, сухое смешивание цемента и заполнителей, добавление воды с пластификатором ССФС, введение влажной ЗШМ, добавление воды с гидрофобизатором ДГС и воздухововлекателем, виброуплотнение, нормальное твердение или ТВО. Проведена опытнo-промышленная апробация на ЖБИ-7 г. Омска. Технико-экономический расчёт (цены 2025 г.): экономия на материалах – 194 руб./м<sup>3</sup> (3,6%) за счёт замены 20% цемента (8300 руб./т) на ЗШМ (1 руб./т). При годовом объёме 10 000 м<sup>3</sup> – 1,94 млн руб. Интегральный эффект с учётом повышения долговечности – 5–7 млн руб./год. Экологический эффект: утилизация 720 т ЗШМ/год, снижение выбросов CO<sub>2</sub> ≈ 58 кг/м<sup>3</sup> бетона.

На основе полученных результатов обоснована технология получения тяжёлого дорожного бетона класса В25 с 20-процентной заменой портландцемента на ЗШМ и комплексным введением химических добавок, обеспечивающая требования ГОСТ 33148-2014 к дорожным плитам. Разработаны технологические регламенты и нормативно-техническая документация на производство бетонной смеси и изготовление дорожных плит с использованием вторичных сырьевых ресурсов. Разработана технологическая схема производства дорожных плит.

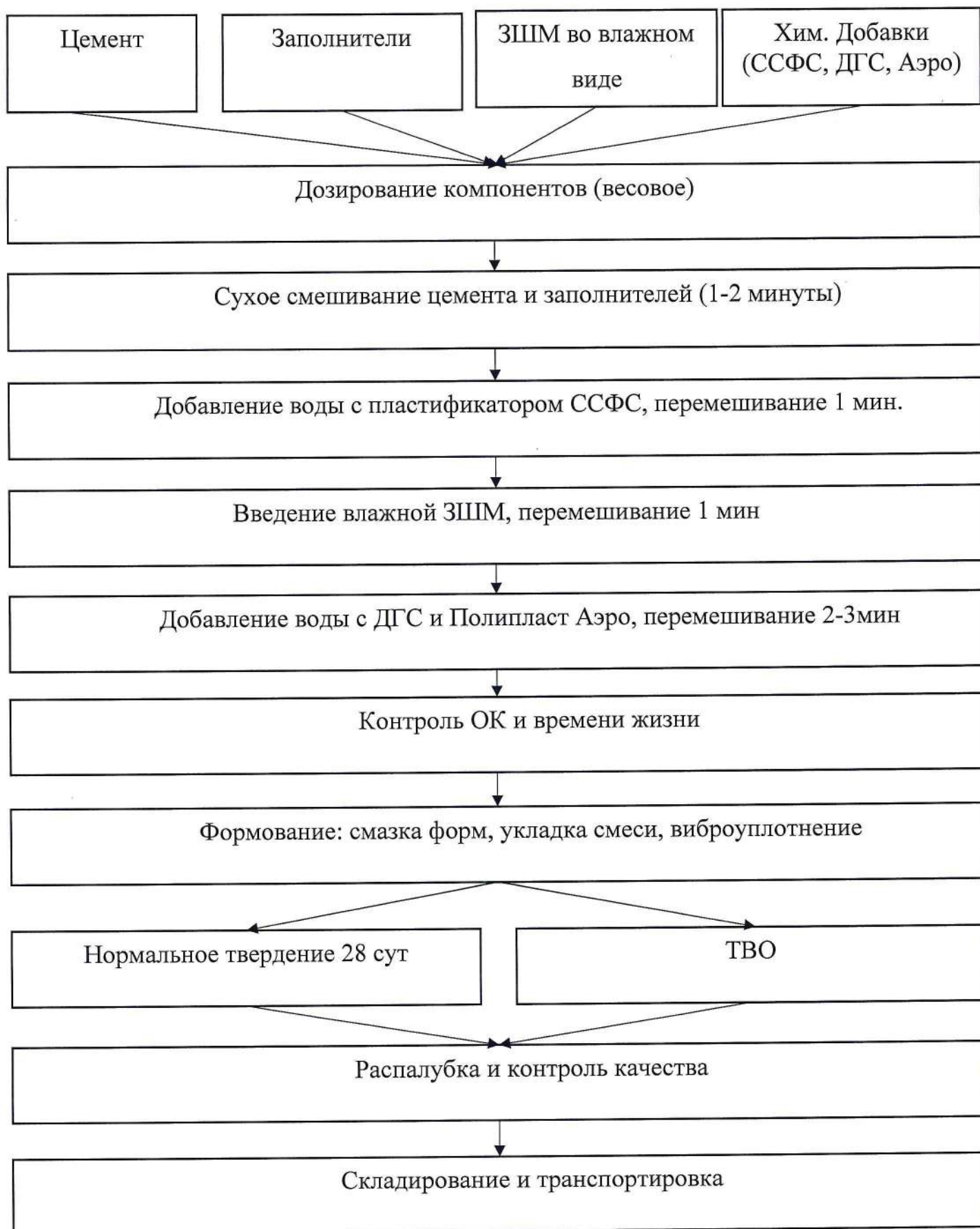


Рисунок 2 - Технологическая схема производства дорожных плит

## Заключение

1. Изучены научные работы о бетонах с ЗШМ, требования нормативов для сурового климата, опыт России и других стран. Выявлено, что слабо исследовано влияние зернового состава кислых зол и их совместного применения с химическими добавками на долговечность дорожного бетона в Западной Сибири. Этим обоснована актуальность работы.

2. На примере золы Омской ТЭЦ-4 (отбор с разной глубины) показано: удельная поверхность варьируется от 219 до 490 м<sup>2</sup>/кг, что меняет 28-суточную прочность раствора (при 20% замены цемента) от 35,8 до 42,8 МПа. Предложен параметр зернового состава  $k = (\text{остаток на сите } 0,315)/(\text{проход через сито } 0,16)$ . При  $k \leq 0,7$  прочность не ниже контрольной (42,6 МПа). Все четыре исследованные золы – кислые пуццолановые добавки, пригодны для замены части цемента.

3. Разработанная гидрофобизирующая добавка ДГС (из отхода маслопроизводства – соапстока) при дозировке 1,0% снижает водопоглощение раствора на 66% и повышает угол смачивания до 139°. Пластификатор ССФС эффективен как дорогой импортный аналог, но дешевле. Воздухововлечатель Полипласт Аэро (0,05%) даёт 5–7% воздуха при потере прочности  $\leq 12\%$ . Совместное применение трёх добавок с заменой 20% цемента на ЗШМ улучшает эксплуатационные свойства бетона.

4. Методом полного факторного эксперимента получены регрессионные модели. Оптимальный состав: 20% ЗШМ Омской ТЭЦ-4 + 1% ССФС + 1% ДГС + 0,05% Полипласт Аэро. Характеристики бетона: прочность 28 сут – 32,6 МПа (норматив), водопоглощение – 1,5%, водонепроницаемость – W12 (втрое выше нормы W4), морозостойкость – F300, истираемость – 0,41–0,43 г/см<sup>2</sup> (ниже нормы 0,7). Долговременная прочность (360 сут) – 56,2 МПа (+16,8% к контролю). РФА и ДТА подтвердили пуццолановую реакцию (портландит снижен на 35%, рост C-S-H).

5. Предложена схема производства дорожных плит: введение влажной ЗШМ после сухого смешивания цемента и заполнителей. Экономия материалов – 194 руб./м<sup>3</sup> (3,6%) за счёт дешёвой ЗШМ (1 руб./т) вместо цемента (8300 руб./т). Годовой эффект на 10 000 м<sup>3</sup> – 1,94 млн руб. С учётом повышения срока службы (в 1,5–2 раза) интегральный эффект – 5–7 млн руб./год. Экология: утилизация 720 т ЗШМ/год, снижение выбросов CO<sub>2</sub> – 58 кг/м<sup>3</sup> бетона.

## Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

1. **Явинский, А. В.** Влияние удельной поверхности золы гидроудаления на свойства золоцементного камня / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова // Промышленное и гражданское строительство. – 2023. – № 2. – С. 73-80. – DOI 10.33622/0869-7019.2023.02.73-80. – EDN GTKWZF.
2. **Явинский, А. В.** Влияние гидрофобизирующих добавок на свойства золоцементного камня / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова // Региональная архитектура и строительство. – 2023. – № 2(55). – С. 21-29. – DOI 10.54734/20722958\_2023\_2\_21. – EDN NMFHSH.
3. **Явинский, А. В.** Кинетика набора прочности смешанного вяжущего / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 1(89). – С. 158-166. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-1-158-166. – EDN NYKJTH.
4. **Явинский, А. В.** Влияние техногенных отходов различного генезиса на свойства мелкозернистого бетона / А. В. Явинский // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 3(91). – С. 396-404. – DOI 10.26518/2071-7296-2023-20-3-396-404. – EDN DWHWJB.
5. **Явинский, А. В.** Опыт Омского региона по переработке отходов ТЭЦ / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова, В. С. Лесовик // Эксперт: теория и практика. – 2023. – № 4(23). – С. 144-147. – DOI 10.51608/26867818\_2023\_4\_144. – EDN MXPYBF.
6. **Явинский, А. В.** Влияние золы гидроудаления на свойства тяжелого бетона для строительства дорожного покрытия / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2022. – № 3. – С. 16-24. – DOI 10.34031/2071-7318-2021-7-3-16-24. – EDN AENVCK.
7. **Ращупкина, М. А.** Влияние водоредуцирующих суперпластификаторов и золы гидроудаления на свойства цементного камня /

М. А. Рашупкина, А. В. **Явинский**, И. Л. Чулкова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2021. – № 3(747). – С. 49-55. – DOI 10.32683/0536-1052-2021-747-3-49-55. – EDN VAEGHM.

8. **Явинский**, А. В. Влияние гидрофобизирующих добавок на истираемость тяжелого бетона / А. В. Явинский, И. Л. Чулкова // Промышленное и гражданское строительство. – 2025. – № 11. – С. 54-59. – DOI 10.33622/0869-7019.2025.11.54-59. – EDN TTQMZV.

9. Лунев А. А., Разработка составов геополимерных бетонов / А. А. Лунев, А. В. **Явинский**, С. В. Голиков, П. А. Саньков // Вестник МГСУ. – 2025. – Т. 20, № 10. – С. 1553-1564. – DOI 10.22227/1997-0935.2025.10.1553-1564. – EDN PIZFOA.