

Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан  
НАО «ЗападноКазахстанский аграрно-технический университет  
имени Жангир хана»

**МОНТАЕВ С.А.  
РЫСКАЛИЕВ М.Ж.**

**РАЦИОНАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КЕРАМДОРА НА ОСНОВЕ  
ПЕРЕРАБОТКИ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННО –  
КОНСТРУКЦИОННЫХ БЕТОНОВ И ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА**

**РЕКОМЕНДАЦИЯ**

Уральск 2020

## **НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ**

Рекомендовано к печати научно-техническим Советом Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана 18.08.2020. Протокол № 1.

### **Научный редактор:**

Нариков К.А., кандидат технических наук

### **Рецензент:**

Сарсенбаев Б.К., доктор технических наук, академик Национальной академии Горных наук, заведующий лабораторией НИИ «Строительных материалов, строительства и архитектуры» НАО ЮКГУ им.М.Ауезова

### **Монтаев С.А., Рыскалиев М.Ж.**

Рациональная технология керамдора на основе переработки глинистых пород для теплоизоляционно – конструкционных бетонов и дорожного строительства: рекомендация, научное издание / С.А.Монтаев, М.Ж.Рыскалиев - Уральск: Зап. - Казахст. аграр.-техн. ун.-т им. Жангир хана, 2020: – 25 с.

В рекомендации показаны рациональные технологии производства керамдора на основе переработки глинистых пород Западного Казахстана выполненных в рамках реализации ГФ МОН РК по теме: АР05133360 «Рациональная технология керамдора на основе переработки глинистых пород для теплоизоляционно – конструкционных бетонов и дорожного строительства: рекомендация, научное издание».

Издание предназначено для специалистов строительного производства, а также докторантов, магистрантов и студентов специальностей «Строительная инженерия», «Производства строительных материалов, изделий и конструкции».

Монтаев С.А., Рыскалиев М.Ж.2020  
© НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», 2020

## Введение

В домостроительных комбинатах по производству железобетонных конструкций в изготовлении фундаментов до несущих и ограждающих конструкций, таких как плиты перекрытия и покрытия, стропильные балки и фермы, колонны и стеновые панели, а также для строительства автомобильных дорог в качестве крупного заполнителя используется щебень. Доля щебня в составе бетона и асфальтобетона составляет 60 - 75 %, т.е. занимает основной объем в материалах и конструкциях дорожной одежды.

Западный регион Республики Казахстан включая Атыраускую область обеспечиваются только щебеночным заводом Актюбинской области работающий на основе горной породы Мугалджарского месторождения, т.е. ближайшее расстояние для Западно-Казахстанской области составляет примерно 600 - 650 км, а для Атырауской области вовсе более 1000 км. Из-за высокой стоимости затрат на транспортировку щебня приводит к удорожанию всех видов строительных железобетонных конструкции и материалов и стоимости дорожно-строительных работ в целом по региону, не только городских, но и для строительства дорог в отдаленных населенных пунктах. Отсюда и высокие цены на квадратный метр недвижимости и одного километра дороги всех категории т.к. щебень как основной компонент в составе материалов для промышленного, гражданского и дорожного строительства, в том числе сельских является очень дорогой и дефицитной в Западном регионе Казахстана.

В настоящее время потребность в щебне для нужд строительства покрывается за счет щебеночных заводов Республики Казахстан работающих на основе природных горных пород и они в основном сосредоточены неравномерно.

Однако щебень производимый по традиционной технологии обладает рядом недостатков. Во первых, их средняя плотность составляет 2200 - 2500 кг/м<sup>3</sup>, что относится к категорий тяжелых материалов. Поэтому на основе щебня на основе природных горных пород используется только для получения тяжелых бетонов.

Актуальность и новизна рекомендации основано на реализации следующих целей:

- разработка рациональных технологических параметров производства керамдора на основе переработки легкодоступных и широко распространенных глинистых пород, позволяющие применять их взамен природного щебня, использовать в качестве насыпного теплоизоляционного материала и открывает широкую возможность организаций производства легких и теплоизоляционно-конструкционных бетонов.

- с целью достижения комплексного использования природных и техногенных сырьевых ресурсов и достижения энергоэффективности технологии и качества конечной продукции провести научно-экспериментальные работы по вовлечению в сырьевой состав керамдора

крупнотоннажных отходов промышленности в виде доменных металлургических шлаков и зол ТЭЦ и т.п. Наличие указанных компонентов позволяют снизить энергетические затраты, повысить эксплуатационные свойства и расширить область их применения.

- разработанные ресурсо- и энергосберегающих технологий производства керамдора тиражировать и адаптировать к местным сырьевым ресурсам регионов Казахстана.

На основе предлагаемого материала открывается широкая возможность производства не только тяжелых бетонов, но и целую номенклатуру строительных материалов на основе легких бетонов, что делает материал многофункциональным.

## Характеристика сырьевых материалов используемых для производства керамдора на основе переработки глинистых пород Западного Казахстана

Глина Чаганского месторождения Западно-Казахстанской области (рисунок 1):

- коэффициент чувствительности к сушке по Чижскому – 70-75;
- число пластичности (реологическое свойство) – 12-14;
- средняя плотность, кг/м<sup>3</sup> – 1110-1230;
- химико-минералогический состав Чаганского месторождения содержит до 12 % монтмориллонитового компонента, находящегося в форме смешаннослойных образований с гидрослюдой и каолинитом.
- химический состав суглинка Чаганского месторождения ЗКО показано в таблице 1.



Рисунок 1 – Глина Чаганского месторождения в природном виде

Таблица 1 – Химический состав суглинка Чаганского месторождения ЗКО

Наименование сырья	Содержание оксидов, мас. %												
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
Глина Чаганского месторождения	52,58	12,25	-	12,0	2,13	5,10	-	-	2,57	-	3,60	-	9,78

По результатам рентгенофазового анализа установлено, что из кристаллических фаз в глине также содержится кварц  $d/n = 4,23; 3,34; 1,974; 1,813; 1,538 \cdot 10^{-10}$  м, полевой шпат  $d/n = 3,18; 2,286 \cdot 10^{-10}$  м, кальцит  $d/n = 3,02; 2,018; 1,912 \cdot 10^{-10}$  м и гематит  $d/n = 1,839; 1,686; 1,590 \cdot 10^{-10}$  м.

Глина Атырауского месторождения (рисунок 2):

- коэффициент чувствительности к сушке по Чижскому – 63-66;
- число пластичности (реологическое свойство) – 10-11;
- средняя плотность, кг/м<sup>3</sup> – 1210-1240;
- химико-минералогический состав Атырауского месторождения отличается отсутствием монтмориллонитового компонента. Имеются смешаннослойные образования с гидрослюдой и каолинитом;
- прочность при сжатии обожжённых образцов цилиндров, МПа – 5,3-5,6.



Рисунок 2 – Глина Атырауского месторождения в природном виде

Из кристаллических фаз в глине также содержится кварц  $d/n = 4,23; 3,34; 1,974; 1,813; 1,538 \cdot 10^{-10}$  м, полевой шпат  $d/n = 3,18; 2,286 \cdot 10^{-10}$  м, кальцит  $d/n = 3,02; 2,018; 1,912 \cdot 10^{-10}$  м и гематит  $d/n = 1,839; 1,686; 1,590 \cdot 10^{-10}$  м.

Гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» (г.Темиртау) представляет собой зернистый материал серого цвета. Модуль крупности 3,9 - 4,1. В таблице 2 представлены гранулометрический состав металлургического шлака.

Таблица 2 – Гранулометрический состав металлургического шлака

Диаметр отверстий сита, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	менее 0,14
Остаток на сите, %	14-17	35-37	26-30	14-17	2-5	2-4

Химический состав доменных шлаков достаточно сложен, в них встречается до 30 различных химических элементов, влияние которых на свойства шлака зависит от количества оксидов в продукте (таблица 3). Обнаружено кристаллизация минералов волластонита, пироксена, анортита и мелилита.

Установлено что, резкое охлаждение шлакового расплава в процессе грануляции обуславливает в основном его стекловидное строение. Содержание стеклофазы в них составляет 65 – 97 %.

Таблица 3 – Химический состав доменного гранулированного шлака

Наименование сырья	Содержание оксидов, мас.%												
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	FeO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	S <sub>H</sub> O	п.п.п.
Гранулированный металлургический шлак	40,62	16,24	0,19-0,52	42,11	0,43	5,33-10,39	1,66	0,36-1,5	0,42-1,32	-	0,62-0,88	0,11-1,37	0,92

Закристаллизованная часть шлака в основном представлена псевдovolластонитом CaO\*SiO<sub>2</sub> с показателями преломления.

Ng = 1,652 \* 0,0015; Np = 1,608 \* 0,0015.

В естественном состоянии шлаки оказались рентгеноаморфными.

- средняя плотность шлака, кг/м<sup>3</sup> – 1250-1300.

Макроструктура гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» показана на рисунке 3.

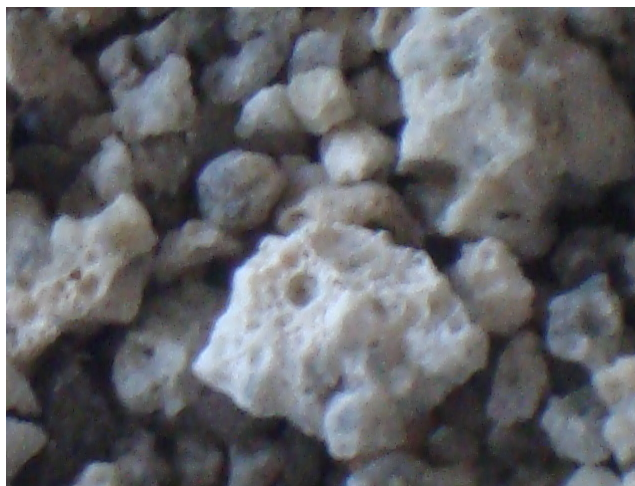


Рисунок 3 – Макроструктура гранулированного металлургического шлака

Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау»

Ежегодно в Казахстане энергогенерирующие предприятия и районные котельные, а также производственные предприятия потребляют до 70 млн. тонн угля, которые после сжигания угля остаются 10 - 12 млн. тонн золошлаковые отходы и золы-уноса. Если к этому добавить исторические остатки после обогащения угля, то угольные шламы накопились более 1,0 млрд. тонн.

В качестве объектов данного исследования использовали зола-унос ГРЭС-2 из угля разреза «Богатырь».

Зола Экибастузкой ГРЭС – рыхлый порошкообразный материал черно-серого цвета.

Зола - унос являются продуктами высокотемпературной (1200-1700 °С) обработки минеральной части топлива. В золоуносе и золошлаковых отходах соединения основных золообразующих макроэлементов (Si, Al, Fe, O, Ca, Ti, Mg, S, K, Na) составляют до 98-99 %.

Значительное накопление золоуноса из-за сжигания углей (в ТЭЦ, котельных) в золоотвалах служат причиной особого внимания к исследованию физико-химических характеристик золы углей. Так, в работах проводили исследования золы углей с помощью элементного, электронно-микроскопического, рентгенофазового и гранулометрического анализов. Данные исследования показали, что в золе содержится в основном диоксид кремния, оксид алюминия, оксид железа, микросфера, технический углерод и представляет собой тонкодисперсный аморфный материал, состоящий из частиц размером 500-10 мкм и от 5000- 100 мкм при послойном сжигании (таблица 4).

Таблица 4 – Состав на содержание микроэлементов золы - уноса ГРЭС-2

Образец	Bi	Ba	Be	Nb	Mo	Sn	V	Li	Cd	Cu	Yb	Y	Zn	Ag	Co	Sr	B
	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т	г/т
Исходное сырье "Золоунос ГРЭС-2"	<2	500	2,5	8	5	1,5	80	10	<5	40	3	30	60	0,06	10	300	<300

Как показали результаты макроэлементного анализа, в золе уноса преимущественно составляет диоксид кремния  $SiO_2$  составляет 61,04 %, а в сумме с оксидом алюминия  $Al_2O_3$  составляет 84,82 %.

Результаты микроэлементного анализа показали высокое содержание титана Ti – 4000 г/т, бария Ba – 500 г/т, ванадия V – 80 г/т, стронция Sr – 300 г/т (таблица 5).

Таблица 5 - Физико-химические характеристики золы уноса «Экибастузкой ГРЭС-2»

Физико-химические характеристики	Наименование
Влажность ( $W^T$ ), %	0,2866
Зольность ( $A^T$ ), %	97,1469
Летучесть ( $V^a$ ), %	1,9636



Продолжение таблицы 5

Суммарный объем пор, см <sup>3</sup> /г	0,78
Насыпная плотность ρ, г/см <sup>3</sup>	0,804
рН водной вытяжки	8,40
Адсорбционная активность по метилоранжевому мг/г	58,00
Адсорбционная активность по метиленголубому, мг/г	37,50
Адсорбционная активность по йоду, %	127,0

Гранулометрический состав золы:

Содержание фракций, % при размере частиц, мм: более - 0,25 - 5,98 %; 0,25-0,05 – 34,8 %; 0,05-0,01- 43,07 %; 0,01-0,005 – 6,55 %; 0,005-0,001- 6,40 %; менее 0,001- 4,35;

Удельная поверхность золы см<sup>2</sup>/г – 3200-3700;

Истинная плотность г/см<sup>3</sup> – 1,75-1,84;

Насыпная плотность кг/м<sup>3</sup> – 675-740;

Химический состав золы Экибастузкой ГРЭС показан в таблице 6;

Элементный, минеральный состав золы уноса «Экибастузкой ГРЭС -2» (таблица 7,8);

Результаты анализа размера частиц золы уноса «Экибастузкой ГРЭС -2» (таблица 9);

Минеральный (фазовый состав) проб золы уноса ГРЭС-2 (таблица 10);

Микроснимки муллита с частицами микро и наноразмеров (рисунок 4);

Микроснимки микросферы золы – уноса с частицами размером от 703 нм до 182,72 мкм (рисунок 5).

Таблица 6 – Химический состав золы Экибастузкой ГРЭС

Наименование сырья	Содержание оксидов, мас.%												
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	п.п.п.
Зола Экибастузкой ГРЭС	57,7	24,5	-	1,10	1,0	4,1	-	-	0,13	-	1,57	-	8,70

Таблица 7– Элементный состав золы уноса «Экибастузкой ГРЭС -2»

Элементы	Предел Обнаружения (ПО), мкг/г	Зола унос «Экибастузкой ГРЭС -2»
Si	1.14	36308
Na	568,70	2140,05
Mg	17,80	1420,78
Al	9,85	14229,67
P	1719,34	1920,09
K	708,49	4022,46
Ca	75,31	11586,86
Ti	2,02	6494,31
V	5,27	16,77
Mn	38,80	502,67
Fe	109,28	27045,41
Sr	43,49	224,21
Zr	0,46	236,04
Ba	16,86	672,58
Hf	0,82	5,44

Таблица 8 – Минеральный состав золы уноса «Экибастузкой ГРЭС -2»

№	Наименование образца	Название кристаллических фаз	Химическая формула
1	Зола унос «Экибастузкой ГРЭС -2»	Quartz alpha, alpha-Si O <sub>2</sub> ; Mullite, syn	SiO <sub>2</sub> ; Al <sub>4.44</sub> Si <sub>1.56</sub> O <sub>9.78</sub>

Таблица 9 – Результаты анализа размера частиц золы уноса «Экибастузкой ГРЭС -2»

№	Наименование	Dv(10), μm	Dv(50), μm	Dv(90), μm
1	Золунос «Экибастузкой ГРЭС -2»	7.83	70.4	218

Таблица 10 – Минеральный (фазовый состав) проб золы уноса ГРЭС-2

№	№ образца	Название кристаллических фаз	Химическая формула
1	1(XRD)	Аморфный пик	-

Продолжение таблицы 10

2	2(XRD)	Аморфный пик	-
3	3(XRD)	Sodalite; Aluminum Silicon Oxide; Trabzonite	$\text{Na}_8 (\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}) (\text{OH})_2 (\text{H}_2\text{O})_2$ ; $\text{Al}_2(\text{Al}_{2.556} \text{Si}_{1.444}) \text{O}_{9.722}$ ; $\text{Ca}_4((\text{SiO}_3)_3(\text{O H}))(\text{OH})$
4	4(XRD)	Magnesioferrite; Quartz alpha; nonacalcium cyclo-hexaaluminate	$(\text{MgFe}_2)\text{O}_4$ ; $\text{SiO}_2$ $\text{Ca}_9 (\text{Al}_2\text{O}_6)_3$

**Рекомендация по разработке оптимальных составов керамических масс для получения керамдора, отвечающих требованиям энергоэффективности и ресурсосбережения**

Подготовка сырьевых материалов для научно-экспериментальных работ по изучению их физико-механических свойств осуществлялись по следующей последовательности:

1 Сначала сырьевые материалы подвергались сушке в электрическом сушильном шкафу при температуре 70 – 80° С до остаточной влажности 5 – 7 %;

2 Высушенные сырьевые материалы (глины Чаганского и Погодаевского месторождений и гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» размалывались в лабораторной шаровой мельнице. Зола Экибастузкой ГРЭС в виду его природной тонко дисперсности использовались без предварительного помола.

3 Полученные порошкообразные сырьевые материалы дозировались с помощью электронных весов;

4 Отдозированные сырьевые материалы перекладывались в металлическую сферическую чашу для дальнейшего перемешивания с водой;

5 В сферической чаше сырьевые материалы сначала насухо перемешивались для достижения гомогенности;

6 Насухо перемешанную сырьевую смесь добавлялся вода в количестве 20-28% от массы сухого материала;

7 После добавления воду сырьевая смесь перемешивались до получения однородной керамической массы;

8 Из полученной керамической массы изготавливались гранулы с размерами 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм;

9 Гранулы после формования сушились в сушильном шкафу при температуре 70-80° С до постоянной массы;

10 Высушенные гранулы обжигались во вращающиеся печи при температурах 950, 1000, 1100° С;

11 После обжига гранулы подвергались физико-механическим испытаниям.

Приготовление различных составов сырьевых материалов и формование опытных образцов для определения физико-механических свойств образцов

Для сравнительного анализа для приготовления контрольных образцов составов керамдора использовались глины без добавок (мас. %):

- Суглинок Чаганского месторождения – 100 %;
- Глина Атырауского месторождения – 100 %;
- Глина Погодаевского месторождения – 100 %.

Для приготовления различных составов использовались гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау и зола Экибастузкой ГРЭС.

Для достижения поставленных задач исследования проводились по следующим сырьевым системам:

- Суглинок Чаганского месторождения - гранулированный металлургический шлак;
- Глина Погодаевского месторождения - Зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС.

Результаты проведенных научно-экспериментальных работ по определению физико-механических свойств исследуемых составов керамических масс представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Физико-механические свойства рекомендуемых составов керамических масс для производства керамдора

№	Составы сырья	Температура обжига 950° С					Температура обжига 1000° С					Температура обжига 1100° С				
		Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии в цилиндре, МПа	Водопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/МК	Морозостойкость, циклы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/МК	Морозостойкость, циклы	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %	Теплопроводность, Вт/МК	Морозостойкость, циклы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Суглинок Чаганского месторождения	1095	6-7 (до 9-10);	3(не более 5);	0,18	F 100-300;	1100	7,6	3,2	0,17	100	1010	7,5	3,2	0,16	100
2	Глина Атырауского месторождения	980	7,5	3	0,187	100	987	7,52	3,1	0,182	100	920	7,4	3	0,156	100
3	Глина Погодаевского месторождения	1005	7,4	3,1	0,19	100	1115	7,45	3,05	0,181	100	1030	7,36	3,1	0,154	100
4	Суглинок Чаганского Месторождения - 90 % Доменный шлак АО «Алсерол Миттал Темиртау» - 10 %	1005	7,45	3,1	0,15	100	1100	8,46	3,2	0,158	100	975	9,3	3,1	0,12	100
5	Суглинок Чаганского Месторождения - 80 % Доменный шлак АО «Алсерол Миттал Темиртау» - 20 %	910	7,6	3,05	0,14	100	935	9,61	3,11	0,145	100	1090	12,4	3,05	0,121	100
6	Суглинок Чаганского Месторождения - 70 % Доменный шлак АО «Алсерол Миттал Темиртау» - 30 %	905	7,6	3,15	0,142	100	920	14,63	3,17	0,14	100	1285	17,7	3,15	0,1	100

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7	Глина Погодаевского Месторождения - 90 % Зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС - 10 %	950	7,3	3,10	0,153	100	965	7,35	3,2	0,14	100	935	8,1	3,10	0,14	100
8	Глина Погодаевского Месторождения – 80 % Зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС - 20 %	920	7,35	3,11	0,145	100	945	8,2	3,25	0,135	100	905	9,1	3,11	0,13	100
9	Глина Погодаевского Месторождения – 70 % Зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС – 30 %	910	7,5	3,11	0,144	100	925	9,48	3,3	0,13	100	890	12,4	3,11	0,11	100

## **Изменения физико-механических свойств опытных образцов в зависимости от состава сырьевых материалов**

В результате изучения изменения физико-механических свойств опытных образцов в зависимости от состава сырьевых материалов выявлены следующие закономерности:

- образцы керамдора на основе чистых глин способны спекаться и образовывать прочную структуру в интервале температур 950 - 1100° С. Об этом свидетельствуют значительные прочностные показатели при максимальной температуре обжига (7,36 - 7,5 Мпа);

- средняя плотность образцов керамдора у чистых глин также возрастает по мере увеличения температуры обжига. Максимальные значения средней плотности образцов керамдора соответствует температуре обжига 1100° С и составляет 980 - 1030 кг/м<sup>3</sup>;

- у образцов керамдора у чистых глин наблюдается снижения коэффициента теплопроводности по мере увеличения температуры обжига. Так коэффициент теплопроводности у чистых глин при температуре 950° С составляет 0,18 - 0,19 Вт/мК. При температуре обжига 1100° С значение коэффициента теплопроводности образцов составляет 0,15 - 0,16 Вт/мК.

Вероятно, снижение коэффициента теплопроводности связано с процессами образования пористости за счет выгорания органических остатков в глинах.

С добавлением гранулированного металлургический шлака в количестве от 10 % до 30 % наблюдается значительное увеличение прочностных показателей образцов керамдора. Так при температуре обжига 1100° С рост прочностных показателей составляет 9,3 Мпа до 17,7 Мпа. При этом средняя плотность образцов также повышаются. Эти изменения находится в пределах 975 - 1285 кг/м<sup>3</sup>.

Полученные научно-экспериментальные данные свидетельствует о интенсификации процессов спекания и кристаллизации в керамических массах содержащих гранулированный металлургический шлак.

С добавлением золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС в количестве от 10 % до 30 % также наблюдается увеличение прочностных показателей образцов керамдора. Так при температуре обжига 1100° С рост прочностных показателей составляет 8,1 Мпа до 12,4 Мпа.

При этом средняя плотность образцов наоборот понижаются и составляют от 935 кг/м<sup>3</sup> до 890 кг/м<sup>3</sup>.

Полученные научно-экспериментальные данные также свидетельствует о интенсификации процессов спекания и кристаллизации в керамических массах содержащих золу ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС. Что касается снижения показателей средней плотности образцов то это связано с образованием пористой структуры в образцах за счет выгорания несгоревших остатков угля, содержащихся в составе золы.

Установлено, что использование золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС в составе керамической массы благоприятно действует на теплопроводные свойства образцов керамдора. Коэффициент теплопроводности образцов керамдора в исследуемых составах находится в пределах 0,11 - 0,14 Вт/мК.

### **Оптимизация составов керамдора по критерию энергоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ изменения физико-механических свойств опытных образцов в зависимости от состава сырьевых материалов позволили оптимизировать составы керамических масс по критерию энергоэффективности и ресурсосбережения.

В качестве критерия энергоэффективности принимали минимальные значения коэффициента теплопроводности образцов керамдора.

В качестве критерия ресурсосбережения принимали те составы керамических масс, где содержатся максимальные значения содержания вторичных ресурсов как гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» и зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС.

При этом значения физико-механических свойств образцов как прочность при сжатии, средняя плотность, водопоглощение, и моростойкость соответствовали требованиям ГОСТов.

После тщательного анализа изменения физико-механических свойств опытных образцов в зависимости от состава сырьевых материалов выбраны оптимальные составы со следующими предельными концентрациями составляющих компонентов (мас. %):

- суглинок Чаганского месторождения 70 - 80 % - гранулированный металлургический шлак 20 - 30 %;
- глина Погодаевского месторождения 70 - 80 % - Зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС 20 - 30 %.

### **Установление основных закономерностей изменения физико-механических свойств и процессов структурообразования в зависимости от изменения компонентного состава и технологических условий термообработки**

На данном этапе научно-исследовательских определены технологические параметры изготовления керамдора на основе глин и корректирующих добавок в виде гранулированного доменного металлургического шлака и золы.

Подготовка сырьевых материалов для научно-экспериментальных работ по установлению основных закономерностей и процессов структурообразования в зависимости от изменения компонентного состава и технологических условий термообработки осуществлялись по следующей последовательности:



1 Сначала сырьевые материалы подвергались сушке в электрическом сушильном шкафу при температуре 70 – 80° С до остаточной влажности 5 – 7 %;

2 Высушенные глины Чаганского и Погодаевского месторождений и корректирующие добавки в виде гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» размалывались в лабораторной шаровой мельнице. А корректирующая добавка Зола Экибастузкой ГРЭС в виду его природной тонкой дисперсности использовались без предварительного помола.

○ Полученные порошкообразные сырьевые материалы дозировались с помощью электронных весов;

○ Отдозированные сырьевые материалы перекладывались в металлическую сферическую чашу для дальнейшего перемешивания с водой;

○ В сферической чаше сырьевые материалы сначала насухо перемешивались для достижения гомогенности;

○ Насухо перемешанную сырьевую смесь добавлялся вода в количестве 20-28% от массы сухого материала;

○ После добавления воду сырьевая смесь перемешивались до получения однородной керамической массы;

○ Из полученной керамической массы изготавливались гранулы с размерами 5-10 мм, 10-20 мм, 20-40 мм;

° Гранулы после формования сушились в сушильном шкафу при температуре 70-80°С до постоянной массы;

° Высушенные гранулы обжигались во вращающиеся печи при различных температурах (950, 1000, 1100, 1200°С);

○ После обжига гранулы подвергались физико-механическим испытаниям.

Изменение компонентного состава образцов керамдора путем добавления корректирующих добавок в виде гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» и золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС составляла от 10% до 30% от массы глинистых пород.

Технологические условия термообработки включает предварительную сушку при температуре 80-90°С и обжиг при различных температурах от 950 до 1200°С.

В результате анализа изменения физико-механических свойств опытных образцов керамдора в зависимости от изменения компонентного состава и технологических условий термообработки выявлены следующие закономерности:

С добавлением в компонентный состав образцов керамдора гранулированного металлургического шлака в количестве от 10 % до 30 % наблюдается значительное сокращение сроков предварительной сушки. Продолжительность сушки образцов керамдора без добавки гранулированного металлургического шлака до температуры 80-90 °С до остаточной влажности 7-8% составило 120 мин. Добавка гранулированного металлургического шлака в

количестве от 10 % до 30 % способствовали сокращению продолжительности сушки на 15-25 мин по сравнению с контрольными образцами.

С добавлением в компонентный состав образцов керамдора золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС в количестве от 10 % до 30 % так же способствовали сокращению продолжительности сушки на 10-15 мин по сравнению с контрольными образцами.

Это объясняется тем, что гранулированный металлургический шлак и зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС по своей природе являются не пластичными материалами. Введение указанных материалов в состав глинистых пород способствует снижению их пластичности играя роль в качестве оттощителя. В результате в составе керамической массы образуются хорошие условия для быстрого удаления влаги, тем самым сокращая продолжительность предварительной сушки.

При условий термообработки образцов керамдора в интервале температур 950-1200 °С добавка гранулированного металлургического шлака в количестве от 10 % до 30 % способствовали увеличению прочностных показателей образцов керамдора. Так при температуре термообработки 1200° С рост прочностных показателей составляет 8,1 Мпа до 35,4 Мпа. При этом средняя плотность образцов также повышаются. Эти изменения находится в пределах 985 - 1328 кг/м<sup>3</sup>.

С добавлением в компонентный состав образцов керамдора золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС в количестве от 10 % до 30 % также наблюдается увеличение прочностных показателей образцов керамдора. Так при температуре термообработки 1200° С рост прочностных показателей составляет 7,6 Мпа до 23,4 МПа.

При этом средняя плотность образцов при максимальной температуре находится в пределах 890 - 1100 кг/м<sup>3</sup>.

- образцы керамдора на основе чистых глин способны спекаться и образовать прочную структуру в интервале температур 950 - 1200° С. Об этом свидетельствует значительные прочностные показатели при максимальной температуре обжига (9,36 – 27,75 МПа);

- средняя плотность образцов керамдора у чистых глин также возрастает по мере увеличения температуры обжига. Максимальные значения средней плотности образцов керамдора соответствует температуре обжига 1200° С и составляет 1240 кг/м<sup>3</sup>;

- у образцов керамдора у чистых глин наблюдается снижения коэффициента теплопроводности по мере увеличения температуры обжига. Так коэффициент теплопроводности у чистых глин при температуре 950° С составляет 0,18 - 0,19 Вт/мК. При температуре обжига 1200° С значение коэффициента теплопроводности образцов составляет 0,16 - 0,17 Вт/мК.

Вероятно, снижение коэффициента теплопроводности связано с процессами образования пористости за счет выгорания органических остатков в глинах.

Полученные научно-экспериментальные данные в технологических условиях термообработки в интервале температур 950 - 1200° С также свидетельствует о интенсификации процессов структурообразования. Установлено, что термообработка образцов в керамических массах содержащих гранулированный металлургический шлак и золу ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС происходит сложные процессы спекания и кристаллизации с участием жидкой фазы армированных минералами.

### **Технологическая схема производства керамдора на основе переработки глинистых пород и с учетом использования корректирующих добавок**

Полученные результаты исследований показали, что для разработки технологической схемы производства керамдора на основе переработки глинистых пород и с учетом использования корректирующих добавок необходимо детально изучить технологические переделы, включающие следующие этапы:

1. Карьерные работы, включающие разработку глинистых пород с целью бесперебойного обеспечения глиной - основного компонента для производства керамдора. Для проведения вскрышных работ используется бульдозеры марки ДТ-75. Для разработки карьера с целью погрузки глинистых пород на транспортные средства используется одноковшовые экскаваторы марки ЭК-100;

2. Организация транспортировки глинистого сырья из карьера до склада сырьевых материалов цеха по производству керамдора. Транспортировка глинистого сырья должна осуществляться большегрузными автосамосвалами марки КАМАЗ;

3. Организация складирования сырьевых материалов для производства керамдора.

Склад сырьевых материалов должна включать следующие зоны:

- зона складирования глины под открытым небом из расчета обеспечения работы цеха по производству керамдора не менее 30 дней;

- зона складирования корректирующей добавки в виде гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» под открытым небом;

- зона складирования корректирующей добавки в виде золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС снабженных специальными емкостями из металлоконструкций в виде силосов марки. Такое хранение обеспечивает исключения выноса тонкодисперсной золы с ветром;

4. Зона предварительной подготовки сырьевых материалов, включающие бункера приемов корректирующей добавки в виде гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» и золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС. Бункера приема корректирующей добавки предназначены для бесперебойного обеспечения сырьевыми материалами последующих технологических оборудования для производства

керамдора. Поставка глинистого сырья в бункера приема осуществляется с помощью ленточных транспортеров марки. Поставка корректирующей добавки в виде гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» из приемных бункеров также осуществляется с помощью ленточных транспортеров марки

А поставка корректирующей добавки в виде золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС должна осуществляться с помощью винтовых транспортеров закрытого типа марки , чтобы исключить запыленность тонкодисперсной золы.

5 Зона предварительной подготовки сырьевых материалов, включающие следующие технологические оборудования в зависимости от вида перерабатываемого сырья:

- для предварительной подготовки глинистого сырья необходимо подобрать камневыделительные вальцы с целью исключения попадания инородных материалов для дальнейшей переработки. Для глинистого сырья Западно-Казахстанского месторождения рекомендуется использовать камневыделительные вальцы марки, отличающиеся большой производительностью и меньшей энергоемкостью.

- для подготовки гранулированного металлургического шлака Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» рекомендуется использовать технологическое оборудование, обеспечивающих наибольшую дисперсность порошков. Высокая дисперсность порошка способствует повышению реакционной способности сырьевой смеси на стадий формования, сушки и обжига. Поэтому при проектировании цеха по производству керамдора необходимо выбрать шаровые мельницы или дезинтеграторы нового поколения марки .

При использовании корректирующей добавки в виде золы ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС процесс помола отсутствует в виду естественной тонкой дисперсности порошков. Однако зола перед добавкой должна пройти процесс предварительного просеивания через сито с размером ячеек 3-5 мм.

6 Зона дозирования и перемешивания сырьевых материалов, включающие технологические оборудования в виде объемных дозаторов и смесители. Использование объемных дозаторов, обеспечивает более точное дозирование применяемых добавок. Объемные дозаторы устанавливаются непосредственно под приемными бункерами. Дозировка должна осуществляться согласно разработанным оптимальным составам для производства керамдора.

В качестве объемных дозаторов рекомендуется использовать дозаторы марки

Многокомпонентность сырьевой смеси для производства керамдора на основе разработанных нами составов, требует выбора наиболее рационального технологического решения по перемешиванию сырьевой смеси. При этом должна обеспечиваться высокая однородность сырьевой смеси. Поэтому нами предлагается двухэтапное перемешивание смеси. На первом этапе смесь перемешивается с помощью двухвальных смесителей марки, а на втором этапе

с помощью бегунковых смесителей марки. Именно такая технологическая последовательность надежно гарантирует получение однородной смеси.

Зона формования гранул для производства керамдора включает технологическое оборудование, позволяющие образовать гранулы на основе разработанных нами оптимальных составов сырьевой смеси по двум системам:

- Глина - гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау»;
- Глина - зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС.

Результаты исследований формовочных свойств предлагаемых сырьевых смесей позволили выбрать технологические оборудования для двух сырьевых систем. Для системы Глина - гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» рекомендуется использовать тарельчатые грануляторы марки

Для системы Глина - зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС рекомендуется использовать дырчатые вальцы марки , которые осуществляет формования гранул пластическим способом;

8 Следующим важным этапом является зона сушки и обжига. Для обеих исследуемых систем предлагается сушильные барабаны марки и вращающиеся печи марки;

9 Завершающим этапом производства керамдора является зона складирования готовой продукции и зона отправки к потребителям.

На основании проведенного анализа технологических переделов и этапов производства керамдора на основе систем на основе систем глина - гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО «Алселор Миттал Темиртау» и глина - зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС разработана технологическая схема их производства (рисунки 4,5)

Технологическая схема производства керамдора на основе систем  
глина- гранулированный металлургический шлак Карагандинского завода АО  
«Алселор Миттал Темиртау» и глина - зола ТЭЦ Экибастузкой ГРЭС

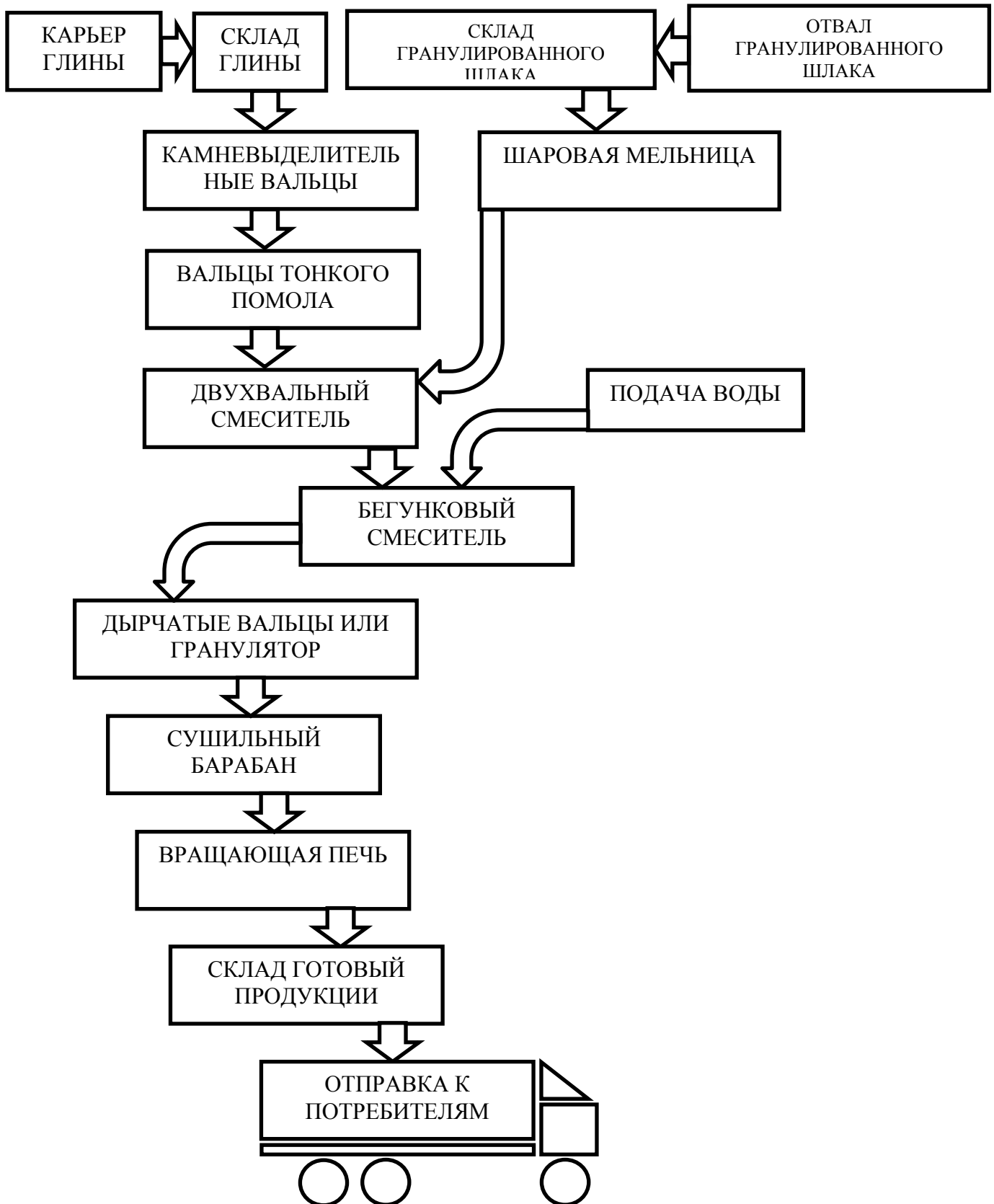


Рисунок 4 - Технологическая схема производства керамдора в системе глина-гранулированный шлак

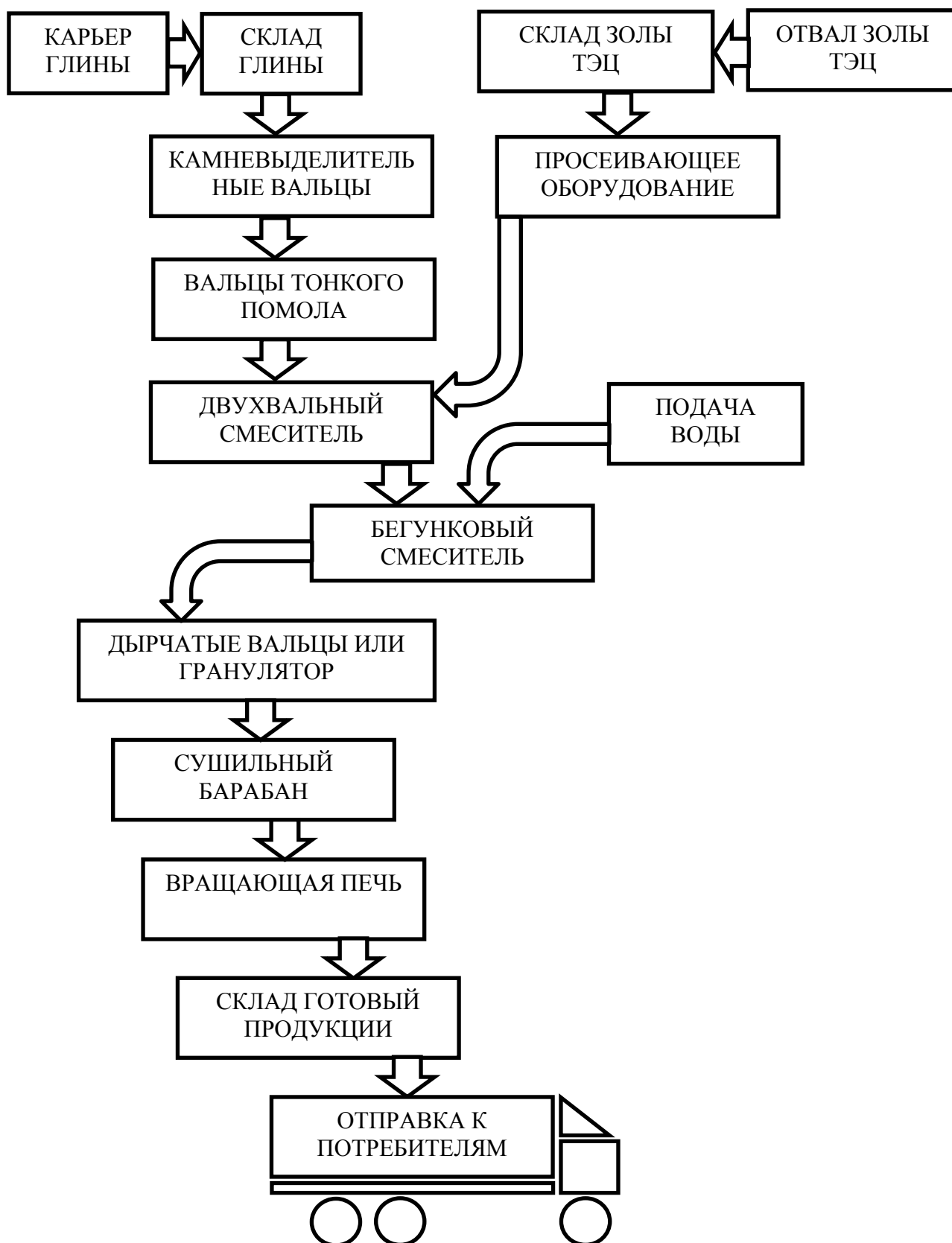


Рисунок 5 - Технологическая схема производства керамдора в системе глина-зола ТЭЦ

## Содержание

Введение	3
Характеристика сырьевых материалов используемых для производства керамдора на основе переработки глинистых пород Западного Казахстана	5
Рекомендация по разработке оптимальных составов керамических масс для получения керамдора, отвечающих требованиям энергоэффективности и ресурсосбережения	11
Изменения физико-механических свойств опытных образцов в зависимости от состава сырьевых материалов	15
Оптимизация составов керамдора по критерию энергоэффективности и ресурсосбережения	16
Установление основных закономерностей изменения физико-механических свойств и процессов структурообразования в зависимости от изменения компонентного состава и технологических условий термообработки	16
Технологическая схема производства керамдора на основе переработки глинистых пород и с учетом использования корректирующих добавок	19



**Монтаев С.А., доктор технических наук, профессор  
Рыскалиев М.Ж, доктор PhD**

**Рациональная технология керамдора на основе переработки глинистых  
пород для теплоизоляционно – конструкционных  
бетонов и дорожного строительства**

**рекомендация**

Подписано к печати \_\_.\_\_.2020  
Формат 30\*40 Бумага листовая 80м/г  
Объем \_\_ усл.п.л. Заказ №\_\_  
Тираж \_\_ экз.

Отпечатано в полном соответствии  
с качеством представленных оригиналов  
в НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический  
университет имени Жангир хана»  
090009 г. Уральск, Жангир хана, 51.