

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ИННОВАЦИОННЫЙ ЕВРАЗИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машиностроение и строительство»

Магистерская диссертация

«РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОДГОТОВКИ
ГЛИНОЗЁМСОДЕРЖАЩЕЙ ШИХТЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЕЁ
ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ»

6М0111 «Информатика педагогическая»

Исполнитель _____ Е.К. Каулина
(подпись, дата)

Научный руководитель
Профессор, к.т.н. _____ Н.М.Зайцева
(подпись, дата)

Допущена к защите:

Зав.кафедрой «Машиностроение и строительство»
Профессор, к.т.н. _____ С.А. Стаценко
(подпись, дата)

Павлодар, 2011

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

УБ - бассейн схемы усреднения шихты

УК - коробка усредняющих бассейнов

СБ - сборные пульповые мешалки

ПРО - поршневой регулирующий орган

СШМ - содошламовая мешалка

ЦПС - цех подготовки сырья

СШБ - содошламовый бассейн

УПШ - Участок подготовки шихты

АСУТП - автоматизированная система управления технологическим процессом

ЗБ - запасной бассейн

СУБД – система управления базами данных

ИС – информационная система

БД – база данных



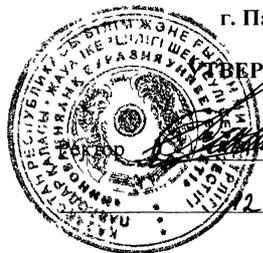
АКТ
11 ма 2011 г. № 149

АКТ

Павлодар қ.

г. Павлодар

[О внедрении результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс]



А.Ю. Камербаев

12 ма 2011 г.

Мы, нижеподписавшиеся, председатель комиссии – **Никитин Е.Б.**, проректор по научной работе – директор Инженерной академии,

- члены комиссии:
1. **Проскурина Л.И.**, декан факультета очного обучения Инженерной академии;
 2. **Никифоров А.С.**, зав. кафедрой «Теплоэнергетика и металлургия»;
 3. **Комардина Л.С.**, проректор по учебно-методической работе и качеству образования;
 4. **Абраменко А.П.**, начальник отдела научно-организационной работы;

составили настоящий акт о том, что на кафедре «Теплоэнергетика и металлургия» с января 2011 года используются в учебном процессе результаты, полученные в ходе выполнения магистерской диссертации с сентября 2009 года по май 2011 года по теме «Разработка и исследование модели подготовки глинозёмсодержащей шихты и прогнозирование её теплотребления» в соответствии с планом работы под научным руководством Н.М. Зайцевой, канд. техн. наук, доцент.
Исполнитель Е.К. Каулина, магистрант ИнЕУ.

Использование результатов НИР заключается в следующем:

1. Написание методических указаний по лабораторным работам «Прогнозирование химического состава шихты», «Прогнозирование теплотребления шихты» для студентов специальности 050709 «Металлургия». Результатом внедрения результатов НИР явилось:
 1. Проведение студентами лабораторной работы «Прогнозирование химического состава шихты», «Прогнозирование теплотребления шихты» по дисциплине «Теория металлургических процессов», «Металлургическая теплотехника».
 2. Углубленное изучение студентами методики приготовления глиноземсодержащих шихт и их спекания во вращающихся печах.

Настоящий акт составлен в 4 экз., и передан на хранение:

первый экз. - на кафедру, второй экз. - в деканат, третий экз. - в отдел информационно- методического обеспечения, четвертый экз. - в отдел научно-организационных работ.

Председатель комиссии


Е.Б. Никитин

Члены комиссии:


А.С. Никифоров


Л.И. Проскурина


Л.С. Комардина


А.П. Абраменко

СОДЕРЖАНИЕ

	Обозначения и сокращения.....	4
	Введение.....	5
1	Современное состояние технологии спекания и исследование моделей приготовления глинозёмсодержащих шихт в производстве глинозёма.....	7
1.1	Сырьевая база и способ обогащения глиноземсодержащего сырья на АО «Алюминий Казахстана».....	7
1.2	Описание технологического процесса спекания и схемы участка подготовки шихты.....	8
1.3	Обзор существующего уровня автоматизации подготовки шихты....	11
1.3.1	Особенности участка подготовки шихты с точки зрения автоматизации управления. Технологический регламент.....	11
1.3.2	Постановка и декомпозиция общей задачи управления.....	14
1.3.3	Описание подзадач управления. Функции соответствующих подсистем управления.....	15
1.4	Компоненты шихты. Технологические требования.....	17
1.5	Исследование моделей приготовления глинозёмсодержащих шихт в производстве глинозёма.....	20
	Выводы.....	21
2	Моделирование процесса подготовки шихты. Прогнозирование её химического состава и теплотребления.....	22
2.1	Математический аппарат моделирования.....	22
2.1.1	Уравнения стационарных материальных балансов процессов смешения.....	22
2.1.2	Построение однофакторной регрессионной модели. Расчёт параметров корреляции на основе линейных уравнений.....	23
2.1.3	Построение моделей связи в виде уравнения множественной регрессии.....	25
2.1.4	Критерии оценки адекватности и измерения точности корреляционной связи.....	28
2.2	Моделирование процесса подготовки шихты и прогнозирование её химического состава.....	30
2.2.1	Разработка алгоритма модели.....	30
2.2.2	Алгоритм расчёта компонентов спёка по результатам модели.....	36
2.2.3	Сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных.....	37
2.3	Прогнозирование теплотребления шихты. Исследование статических характеристик модели.....	38
2.3.1	Расчет теплового баланса по методике Самаряновой Л.Б.....	38
2.3.2	Анализ зависимости теплотребления шихты от содержания влаги по зонам спекания.....	45
2.3.3	Построение однофакторной регрессионной модели зависимости теплотребления шихты от содержания влаги в зоне сушки.....	46

2.3.4	Построение однофакторной регрессионной модели зависимости теплопотребления шихты от содержания влаги в зоне подогрева.....	48
2.3.5	Построение многофакторной регрессионной модели зависимости теплопотребления шихты от её химического состава в зонах кальцинации и спекания.....	50
2.3.6	Сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных теплового баланса.....	54
	Выводы.....	55
3	Программная реализация математической модели процесса подготовки шихты и прогнозирования её теплопотребления.....	56
3.1	Выбор состава программных средств.....	56
3.1.1	Среда разработки.....	56
3.1.2	СУБД.....	57
3.2	Назначение ИС «Aluminum».....	57
3.3	Структура базы данных.....	57
3.4	Структура программы.....	62
3.4.1	Авторизация.....	64
3.4.2	Настройка базы данных.....	64
3.4.3	Смена паролей.....	65
3.4.4	Модуль 1 «Шихта».....	66
3.4.5	Модуль 2 «Теплопотребление».....	70
3.4.6	Формирование отчёта.....	78
3.4.7	Справка.....	79
3.5	Апробация.....	80
	Выводы.....	80
	Заключение.....	81
	Список использованных источников.....	82
	ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	83
	ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	84
	ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	85
	ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	86
	ПРИЛОЖЕНИЕ Д.....	111

ВВЕДЕНИЕ

Последовательная технологическая схема Байер-спекания по производству глинозёма (сырья для производства алюминия) содержит процесс приготовления шихты, являющейся исходным материалом для передела спекания. При этом шихта должна иметь заданный состав, который должен не только обеспечить наилучшие показатели при гидрохимической переработке спёка, но и выдержать баланс по щелочам и глинозёму на протяжении всего технологического процесса.

Диссертация связана с переделом спекания и охватывает аспекты трёх областей: металлургии, теплоэнергетики и информатики.

Актуальность: При планировании производства и в периоды между отборами проб на определение химического анализа возникает потребность в прогнозировании химического состава шихты и её теплопотребления во вращающихся печах. Поэтому актуальной задачей является построение моделей, с помощью которых можно определить необходимые показатели в минимальные сроки и автоматизация данного процесса в виде создания информационной системы.

Новизна: Разработка и исследование модели подготовки многокомпонентной шихты, прогнозирования её физико-химического состава и теплопотребления в печах спекания. Автоматизация данного процесса в виде создания информационной системы.

Цель работы: моделирование и программная реализация процесса подготовки шихты, прогнозирования её химического состава и теплопотребления.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи**:

- Анализ технологического процесса спекания шихты.
- Анализ работы участка подготовки шихты как объект автоматизированного управления.
- Анализ физико-химического состава глинозёмсодержащей шихты на стадии приготовления.
- Исследование моделей приготовления глинозёмсодержащих шихт в производстве глинозёма.
- Разработка алгоритма модели;
- Исследование статических характеристик модели;
- Сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных;
- Реализация алгоритма модели в виде информационной системы;
- Доказательство работоспособности и надежности полученной системы.

Объект исследования: процесс подготовки глинозёмсодержащей шихты и её спекание во вращающихся печах.

Методы исследования: Корреляционный, дисперсионный и регрессионный анализ.

Исходная информация:

- экспериментальные данные глинозёмного производства;

- фундаментальные положения физико-химических процессов глинозёмного производства;
- фундаментальные положения теории автоматизированного управления;
- математическое моделирование процессов непрерывного производства;
- объектно-ориентированное программирование.

Теоретическая значимость. Развитие теории моделирования.

Практическая значимость. Разработка программной реализации модели, пригодной для проектных работ при подготовке многокомпонентной шихты и прогнозирования её теплотребления в печах спекания; для учебного процесса подготовки специалистов металлургических и теплоэнергетических специальностей.

Результаты. Разработана информационная система на основе новой модели.

Публикации: опубликованы три статьи по теме диссертации в научном журнале «Вестник ИнЕУ».

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников, приложений. Основная часть работы изложена на 82 листах печатного текста, включает 24 таблицы и 34 рисунка. Список литературы содержит 17 источников.

В первой главе произведён анализ технологического процесса спекания шихты, анализ работы участка подготовки шихты как объекта автоматизированного управления, анализ физико-химического состава глинозёмсодержащей шихты на стадии приготовления, исследование моделей приготовления глинозёмсодержащих шихт в производстве глинозёма.

Во второй главе разработана и исследована математическая модель подготовки глинозёмсодержащей шихты, прогнозирования её химического состава и теплотребления. Произведён сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных.

В третьей главе освещён выбор состава программных средств для автоматизации алгоритма модели, описана структура программы, база данных, интерфейс ИС «Aluminum». Приведены данные по апробации программы.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СПЕКАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ГЛИНОЗЁМСОДЕРЖАЩИХ ШИХТ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГЛИНОЗЁМА

1.1 Сырьевая база и способ обогащения глиноземсодержащего сырья на АО «Алюминий Казахстана»

Глинозём на сегодняшний день является единственным видом сырья для производства первичного алюминия – металла, который находит всё большее применение во многих отраслях промышленности. Увеличение производства и потребления первичного алюминия соответственно ведёт к увеличению производства глинозёма.

На АО «Алюминий Казахстана» впервые в мировой практике решена важная технологическая проблема вовлечение в сферу крупномасштабного промышленного производства высококремнистых и высокожелезистых бокситов Казахстана. Бокситы Казахстана являются низкосортными, отличаются повышенным содержанием вредных примесей и осложняют работу основных технологических переделов.

Разработка и промышленное освоение с высокими технико-экономическими показателями на АО «Алюминий Казахстана» последовательной технологической схемы Байер-спекание для руды, которая за рубежом классифицируется не как бокситы, а как бокситоподобные глины, оказались возможными благодаря радикальному изменению химико-технологических основ производства, применению новых автоматизированных систем управления процессов (АСУТП) и высокопроизводительных аппаратов [1].

Сущность последовательного варианта способа Байер-спекания в том, что все сырье перерабатывается вначале по способу Байера, а полученный красный шлам по способу спекания. Высокое содержание кремнезема в бокситах при переработке их в ветви Байера приводит к большим химическим потерям глинозема и щелочи с красным шламом. Эти компоненты в форме гидроалюмосиликата натрия переходят из раствора в красный шлам. Для доизвлечения глинозема и щелочи красный шлам подвергается высокотемпературному спеканию с содой и известняком. Спек идет на гидрохимическую переработку. Аллюминатный раствор шламовой ветви после обескремнивания смешивается с аллюминатным раствором ветви Байера и идет на декомпозицию. Маточный раствор после декомпозиции упаривается и возвращается для выщелачивания свежих порций боксита. Сода, образующаяся при упаривании аллюминатных растворов, направляется в ветвь переработки красного шлама. Потери щелочи компенсируются добавкой кальцинированной соды. Этот вариант имеет ряд преимуществ перед способом чистого спекания. Существенно сокращается количество дефицитного тяжелого оборудования – вращающихся печей. Степень извлечения глинозема возрастает, а потери щелочи уменьшаются благодаря дополнительной переработке байеровского красного шлама в ветви спекания. Снижается удельный расход топлива на спекание шихты.

1.2 Описание технологического процесса спекания и схемы участка подготовки шихты

Цех спекания на АО "Алюминий Казахстана" составляет до 35% от общей мощности завода. Он предназначен для доизвлечения полезных компонентов (Al_2O_3 , Na_2O) из красного шлама гидрометаллургического цеха, возмещения потерь каустической щёлочи путем термической каустификации кальцинированной соды согласно формуле (1.1).



Процесс спекания отличается от основных металлургических процессов обработки гомогенных (т.е. однородных по фазам) материалов (жидких при плавлении, твердых при сушке, обжиге) тем, что в готовом продукте надлежит получить гетерогенный материал, являющийся результатом частичного сплавления материала, слипания твердых частиц образующимся плавом и получения куска заданного размера.

Участок подготовки шихты (УПШ) является головным в цехе спекания и служит для приготовления шихты заданного состава. Шихта состоит из красного шлама, оборотного белого шлама, свежей кальцинированной соды, известняково-бокситовой смеси и угля - восстановителя. При необходимости в шихту вводится боксит.

В процессе приготовления шихты не происходят химические реакции, технологический процесс представляет собой смешивание указанных выше компонентов и измельчение в шаровых мельницах. Все сырьевые компоненты вводятся в процесс в определённой пропорции с учётом их химического состава. Эти пропорции определяют дозировки исходных веществ. Дозировка есть отношение расхода одного из компонентов к расходу основного потока. Так, например, дозировка боксито-известковой смеси определяется отношением ее расхода к сумме расходов содошламовой пульпы и усредненного шлама ($Q_{изв}/Q_{шл}$), а дозировка содошламовой пульпы есть отношение расхода содошламовой пульпы к расходу шлама ($Q_{сшп}/Q_{шл}$) [2].

Целью приготовления шихты является получение такого её состава, который, учитывая потребности передела спекания, должен не только обеспечить наилучшие показатели при гидрохимической переработке спека, но и выдержать баланс по всей схеме Байер-спекание по щелочам и глинозёму. Это сложная задача, т.к. шихта - это многокомпонентный продукт, причём получаемый из высококремнистых бокситов с малым содержанием полезных компонентов и большим количеством паразитных примесей.

В приложении А приведена технологическая схема УПШ [3]. Схема усреднения красного шлама состоит из четырёх бассейнов, соединённых последовательно между собой. Шлам из бассейна в бассейн перекачивается аэролифтами. В схему усреднения направляются потоки белого шлама и оборотной соды. Усредненный шлак анализируется и из хвостового бассейна с известным химическим составом поступает на дозировку в содошламовые мешалки (СШМ) № 1, 2.

Известняк поступает из цеха подготовки сырья по конвейерам в четыре бункера ёмкостью по 850 тонн каждый. Загрузка бункеров на участке осуществляется реверсивными передвижными конвейерами. Из бункеров известняк дисковыми питателями и ленточными дозаторами подаётся в мельницы. Крупность поступающего известняка не должна превышать 40 мм.

Кальцинированная сода в процесс подаётся в виде пульпы. Для этого часть шлама из схемы усреднения подаётся насосом №161 на склад соды, где смешивается с кальцинированной содой до заданных пропорций и насосами подаётся в содошламовый бассейн (СШБ) №1. Из СШБ1 содошламовая пульпа насосом № 157 перекачивается в СШБ 2. В бассейнах пульпа усредняется, анализируется, хранится, а затем самотёком дозируется в содошламовые мешалки. Расход содошламовой пульпы на мельницы регулируется поршневым регулирующим органом (ПРО).

Смесь содошламовой пульпы и усреднённого шлама из СШМ №1, 2 насосом №130 подаётся на мельницы, сюда же дозируется известняк в необходимых пропорциях. В первой камере по ходу потока происходит грубое измельчение материала, во второй камере происходит тонкое измельчение за счёт истирания материала стальными цилиндрами-цельбепами, размером 28 × 40мм. Через полуу цапфу приводного вала шихта поступает в кольцевой грохот, где из неё удаляются посторонние включения (щепка, галька, металлическая стружка), которые высыпаются в кубели, установленные под разгрузочными головками мельниц и затем вывозятся в отвал.

В мельницах все сырьевые компоненты смешиваются и измельчаются. Полученная из мельниц шихта самотёком поступает в конусные ёмкости, откуда насосами подаётся на вибрационные грохоты стадии очистки. Щепка и галька с грохотов поступает в тетки, из которых смывается шламом и возвращается через всас насоса №130 в загрузочные тетки мельниц.

Очищенная шихта сливается в сборные пульповые мешалки (СБ1 и СБ2), откуда насосами № 151, 152 откачивается в распределительную коробку усредняющих бассейнов УК2 и далее - в головные бассейны УБ1, УБ2 схемы усреднения шихты, которая состоит из шести последовательно соединённых коррекционных бассейнов (УБ1-УБ6). Шихта из бассейна в бассейн перекачивается аэролифтами. Из хвостового бассейна УБ6 через нижний слив по коллекторам шихта поступает на поршневые насосы.

Приготовленная шихта под давлением 23-25 атмосфер, создаваемым поршневым насосом, подается в печи спекания через специальную пульповую форсунку. Выходя из форсунки, пульпа образует струю длиной не менее 10 м, что обеспечивает сушку пульпы во взвешенном состоянии. Вращающаяся печь является печным агрегатом непрерывного действия, работающим по принципу противотока, т. е. шихта, подаваемая в печь, движется навстречу горячим печным газам, испытывая при этом сложные физико-химические изменения.

Термическая обработка шихты по длине вращающейся печи (5×100 м) проходит следующие температурные зоны: зона сушки и подогрева - 20 ÷ 25 м; зона кальцинации - 50 ÷ 55 м; зона спекания - 15 ÷ 20 м; зона охлаждения - 3 ÷

5 м. На рисунке 1.1 приведена схема теоретического нагрева материала в печи спекания.



Рисунок 1.1 – Схема теоретического нагрева материала в печи спекания

В зоне сушки и подогрева (температура шихты 50 - 300°C) из шихты удаляется влага, в зоне кальцинации (300 - 900°C) - разлагается известняк и начинаются реакции между отдельными компонентами шихты. В зоне спекания температура газового потока достигает 1400-1600°C, а температура материала 1150-1250°C. В этой зоне заканчиваются необходимые реакции и образуется спёк. В зоне охлаждения, расположенной в нижней части барабана печи перед огненным факелом, температура спёка снижается до 1000-1100°C. Следует отметить, что протяженность зон не является постоянной для печи, а зависит от условий теплопередачи.

Спёк - твёрдое каменистое вещество с определённой пористостью и крупностью (фракцией), которое подвергается дальнейшей гидрохимической переработке для извлечения из него алюмината натрия ($\text{Na}_2\text{OAl}_2(\text{OH})_3$) [4]. Выходящий из печи спёк, через течку поступает в барабанный холодильник, в котором происходит его дальнейшее охлаждение.

Удельный расход тепла зависит от влажности и состава шихты, коэффициента избытка воздуха, подаваемого на сжигание топлива и, составляет: $1000 \div 1500$ ккал на 1 кг спёка [5].

Топливом для печей спекания является угольная пыль, которая производится путём размола и сушки сырого угля в отделении пылеприготовления.

Типовой вращающейся печью с подачей распылённой шихты является мощная печь 5×100 м, см. Приложение Б. Печь установлена на четырех опорах с наклоном 2,5%. Она вращается с частотой 1,85 об/мин. от двух приводов мощностью 250 кВт каждый, расположенных у второй опоры, считая от загрузочного конца печи.

Из анализа существующей технологической схемы приготовления шихты и характеристик технологических потоков авторы в работе [5] делают следующие выводы. Технологический процесс приготовления шихты:

- носит непрерывный характер;

– относится к классу гидромеханических процессов, и получение шихты заданного паспортного состава требует реализации сложного алгоритма управления дозировками компонентов шихты.

– представляет сложную многосвязную систему. В подобных системах каждая выходная переменная зависит от нескольких входных воздействий.

– характеризуется большим количеством контролируемых и неконтролируемых возмущений в виде нерегулярного ввода кальцинированной соды, белого шлама и бокситов, значительных колебаний химического состава и т.д.

Традиционно с точки зрения технологии к шихте предъявляются следующие основные требования. Шихта должна иметь:

– заданный щелочной модуль α (отношение концентрации Na_2O к концентрации Al_2O_3 и умноженное на молярное отношение 1,65 - с этой целью в шихту дозируется кальцинированная сода Na_2CO_4);

– известковый модуль μ (отношение концентрации CaO к концентрации SiO_2 и умноженное на молярное отношение 1,07 - с этой целью в шихту дозируется известняк, периодически шихтуемый бокситом);

– определённый, так называемый, угольный модуль M_y (отношение концентрации угля C к концентрации оксида железа Fe_2O_3);

– определённую степень влажности W (по условиям практики 36-41%);

– определённые свойства дисперсности, для оценки которой служит значение P_n - показатель тонины помола.

Заданные значения модулей устанавливаются инженером по сопровождению технологического процесса приготовления шихты [6].

1.3 Обзор существующего уровня автоматизации подготовки шихты

1.3.1 Особенности участка подготовки шихты с точки зрения автоматизации управления. Технологический регламент

Для управления качественными показателями шихты и спёка на АО «Алюминий Казахстана» разработана и функционирует автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП) приготовления шихты, которая по уровню сложности относится к классу многоконтурных многосвязных систем управления. Объектом управления АСУТП приготовления шихты является технологический объект, представляющий совокупность технологического оборудования и реализованного на нём по соответствующим инструкциям и регламентам технологического процесса приготовления шихты [3].

Как объект автоматического управления участок подготовки шихты характеризуется следующими особенностями:

1) Непрерывность технологического процесса. Данное обстоятельство требует постоянного контроля и регулирования потоков компонентов шихты и самой шихты, а также организации согласования производительности с

соседними переделами, в данном случае при помощи буферных емкостей – запасных бассейнов ЗБ1–ЗБ6;

2) На УПШ не происходит каких-либо химических реакций, и это с одной стороны упрощает задачу автоматизации, в результате система строится на простых локальных регуляторах расхода, уровня и т.д. Но условие получения выходного продукта участка – шихты заданного паспортного состава, обусловленной технологией процесса, требует реализации сложного алгоритма управления дозировками компонентов шихты.

Основной целью управления дозировкой сырьевых компонентов является обеспечение определенного состава шихты в суммарном потоке ее после мельниц. Наиболее желательным было бы получение всего количества шихты только паспортного состава. Поэтому химическому составу шихты после мельниц должны быть приданы такие гармонические колебания, которые позволили бы превратить ее в паспортную после усреднения.

Такая постановка задачи позволяет снизить требования к точности дозировки в каждый отдельный момент времени, распространяя его только на среднее значение за довольно длительный промежуток времени.

3) В условиях большой погрешности лабораторного определения химического состава, в котором погрешность определения соизмерима или даже превышает заданный технологический регламент, появление колебаний состава исходного сырья повышает чувствительность химического анализа. При резких и значительных изменениях состава компонентов шихты требуется настройка системы управления обслуживающим персоналом. Продолжительность настройки, обусловленная дискретностью проведения химанализов, зависит от глубины возмущения и квалификации людей.

За время настройки состав приготовленной шихты (по 1 УБ) имеет отклонения от заданного, которые, несмотря на определенные возможности схемы усреднения, проходят на печи спекания. При этом затрудняется дальнейшая переработка шихты, увеличивается расход сырья и энергии.

4) Дополнительными требованиями к системе управления дозировкой является оптимальное распределение нагрузок между параллельно работающими мельницами.

Все вышеперечисленные особенности обуславливают структуру, алгоритм управления, а также состав технических средств АСУ ТП участка подготовки шихты.

На протяжении всего технологического пути приготовления шихты установлены автоматические пробоотборники, предназначенные для отбора проб красного шлама, содошламовой пульпы и шихты на химический анализ в заводской лаборатории.

Контроль процесса приготовления шихты осуществляется с помощью восьми автоматических пробоотборников отбирающих пробы из потоков пульп на полный химический анализ. Характеристики пробоотборников представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Характеристики пробоотборников

Точка отбора	Анализируемый поток	Периодичность, час	Время анализа
Шламовая коробка	красный шлам	1	15 мин
Шламовая коробка	ГМЦ	1	15 мин
ШБ 3	белый шлам	2	30 мин
СШБ 1	усредненный шлам	2	30 мин
СШБ 2	содошламовая пульпа	2	30 мин
УБ 5	содошламовая пульпа	3 часа	30 мин
УБ 1	продукционная шихта	1 час	15 мин
УБ 6	продукционная шихта	6 часов	50 мин

Но даже из качественно приготовленной шихты в печах можно получить бракованный спёк, в котором будет большое содержание таких соединений, например, как силикат натрия $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{SiO}_2$ и алюминат кальция $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$. Это приводит к "засорению" алюминатного раствора кремнёвкой и повышению его вязкости. В конечном итоге падает качество продукции и портится оборудование. Подобные явления происходят из-за нарушений технологических режимов процесса спекания, вызванных действием различных возмущений. Источниками возмущений являются как самопроизвольные количественные изменения входных величин процесса - загрузки шихты, подачи топлива и воздуха, разрежения в печи, так и качественные изменения этих величин.

К последним относятся:

- изменение физических свойств и химического состава перерабатываемой шихты (изменение влажности, крупности, температуры шихты, содержания полезных компонентов и вредных примесей);
- изменение физических свойств вводимого в процесс топлива - теплоты его сгорания, влажности, энтальпии, крупности, зольности (содержание паразитных примесей, которые снижают качество сгорания угольной пыли);
- изменение свойств, вводимого в процесс, воздуха - влажности, температуры, содержания кислорода.

Кроме указанных факторов, на технологический процесс оказывают воздействие возмущения, связанные непосредственно с конструкцией аппарата.

К ним относятся:

- изменения толщины стенок барабана печи как в результате истирания футеровки, так и вследствие образования приваров шихты (настылей), т.к.

толщина стенки и её теплопроводность характеризуют количество тепла, передаваемого к внешней поверхности барабана;

- колебания температуры окружающего печь воздуха (температура определяет величину потерь тепла через кожух печи в атмосферу);

- изменение гидравлического сопротивления печи в результате изменения степени заполнения печи шихтой и вследствие образования внутри барабана наростов;

- изменения количества воздуха, засасываемого через неплотности, по газоходному тракту.

1.3.2 Постановка и декомпозиция общей задачи управления

На рисунке 1.2 представлена общая структура объекта управления [3]. В данном случае в качестве объекта управления выступает участок подготовки шихты.

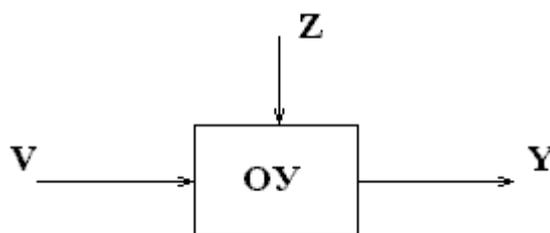


Рисунок 1.2 – Общая структура объекта управления

Управляемыми параметрами Y технологического процесса приготовления шихты являются:

- качественные показатели шихты на УБ (щелочной α и известковый μ модули);

- уровни в коррекционных бассейнах;
- уровни в мешалках содошламовой пульпы и шихты.

Управляющие параметры:

- расход содошламовой пульпы в мешалки СШМ 1, 2;
- расход шлама на мельницы;
- расход боксито-известковой смеси на мельницы;
- расход воздуха на транспорт пульпы.

Среди возмущающих факторов, способных повлиять на качество шихты можно выделить следующие:

- состав исходного сырья;
- воздействие технологических сред (зарастание труб, оборудования);
- степень износа оборудования;
- человеческий фактор.

Общей задачей управления УПШ является получение спекательной шихты заданного химического состава. При декомпозиции многокритериальной

задачи автоматизированного управления технологическим процессом приготовления шихты выделены следующие подзадачи:

- управление дозировкой известняка, шлама и содошламовой пульпы с целью получения шихты заданного химического состава;
- согласование производительности участка приготовления шихты с производительностью соседних технологических участков (спекания шихты и ветви Байера);
- управление приготовлением содошламовой пульпы стабильного состава;
- управление гомогенизацией и транспортировкой пульп в схемах усреднения и стабилизация уровня пульпы в мешалках;
- управление работой мельниц: режимом измельчения, загрузкой мелющими телами и состоянием подшипников;
- управление загрузкой бункеров известняком;
- контроль химического состава и расхода полупродуктов, поступающих с других участков завода, и потоков энергоносителей;
- расчет технико-экономических показателей работы отделения и оперативный контроль над показателями надежности и эффективности функционирования АСУТП.

1.3.3 Описание подзадач управления. Функции соответствующих подсистем управления

Вышеперечисленные задачи решаются персоналом участка с использованием средств локальной автоматики, дистанционного управления и ЭВМ.

Главной задачей управления является задача 1 приготовления кондиционной шихты путем выбора оптимальных значений дозировок шлама, содошламовой пульпы и известняка. Шихта считается кондиционной, если значения щелочного α и известкового μ модулей находятся в зоне допустимых регламентных значений.

Текущие значения модулей вычисляются ЭВМ по результатам определения содержания оксидов натрия, калия, алюминия, кремния, кальция и серы в пробах шихты.

Задача решается полностью автоматически. Оператор участка контролирует автоматическое управление и вмешивается в него не чаще одного раза в 3-6 дней. В ЭВМ при решении этой задачи используются показания 30 аналоговых и позиционных датчиков и результаты анализов проб шихты из мельниц, шлама и содошламовой пульпы. Результаты расчета ЭВМ – задания 14 локальным регуляторам потоков. В алгоритмическом обеспечении подсистемы управления дозировкой используются следующие алгоритмы:

а) расчет изменений дозировочных отношений g расходов компонентов шихты, необходимой для компенсации возмущений (изменений состава шлама

и содошламовой пульпы), с использованием математической модели процесса смешения;

б) формирование по дискретному аналогу ПИ-алгоритма поправок, корректирующих модель смешения по результатам сравнения α и μ с их заданными значениями;

в) корректировка коэффициентов настройки ПИ-алгоритма и зависимости от характера колебаний во времени величин α и μ на выходе из мельниц;

г) проверка дозирочных отношений g , полученных расчетом пунктов (а), (б) и (в), на ограничения с учетом условий измельчения материала в мельницах;

д) расчет расходов известняка и шламовой смеси в мельницы и расхода содошламовой пульпы; расчет ведется с использованием специальной модификации метода нелинейного программирования таким образом, чтобы точно выдержать рассчитанные значения соотношений потоков, не нарушить заданных ограничений, наложенных на эти потоки, как можно точнее выдержать заданную производительность мельниц и обеспечить по возможности одинаковое отношение жидкое/твердое в шихте на выходе мельниц, при этом учитывается состояние мельниц, транспортеров и линий связи регуляторов с ЭВМ;

е) диагностика ненормативных режимов подсистемы;

ж) формирование с периодом один час и 8 часов бланков, в которых отражаются текущие показатели работы подсистемы, в том числе, средние значения расчетных и фактических потоков и дозирочных отношений, коэффициент использования подсистемы и доля полученного кондиционного продукта.

Задачу 2 согласования производительности участка приготовления шихты со смежными участками и задачу 3 управления приготовлением содошламовой пульпы стабильного состава решает оператор участка. При этом он использует результаты анализа проб содошламовой пульпы и материала в запасных бассейнах, получаемые из ЭВМ с использованием информационной системы, и показания уровнемеров пульпы в бассейнах переменного уровня. Свои решения оператор реализует с помощью средств дистанционного управления: пускает-останавливает мельницы, насосы, переключает запорные органы, устанавливает задание локальному регулятору расхода шлама на репульпацию соды..

Задача 4 управления гомогенизацией и транспортировкой пульпы в схемах усреднения решается с использованием локальных автоматических регуляторов расходов воздуха на транспорт и перемешивание. Стабилизация уровня в мешалках также осуществляется локальными регуляторами, управляющее воздействие которых изменяет прямой или байпасный поток материала в мешалку в зависимости от уровня в ней.

Работой мельниц (задача 5) управляет оператор с помощью мельника. ЭВМ при решении этой задачи ведет учет коэффициента использования мельниц, времени загрузки мельниц мелющими телами, “сообщает” через

терминал о результатах измерения гранулометрического состава шихты, поступающей в печи.

Задачу 6 загрузки бункеров известняком, подаваемом из складов, решает сегодня бункеровщик, обеспечивая непрерывное соблюдение графика подачи материалов в бункера при помощи конвейеров. Контроль процесса загрузки и уровней в бункерах аппаратчик производит визуально.

Задачи 7 и 8 контроля за составом и расходом исходных и конечных продуктов участка, расходом электроэнергии и сжатого воздуха, показателями работы бригад (т.е. задачи учета и контроля технико-экономических показателей работы участка) решает ЭВМ. Она использует сведения, получаемые с датчиков и из лабораторий, рассчитывает эти показатели и выдает их в виде таблиц и графиков информационной системы, бланков оператору участка с периодом 1 час и 8 часов, руководителям участка с периодом одни сутки.

1.4 Компоненты шихты. Технологические требования

Суточная передача Al_2O_3 в шихте на печи при производительности завода по схеме Байер-спекание на 1800000 т/год по Al_2O_3 должна составлять примерно 1600-1650 т Al_2O_3 в сутки. Это позволит выдержать щелочной баланс по заводу и обеспечит бесперебойную работу цеха спекания, при доли спекания соответствующей примерно 33%.

Количество компонентов в шихте рассчитывается пропорционально существующим потокам по спеканию на заданный суточный поток по Al_2O_3 в сутки 1600-1650 т.

Красный шлам. Красный шлам, поступающий на приготовление шихты, состоит из собственно красного шлама ветви Байера, репульпированного раствором оборотной соды, выделенного из маточного раствора на выпарке, таблица 1.2.

Таблица 1.2 - Вещественный состав красного шлама

Основные компоненты	Паразитные компоненты
$Na_2O \cdot Al_2O_3$	Na_2SO_4
$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	$NaCl$
$NaOH$	
Na_2CO_3	
$Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$	
SiO_2	

Особенностью красного шлама, как исходного компонента для приготовления шихты, является очень тонкий дисперсный состав, что крайне благоприятно для размольного способа приготовления шихты – столь тонкий

компонент создаёт хорошие предпосылки для получения однородной шихты и проведения химических реакций при спекании. Красный шлак состоит из твердой и жидкой части. Основная масса веществ красного шлама представляет собой твердую фазу выпавших в осадок в ветви Байера и нерастворимых в щелочных растворах компонентов боксита и алюмосиликата натрия.

Жидкая фаза красного шлама содержит растворенные вещества:

- Аллюминат натрия $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- Каустическую щелочь NaOH
- Карбонатную щелочь $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CO}_2$
- Сульфатную соль NaCl

Технологические требования к красному шламу:

1) Влага. Технические решения в ветви Байера позволили устойчиво иметь влагу красного шлама в диапазоне 51,5-52,5%, что обеспечивает среднюю влагу шихты около 36% и является оптимальным.

2) 2. Содержание каустической щелочи в жидкой фазе в совокупности с каустической щелочью белого шлама и оборотной содой имеет глубокое влияние на поведение шихты при спекании и качество спека. Исходное основное свойство красного шлама для схемы Байер-спекание связано с его щелочным модулем.

$$a_{щ} = 1,645 \cdot \left(\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3} \right) \quad (1.2)$$

Известно, что печи спекания удовлетворительно работают в диапазоне щелочного модуля спека $a_{щ}=1,32- 1,38$.

Восстановитель. В качестве восстановителя применяется либо антрацит, либо отсев кокса. Технические условия - минимальное содержание летучих в горючей массе.

Содовый раствор. Транспортировка красного шлама – репульпация (кек дисковых фильтров) осуществляется содовым раствором, поступающим с участка выпарки.

Белый шлак. Белый шлак гидрохимической переработки спека образуется по двум путям:

1) Вынос твердого с алюминатным раствором из трубчатых выщелачивателей при гидрохимической переработке спека. В вынос уходит мелкая часть спека – как правило уровень выноса определяется качеством спека, как правило недопек выносятся практически целиком. Вынос образует серый шлак.

2) При выщелачивании спека в алюминатный раствор переходит часть окиси кремния SiO_2 . Уровень растворенной окиси кремния определяется в основном качеством спека – чем ниже качество спека, тем выше доля растворенной окиси кремния. Алюминатный раствор очищают от окиси кремния автоклавным обескремниванием с выделением в кристаллическом виде той же формы алюмосиликата натрия, что и в ветви Байера: $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Образующаяся при автоклавном выщелачивании твердая фаза-ядро серого шлама, на который выкристаллизовывается алюмосиликат натрия и является белым шламом.

Боксит. Боксит вводится в шихту для реализации щелочного баланса. Ввод боксита, вернее его действующего вещества Al_2O_3 – позволяет не только снизить щелочной модуль приготовленной шихты до приемлемого для процесса спекания уровня, но и значительно улучшить условия спекания шихты. Переработке в ветви спекания пригодны практически все виды и марки боксита, имеющиеся на заводе.

Известняк. Известняк - действующее вещество $CaCO_3$. Известняк Керегетасского месторождения высокого качества по химическому составу, так и по размолоспособности, является основным компонентом шихты. Техническое условие – содержание SiO_2 не выше 1%. Дозировка компонентов шихты производится с целью обеспечения реакций:



Эта реакция обеспечивается приготовлением шихты по известковому модулю. Известковый модуль - молярное отношение окиси кальция к окиси кремния в шихте, спеке. Принятое в металлургии весовое процентное содержание компонентов позволяет вести расчет модулей прямо, формулы 1.4 – 1.6:

Количество молей CaO

$$CaO = \frac{\%CaO}{56}, \quad (1.4)$$

где:

56 – молярная масса CaO.

Количество молей SiO_2

$$SiO_2 = \frac{\%SiO_2}{60}, \quad (1.5)$$

где:

60 – молярная масса SiO_2 .

Известковый модуль:

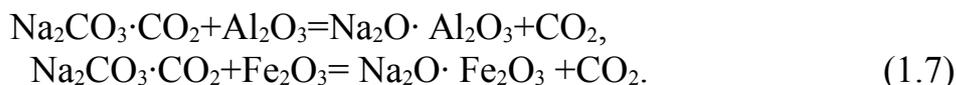
$$\mu = 1,08 \cdot \frac{\%CaO}{56} \div \frac{\%SiO_2}{60}, \quad (1.6)$$

$$\mu = \frac{60}{56} \cdot \frac{\%CaO}{\%SiO_2},$$

$$\mu = 1,07 \cdot \frac{\%CaO}{\%SiO_2}.$$

Точность дозировки известняка при приготовлении шихты должна быть очень высокой – как недостаток, так и избыток CaO в конечном итоге снижает химические выходы при гидрохимической переработке спека.

Сода кальцинированная. Действующее вещество – Na_2CO_3 . Служит для восполнения потерь каустической щелочи всей схемой. Техническое условие – содержание SO_3 не выше 1%.



Эти реакции обеспечиваются приготовлением шихты по щелочному модулю. Щелочной модуль – это молярное отношение окиси натрия к окиси алюминия в шихте, в спеке, формулы 1.8 – 1.10. Молярная масса Na_2O - 62, молярная масса Al_2O_3 – 102.

Количество молей Na_2O

$$Na_2O = \frac{\%Na_2O}{62} \quad (1.8)$$

Количество молей Al_2O_3

$$Al_2O_3 = \frac{\%Al_2O_3}{102} \quad (1.9)$$

Щелочной модуль

$$\alpha = 1,645 \cdot \frac{\%Na_2O_3}{\%Al_2O_3} \quad (1.10)$$

Дозировка соды в шихту может производиться из расчета получения:

- стехиометрически насыщенной шихты, когда дозировка щелочи ведется на связывание Al_2O_3 в алюминат натрия, а всей окиси в феррит железа.
- стехиометрически ненасыщенной шихты, когда дозировка ведется на связывание Al_2O_3 в алюминат натрия, и только части железа в феррит натрия.

1.5 Исследование моделей приготовления глинозёмсодержащих шихт в производстве глинозёма

В работах [2], [7] математически описан процесс смешения и разработана детерминированная статическая модель смешения компонентов шихты и спекания (далее модель), которая позволяет фиксировать взаимосвязь и интенсивность изменения выходных параметров при изменении входных, проводить диагностику ситуаций и получать различного рода статические характеристики.

Модель была идентифицирована под реальным режимом работы участка приготовления шихты на Павлодарском алюминиевом заводе. Основу всех вычислений составляют уравнения стационарных материальных балансов процессов смешения. Модель имеет блочную структуру, адекватна структуре графов технологических потоков.

В алгоритм смешения компонентов шихты заложен прямой расчёт модулей шихты и спека и возможность идентификации (подгонки) расчёта.

Общая постановка задачи исследования включает построение и анализ статических характеристик трёх видов:

- зависимости модульных характеристик шихты от управляющих воздействий (дозировок кальцинированной соды и боксито-известковой смеси);
- зависимости модульных характеристик шихты от отношений расходов исходных материалов (белого шлама, боксита);
- зависимость модульных характеристик шихты от химического состава исходных материалов (красного шлама, белого шлама, кальцинированной соды, известняка, боксита).

Полученные в результате исследования статические характеристики могут быть использованы оперативным технологическим персоналом как универсальный инструмент для ситуационного анализа и диагностики управления технологическим процессом приготовления шихты.

Анализ модели смешения компонентов шихты и спекания выполнен в среде программирования MatLab.

Приведённая модель, на наш взгляд, в основном направлена на выдерживание щелочного и известкового модулей в шихте и спёке. При этом не берутся во внимание расходы компонентов и полный химический анализ получаемой шихты и спека, не учитывается теплопотребление шихты.

Выводы

На основании анализа современного состояния технологии спекания и исследования существующих моделей приготовления глинозёмсодержащей шихты актуальным направлением в усовершенствовании данного процесса является разработка и исследование модели подготовки глинозёмсодержащей шихты с учетом ее влагосодержания, химического анализа компонентов и прогнозирование её теплопотребления во вращающихся печах.

Существующие способы управления технологическими потоками далеко несовершенны и часто приводят к запаздыванию по регулировке, что отражается на качестве шихты. Поэтому для совершенствования узла подготовки шихты необходимо создание программ для прогноза качества шихты до получения химического анализа с целью оперативной корректировки шихты.

На основе изложенного для достижения поставленной цели – моделирование и программная реализация процесса подготовки шихты, прогнозирования её химического состава и теплопотребления, определены следующие задачи, решаемые в диссертационной работе:

- Разработка алгоритма модели;
- Исследование статических характеристик модели;
- Сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных;
- Реализация алгоритма модели в виде информационной системы;
- Доказательство работоспособности и надежности полученной системы.

2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЕЁ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

2.1 Математический аппарат моделирования

2.1.1 Уравнения стационарных материальных балансов процессов смешения

Основу предлагаемой модели смешения компонентов шихты составляют уравнения стационарных материальных балансов [7].

Материальный баланс твердых фаз:

$$\sum_{i=1}^n V_i G_i / 1000 = \sum_{i=1}^n M_i^T, \quad (2.1)$$

где:

$V_i, i=1, n$ – объемный расход i -го компонента шихты, м³/смена;

$G_i, i=1, n$ – содержание твердого в i -ых компонентах шихты, гтв/литр;

$M_i^T, i=1, n$ – масса твердой фазы i -го компонента шихты, т/смена.

$$\sum_{i=1}^n M_{xi}^T = \sum_{i=1}^n \frac{M_i^T \cdot X_i^T}{100}, \quad (2.2)$$

где:

$M_{xi}^T, i=1, n$ – масса x -го оксида i -го компонента шихты в твердой фазе, т/смена;

$X_i^T, i=1, n$ – процентное содержание в твердой фазе x -го оксида в i -ом компоненте шихты, %.

$$\sum_{i=1}^n M_i^T = \sum_{i=1}^n \left(M_i \times \frac{100 - v_i}{100} \right), \quad (2.3)$$

где:

$M_i^T, i=1, n$ – масса твердой фазы i -го компонента шихты, т/смена;

$M_i, i=1, n$ – масса расхода i -го компонента шихты, т/смена;

$v_i, i=1, n$ – содержание влаги в i -м компоненте шихты, %.

Материальный баланс жидких фаз:

$$\sum_{i=1}^n V_i^{жс} = \sum_{i=1}^n \frac{M_i^T}{D_i} \left(\frac{W_i}{100 - W_i} \right), \quad (2.4)$$

где:

$V_i^{\text{ж}}$, $i=1, n$ – объем жидких фаз i -го компонента шихты в твердой фазе, м³/смена;

D_i , $i=1, n$ – плотность жидкой фазы i -го компонента шихты, кг/м³;

W_i , $i=1, n$ – влага пульпы i -го компонента шихты, 43%.

$$\sum_{i=1}^n M_{xi}^{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n \frac{V_i^{\text{ж}} \cdot X_i^{\text{ж}}}{1000}, \quad (2.5)$$

где:

$M_{xi}^{\text{ж}}$, $i=1, n$ – масса x -го оксида i -го компонента шихты в жидкой фазе,

т/смена;

$X_i^{\text{ж}}$, $i=1, n$ – содержание в жидкой фазе x -го оксида в i -ом компоненте шихты, %.

$$\sum_{i=1}^n M_{xi} = \sum_{i=1}^n M_{xi}^T + \sum_{i=1}^n M_{xi}^{\text{ж}}, \quad (2.6)$$

где:

M^i , $i=1, n$ – суммарная масса x -го оксида i -го компонента шихты в твердой и жидкой фазе, т/смена.

$$\sum_{i=1}^n M_i^{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n \left(V_i^{\text{ж}} \cdot D_i - \frac{V_i^{\text{ж}} \cdot X_i^{\text{ж}}}{1000} \right), \quad (2.7)$$

где:

$M_i^{\text{ж}}$, $i=1, n$ – суммарная масса влаги в i -ом компоненте шихты, кг.

2.1.2 Построение однофакторной регрессионной модели. Расчёт параметров корреляции на основе линейных уравнений

Прямая связь между наблюдаемыми явлениями выражается (аппроксимируется) в виде следующего уравнения:

$$Y_x = a_0 + a_1 x, \quad (2.8)$$

где:

y – индивидуальные значения результативного признака;

x – индивидуальные значения факторного признака;

a_0, a_1 – параметры уравнения; при этом a_0 – параметр влияния неизвестных факторов;

y_x – теоретическое значение результативного признака.

Параметры a_0 и a_1 формулы (2.8) определяются путём решения системы нормальных уравнений методом определителей или наименьших квадратов, детерминирующих условия нахождения пределов в отклонениях между наблюдаемыми значениями [8].

$$\begin{cases} \sum y = na_0 + a_1 \sum x; \\ \sum xy = a_0 \sum x + a_1 \sum x^2. \end{cases} \quad (2.9)$$

При этом параметр a_0 находится как

$$a_0 = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum yx \sum x}{n \sum x^2 - \sum x \sum x} \quad (2.10)$$

Соответственно параметр a_1 находится как

$$a_1 = \frac{n \sum yx - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \sum x}. \quad (2.11)$$

В случае представления наблюдаемых признаков в разных единицах измерения для оценки параметров корреляции обращаются к исчислению среднего коэффициента эластичности

$$\bar{\varepsilon} = a_1 \frac{\bar{x}}{\bar{y}}, \quad (2.12)$$

где: \bar{x}, \bar{y} - соответственно средние значения наблюдаемых признаков.

Математическое ожидание (\bar{x}) - число, вокруг которого сосредоточены значения случайной величины определяется по следующей формуле.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (2.13)$$

Линейный (парный) коэффициент корреляции определяется по формуле (2.14).

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \right)}} \quad (2.14)$$

2.1.3 Построение моделей связи в виде уравнения множественной регрессии

Множественная регрессия представляет регрессию результативного признака с двумя или большим числом независимых переменных вида

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_k). \quad (2.15)$$

Исходная информация для построения зависимости должна быть проверена на точность, однородность и соответствие закону нормального распределения [10]. Критерием однородности информации служит среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации, которые рассчитываются по каждому факторному и результативному показателю.

Среднеквадратическое отклонение показывает абсолютное отклонение индивидуальных значений от среднеарифметической. Оно определяется по формуле (2.16).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (2.16)$$

Коэффициент вариации показывает относительную меру отклонения отдельных значений от среднеарифметической. Он рассчитывается по формуле (2.17).

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (2.17)$$

На основании самого высокого показателя вариации можно определить необходимый объем выборки данных для корреляционного анализа по формуле (2.18).

$$n = \frac{V^2 \times t^2}{m^2}, \quad (2.18)$$

где:

n – необходимый объем выборки данных;

V – вариация, %;

t – показатель надежности связи, который при уровне вероятности $P = 0,05$ равен 1,96;

m – показатель точности расчетов (допускается ошибка 5-8%).

Для количественной оценки степени отклонения информации от нормального распределения служит отношение показателя асимметрии к ее ошибке и отношение показателя эксцесса к его ошибке. Показатель асимметрии (A) и его ошибка (m_a) рассчитываются по формуле (2.19).

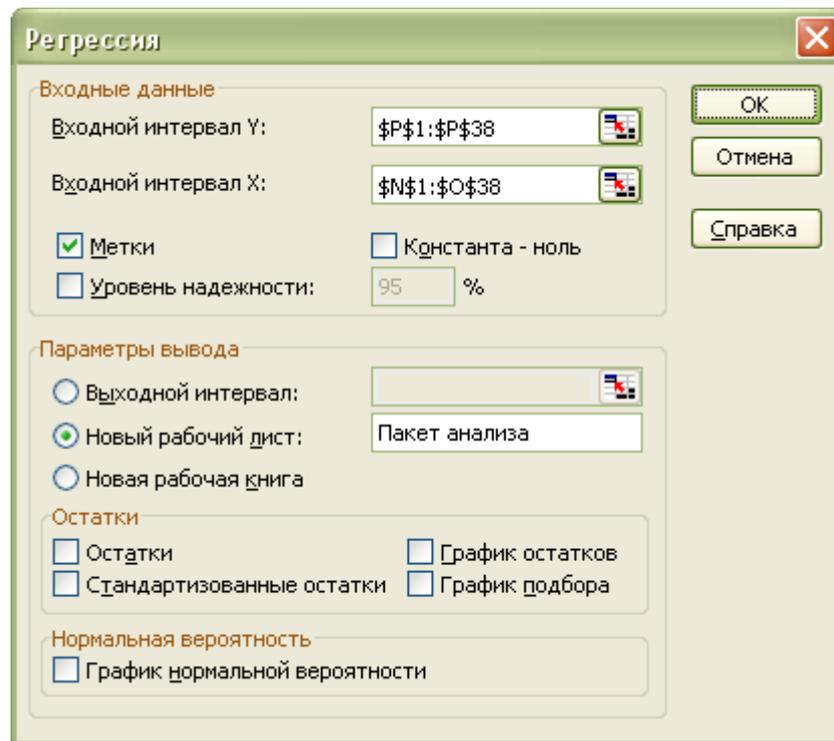


Рисунок 2.1 – Диалоговое окно «Анализ данных – Регрессия»

Результативные данные показывают:

- регрессионную статистику;
- дисперсионный анализ;
- коэффициенты уравнения и другие показатели.

Регрессионная статистика включает в себя следующие показатели: Множественный R, R-квадрат, Нормированный R-квадрат, Стандартная ошибка.

Множественный R - коэффициент множественной корреляции, который служит для определения тесноты связи между фактором y и совокупностью факторов x_1, x_2, \dots, x_p . Коэффициент изменяется в интервале от 0 до 1. Если $R = 0$, то нет линейной корреляционной связи между y и x_1, x_2, \dots, x_p . Если $R = 1$, то связь функциональная.

Величина R-квадрат, называемая также мерой определенности, характеризует качество полученной регрессионной прямой. Это качество выражается степенью соответствия между исходными данными и регрессионной моделью (расчетными данными). Мера определенности всегда находится в пределах интервала $[0;1]$. Если значение R-квадрата близко к единице, это означает, что построенная модель объясняет почти всю изменчивость соответствующих переменных. И наоборот, значение R-квадрата, близкое к нулю, означает плохое качество построенной модели.

2.1.4 Критерии оценки адекватности и измерения точности корреляционной связи

Адекватность, или точность измерения тесноты корреляционной связи, оценивается в статистике по разным критериям. При малой выборке теснота связи оценивается по F-критерию Фишера [13]:

$$F_{\text{э}} = \frac{\sigma_{y_x}^2}{\sigma_{y-y_x}^2} \cdot \frac{n-m}{m-1} \quad \text{или} \quad F = \frac{D_{\text{факторная}}}{D_{\text{ост.}}} \quad (2.24)$$

Предварительно необходимо найти:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum y^2}{n} - \left(\frac{\sum y}{n} \right)^2 \quad (2.25)$$

$$\sigma_{y-y_x}^2 = \frac{\sum (y - y_x)^2}{n} \quad (2.26)$$

$$D_{\text{факторная}} = \frac{\sum (\hat{y} - \bar{y})^2}{m-1} \quad (2.27)$$

$$D_{\text{ост.}} = \frac{\sum (y_i - \hat{y})^2}{n-m-1} \quad (2.28)$$

где:

n – число единиц наблюдения;

m – число параметров модели;

\hat{y} - индивидуальные значения результативного показателя, рассчитанные по уравнению;

\bar{y} - среднее значение результативного показателя, рассчитанное по уравнению;

y_i - фактические индивидуальные значения результативного показателя.

Оценка коэффициента корреляции r проводится с помощью t-критерия Стьюдента, который определяется по формуле (2.29)

$$t_r = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad \text{или} \quad t = \frac{r}{\sigma_r} \quad (2.29)$$

где:

$(n - 2)$ – число степеней свободы;

σ_r - среднеквадратическая ошибка коэффициента корреляции, которая определяется по формуле:

$$\sigma_r = \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}} \quad (2.30)$$

Если эмпирическое значение t оказывается больше табличного, то линейный коэффициент корреляции признаётся значимым.

Значимость коэффициента множественной корреляции с помощью t -критерия Стьюдента определяется по формуле:

$$t_R = \frac{R\sqrt{n-m-1}}{1-R}, \quad (2.31)$$

где:

R – коэффициент множественной корреляции;

n – число единиц наблюдения;

m – число параметров модели.

Средняя ошибка аппроксимации определяется по следующей формуле

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Y - \hat{Y}}{Y} \right| \times 100\% \quad (2.32)$$

Полученное значение не должно превышать допустимого предела, равного 12—15%.

Коэффициент детерминации определяется по формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} \quad (2.33)$$

где:

y_i — наблюдаемое значение зависимой переменной;

\hat{y} — значение зависимой переменной предсказанное по уравнению регрессии;

\bar{y} - среднее арифметическое зависимой переменной.

Если значение R^2 близко к единице, это означает, что построенная модель объясняет почти всю изменчивость соответствующих переменных. И наоборот, значение R -квадрата, близкое к нулю, означает плохое качество построенной модели.

2.2 Моделирование процесса подготовки шихты и прогнозирование её химического состава

2.2.1 Разработка алгоритма модели

Основу предлагаемой модели смешения компонентов шихты составляют уравнения стационарных материальных балансов, представленных в параграфе 2.1.1. Для наглядного освещения методики модели приведены расчёты на основе данных химического анализа и технологических потоков за 21 января 2010 г., таблицы 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 – Химический состав компонентов шихты

Компонент	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Cl	C орг.
Красный шлам, т.ф., %	11,9	19,3	20,6	1,37	29,6	1,42		
Красный шлам, ж.ф., гтв/литр	35,8	29,8						
КШ Перелив, т.ф. , %	11,9	19,3	20,6	1,37	29,6	1,42		
КШ Перелив, ж.ф., гтв/литр	35,8	29,8						
Белый шлам, т.ф. , %	13,3	25,0	23,3	16,20	8,20	2,32		
Белый шлам, ж.ф., гтв/литр	98,8	95,5				10,0	19,0	
Содовый раствор, гтв/литр	163,4	17,9				73,50	11,0	
Боксит, %		43,2	16,8		14,8			
Восстановитель, %		27,0	57,0	3,0				90,0
Известняк, %		0,10	0,20	55,5	0,15			
Кальц. сода, %	57,3							

Таблица 2.2 – Технологические потоки компонентов шихты

Компонент	Объёмный расход, м ³ /смена	Содержание, гтв/литр	Компонент	Масса, тонн/смена	Влага, %	Зольность, %
Красный шлам	4815,2	594	Восстано- витель	180,0	13,5	15
Перелив	223,9	412,0	Боксит	558,5	18,7	-
Белый шлам	63,7	767,0	Известняк	2542,5	2,0	-
Содовый раствор	1380	-	Кальц. сода	170	-	-

Значения по мере нахождения заносятся в сводную таблицу «Материальный баланс процесса приготовления шихты», которая представлена в Приложении В.

I. Красный шлам, КШ Перелив, Белый шлам.

Материальный баланс твердых фаз:

Масса твердой фазы *i*-го компонента шихты. Подставим данные из таблицы 2.2 в формулу (2.1).

$$M_{Кр.шлам}^T = 4815,2 \times 594 / 1000 = 2860,23 \text{ т/смена}$$

$$M_{\text{КШ Перелив}}^T = 223,9 \times 412 / 1000 = 92,25 \text{ т/смена}$$

$$M_{\text{Белый шлам}}^T = 63,7 \times 767,0 / 1000 = 48,86 \text{ т/смена}$$

Занесём полученные значения в сводную таблицу (Приложение В), столбец № 10.

Масса x -го оксида i -го компонента шихты в твердой фазе. Подставим данные из таблиц 2.1, 2.4 в формулу (2.2).

$$M_{\text{Na}_2\text{OK. шлам}}^T = \frac{2860,23 \times 11,9}{100} = 340,37 \text{ т/смена}$$

Аналогично находим массу остальных оксидов Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , SO_3 по компонентам Красный шлам, т.ф., КШ перелив, т.ф., Белый шлам, т.ф. и заносим значения в таблицу в Приложении В, столбцы № 2-7.

Материальный баланс жидких фаз:

Объем жидких фаз i -го компонента шихты в твердой фазе, формула (2.4). Подставим значения, найденные по формуле (2.1).

$$V_{\text{Кр.шлам}}^{\text{Ж}} = \frac{2860,23}{1,05} \left(\frac{43}{100 - 43} \right) = 2054,97$$

Аналогично найдём значения по компонентам КШ Перелив, Белый шлам и занесём в сводную таблицу Приложения В, столбец № 12.

Масса x -го составляющего i -го компонента шихты в жидкой фазе. В формулу (2.5) подставим значения, рассчитанные по формуле (2.4) и из таблицы 2.1.

$$M_{\text{Na}_2\text{OK.шлам}}^{\text{Ж}} = \frac{2054,97 \times 35,8}{1000} = 73,57 \text{ т/смена}$$

Аналогично производим расчёт по $M_{\text{Al}_2\text{O}_3\text{Кр.шлам}}^{\text{Ж}}$. Значения заносим в столбцы № 2, 3. Находим $\sum_{x=1}^n M_{xi}^{\text{Ж}}$.

$$\sum_{x=1}^n M_{\text{Кр.шлам}}^{\text{Ж}} = 73,57 + 61,24 = 134,81 \text{ т/смена}$$

Полученное значение заносим в столбец №10 сводной таблицы, компонент Красный шлам, ж.ф. Таким же образом определяем массу составляющих компонентов в жидкой фазе и $\sum_{x=1}^n M_{xi}^{\text{Ж}}$ по компонентам (КШ Перелив ж.ф., Белый шлам, ж.ф.) и заносим значения в таблицу Приложения В, столбец № 10.

Масса влаги в i -ом компоненте шихты. Подставим в формулу (2.7) значения, найденные по формулам (2.4) и (2.5).

$$M_{\text{Кр.шлам}}^{\text{ЖК}} = 2054,97 \times 1,05 - 134,81 = 2022,91 \text{ т/смена}$$

Аналогично определяем массу влаги в компонентах КШ Перелив, Белый шлам. Значения заносим в сводную таблицу, столбец № 11.

II. Содовый раствор.

Масса х-го составляющего содового раствора. Подставим в формулу (2.1) данные из таблиц 2.1, 2.2.

$$M_{Na_2O \text{ C.p.}} = 1380 \times 163,4 / 1000 = 225,49 \text{ т/смена}$$

Аналогично производим расчёт по Al_2O_3 , SO_3 , Cl . Значения заносим в столбцы № 2-8.

Масса твёрдого (сухого) вещества (т/смена) в содовом растворе, формула (2.34).

$$M_{C.p.}^T = \sum_{x=1}^n M_{xC.p.} \quad (2.34)$$

Подставим в (2.34) найденные по формуле (2.1) значения.

$$M_{C.p.}^T = 225,49 + 24,7 + 101,43 + 15,18 = 366,8 \text{ т/смена}$$

Результат заносится в столбец №10.

Масса влаги (т/смена), формула (2.35).

$$M_{C.p.}^{Ж} = V_{C.p.} \times \rho_{C.p.} - M_{C.p.}^T \quad (2.35)$$

где:

$\rho_{C.p.}$ - плотность содового раствора, $1,3 \text{ т/м}^3$.

Подставим в (2.35) данные из таблицы 2.2 и значение, найденное по формуле (2.34).

$$M_{C.p.}^{Ж} = 1380 \times 1,3 - 366,8 = 1427,20 \text{ т/смена}$$

Результат заносится в столбец №11.

III. Боксит.

Масса твёрдого (сухого) вещества в боксите. Подставим в (2.3) данные из таблицы 2.2.

$$M_B^T = 558,5 \times \frac{100 - 18,7}{100} = 454,06 \text{ т/смена}$$

Результат заносится в столбец №10.

Масса х-го оксида (т/смена). Подставим в (2.2) данные из таблицы 2.1 и значение, полученное по формуле (2.3).

$$M_{Al_2O_3 \text{ B}}^T = \frac{454,06 \cdot 196,15}{100} = 196,15 \text{ т/смена}$$

Аналогично рассчитываем значения по SiO_2 и Fe_2O_3 . Заносим значения в столбцы № 3-6.

Определим массу влаги, формула (2.36), т/смена

$$M_B^{Ж} = M_B \times \frac{V_B}{100}, \quad (2.36)$$

где:

v_B – процентное содержание влаги в боксите, %;

Подставим данные из таблицы 2.2 в формулу (2.36).

$$M_{B}^{Ж} = 558,5 \times \frac{18,7}{100} = 104,44 \text{ т/смена}$$

Значение заносим в столбец № 11.

IV.1.1.1.1.1 Восстановитель.

Масса твёрдого (сухого) вещества. Подставим данные из таблицы 2.2 в формулу (2.3).

$$M_{B}^{T} = 180,0 \times \frac{100 - 13,5}{100} = 155,70 \text{ т/смена}$$

Количество золы, формула (2.37), т/смена.

$$M_{B}^{З} = M_{B}^{T} \times \frac{Z}{100}, \quad (2.37)$$

где:

Z – зольность, %.

Подставим данные из таблицы 2.2 и значение, рассчитанное по формуле (2.3).

$$M_{B}^{З} = 155,70 \times \frac{15}{100} = 23,36 \text{ т/смена}$$

Масса х-го оксида. Подставим данные из таблицы 2.1 и формулы (2.37).

$$M_{Al_2O_3}^{T} = \frac{23,36 \cdot 27}{100} = 6,31 \text{ т/смена}$$

Аналогично рассчитываем значения по SiO^2 и CaO и заносим в столбцы № 3-5.

Масса Сорг. Подставим значения из таблицы 2.1 и формулы (2.3).

$$M_{Сорг.}^{T} = \frac{90 \times 155,70}{100} = 140,13$$

Значение заносим в столбец № 9.

Масса влаги, формула (2.38), т/смена.

$$M_{B}^{Ж} = M_{B} - M_{B}^{T}, \quad (2.38)$$

Подставим значения из таблицы 2.2 и формулы (2.3).

$$M_{B}^{Ж} = 180,0 - 155,70 = 24,30 \text{ т/смена}$$

V. Известняк.

Масса твёрдого (сухого) вещества. Подставим в формулу (2.3) данные из таблицы 2.2.

$$M_{И}^T = 2542,5 \times \frac{100-2}{100} = 2491,65 \text{ т/смена}$$

Масса х-го оксида. Подставим данные из таблицы 2.1 и формулы (2.3).

$$M_{Al_2O_3, И}^T = \frac{2491,65 \cdot 0,1}{100} = 2,49 \text{ т/смена}$$

Аналогично рассчитываем значения по SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 и заносим в столбцы № 3-6.

Масса влаги, формула (2.39), т/смена.

$$M_{И}^Ж = M_{И} - M_{И}^T, \quad (2.39)$$
$$M_{И}^Ж = 2542,5 - 2491,65 = 50,85 \text{ т/смена}$$

Значение заносим в столбец № 11.

VI. Кальцинированная сода.

Масса сухого вещества (M_{Kc}^T) равна массе расхода кальцинированной соды и составляет 170 т/смена. Значение заносим в столбец № 10.

Масса х-го оксида. Подставим данные из таблиц 2.1, 2.2 в формулу (2.2).

$$M_{Na_2O, Kc}^T = \frac{170 \cdot 57,3}{100} = 97,41 \text{ т/смена}$$

VII. ИТОГО

Количество Na_2O , Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , SO_3 , Cl , Сорг., массы сухого ($M_i^T; \sum_{x=1}^n M_{xi}^Ж$), влаги ($M_i^Ж$) определяют суммированием их содержаний во всех составляющих шихты. Необходимо суммировать значения в столбцах 2-11 сводной таблицы, Приложение В.

VII. Расчёт паспортной шихты. Паспортную шихту составляют исходя из следующих условий:

- 1) Модуль силикатный $\frac{CaO}{SiO_2} = 2,10 \div 2,30$;
- 2) Модуль щелочной $\frac{Na_2O}{Al_2O_3} = 1,35 \div 1,45$;
- 3) Влага 36-41%.

По мере нахождения значений необходимо заполнять таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Паспортная шихта

Поток, т/смена	Влага, %	Na ₂ O, %	Al ₂ O ₃ , %	SiO ₂ , %	CaO, %	Fe ₂ O ₃ , %	SO ₃ , %	Cl, %	Сорг, %	Мси	Мщ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6796,48	36,20	11,26	12,99	10,51	21,07	13,96	2,13	0,24	2,06	2,15	1,43

Столбец №1. «Поток, т/смена». Значение переносится из сводной таблицы Приложения В, столбец №10, строка «ИТОГО».

Столбец №2. «Влага, %» рассчитывается по формуле (2.40) .

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n M_i^{\text{Ж}} \times 100}{\sum_{i=1}^n M_i^{\text{Ж}} + \sum_{i=1}^n M_i^{\text{T}}} \quad (2.40)$$

Данные подставляем из сводной таблицы Приложения В, столбцы № 10, 11, строка «ИТОГО».

$$v = \frac{3856,64 \times 100}{3856,64 + 6796,48} = 36,20\%$$

Столбцы №3-10.

$$X_i = \frac{\sum_{i=1}^n M_{xi}}{\sum_{i=1}^n M_i^{\text{T}}} \times 100 \quad (2.41)$$

На примере Na₂O. Подставим данные в формулу (2.41) из таблицы 2.3, столбец № 1 и сводной таблицы Приложения В, столбец № 2.

$$Na_2O = \frac{765,39}{6796,48} \times 100 = 11,26\%$$

Столбец №11. Модуль силикатный:

$$\frac{CaO}{SiO_2} \times 1,07 \quad (2.42)$$

Столбец №12. Модуль щелочной:

$$\frac{Al_2O_3}{Na_2O} \times 1,645 \quad (2.43)$$

2.2.2 Алгоритм расчёта компонентов спека по результатам модели

Для прогнозируемого химического состава шихты применима методика расчета теплотребования шихты, разработанная Самаряновой Л.Б. [14]. Чтобы применить данную методику необходимо произвести расчёт компонентов спека

на основе паспортной шихты. По мере нахождения рассчитанные значения будут заноситься в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Компоненты спёка

№ п/п	Наименование	Масса	№ п/п	Наименование	Масса
1.	Поток, т/смена ($M_{спёк}^T$)	5029,39	7.	Fe ₂ O ₃ , кг/т	189,04
2.	Боксит, кг/т	111,05	8.	SO ₃ , кг/т	28,87
3.	Na ₂ O, кг/т	152,49	9.	Мси	2,15
4.	Al ₂ O ₃ , кг/т	175,86	10.	Мщ	1,43
5.	SiO ₂ , кг/т	142,28	11.	Вл. шихта, кг	2369,47
6.	CaO, кг/т	285,28	12.	Вл. гигр., кг	772,89

Строка №1 «Поток, т/смена ($M_{спёк}^T$)».

$$M_{спёк}^T = \sum_{i=1}^n M_i^T \times 0,74 \quad (2.44)$$

Подставим значение из таблицы 2.3, столбец №1 в формулу (2.44).

$$M_{спёк}^T = 6796,48 \times 0,74 = 5029,39 \text{ т/смена}$$

Строка №2 «Боксит, кг/т».

$$M_{спёк}^B = \frac{M_B \times 1000}{M_{спёк}^T} \quad (2.45)$$

Подставим данные из формулы (2.44) и таблицы 2.4.

$$M_{спёк}^B = \frac{558,5 \times 1000}{5029,39} = 111,05 \text{ кг/т}$$

Строки №3-8. Масса компонентов на 1 тонну спёка с учётом коэффициента потерь при прокаливании, формула (2.59).

$$M_{x \text{ спёк}} = \frac{X_i}{1 - 0,26} \times \frac{1000}{100 \times K_{nnn}} \quad (2.46)$$

где:

X_i , $i = 1, n$ – процентное содержание x-го оксида в паспортной шихте, %;
 K_{nnn} – коэффициент потерь при прокаливании.

На примере Na₂O. Подставим данные из таблицы 2.3, столбец № 3.

$$M_{Na_2O \text{ спёк}} = \frac{11,26}{1 - 0,26} \times \frac{1000}{100 \times 1,002} = 152,49 \text{ кг/тонна}$$

Строка №9. Модуль силикатный, формула (2.42).

Строка №10. Модуль щелочной, формула (2.43).

Строка № 11, 12. Значения массы влажной шихты и влаги гигроскопической зависят от влаги и берутся из Приложения Г, таблица Г2.

2.2.3 Сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных

В таблицах 2.5, 2.6 представлены результаты опробования предложенной нами модели смешения компонентов шихты за первую декаду февраля 2010 года.

Таблица 2.5 – Химический анализ шихты расчетный по модели (р) и текущий по анализу, %

Дата	Wp	W	Na ₂ O _p	Na ₂ O	Al ₂ O _{3p}	Al ₂ O ₃	SiO _{2p}	SiO ₂	CaO _p	CaO	Fe ₂ O _{3p}	Fe ₂ O ₃
01.02.10	40,0	39,2	13,8	13,3	16,1	15,5	12,0	11,5	20,0	21,1	15,1	14,0
02.02.10	38,8	38,8	14,1	13,6	14,8	14,8	10,9	10,6	20,4	21,4	12,6	12,7
03.02.10	39,0	39,1	12,9	12,9	15,3	14,8	11,5	10,5	21,0	21,2	13,9	12,7
04.02.10	38,9	38,5	12,9	12,6	15,2	14,5	11,5	10,6	21,0	21,5	13,7	12,8
05.02.10	38,9	37,8	12,6	12,6	15,3	14,5	11,5	10,7	21,2	21,6	13,9	12,9
06.02.10	37,9	37,6	12,4	12,5	14,7	14,4	11,0	10,8	21,3	21,5	13,4	12,5
07.02.10	37,0	38,0	13,6	12,8	13,9	14,5	10,4	10,5	20,9	21,3	13,0	13,2
08.02.10	39,6	39,8	12,5	12,7	15,6	15,0	11,3	10,3	21,0	21,3	14,5	14,0
09.02.10	38,0	38,4	12,6	12,9	15,3	15,0	10,4	10,2	20,5	20,7	13,6	13,5
10.02.10	37,5	38,0	11,8	12,9	14,6	14,8	10,3	9,9	20,0	20,1	13,0	13,5
корреляция	0,75		0,70		0,69		0,74		0,74		0,58	

Таблица 2.6 – Результирующие данные химического анализа шихты, рассчитанной по модели и по анализу за период опробования

дата	Компоненты шихты							Количество шихты, тонн			
	шлак, м ³ Красный	раствор, м ³ Содовый	шлак, м ³ Белый	Боксит, тонн	Известняк, тонн	Уголь, тонн	Кальциниро-ванная, тоннСода	Общая фаза	фазаЖидкая	фазаТвердая	Твердая фаза
								Расчетные параметры			Текущие показания
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
01.02.10	4998	1047	162	368	1685	119	177	9576	3830	5746	5881
02.02.10	4468	1041	246	435	1982	103	292	9567	3710	5858	7465
03.02.10	5135	940	96	453	2061	165	225	10228	3990	6238	6312
04.02.10	5584	942	190	517	2348	103	277	11408	4434	6974	7282
05.02.10	5566	938	207	501	2274	139	259	11206	4364	6842	7662
06.02.10	5218	1045	153	551	2501	148	270	11394	4320	7074	7816

07.02.10	4950	1079	314	557	2530	118	453	11307	4178	7128	7629
08.02.10	5757	965	131	676	2355	148	289	11995	4750	7245	8066
09.02.10	5628	961	250	827	2717	217	450	13249	5040	8209	8297

Продолжение таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10.02.10	5538	1023	160	921	3025	202	276	13023	4880	8143	7889
корреляция										0,78	

Согласно таблицам 2.5, 2.6 расчетные параметры по количеству шихты, влагосодержания и химическому анализу шихты находятся на достаточно высоком уровне корреляции 0,58 – 0,78 с текущими показаниями, что является высокой сходимостью для многокомпонентной шихты.

2.3 Прогнозирование теплотребления шихты. Исследование статических характеристик модели

2.3.1 Расчет теплового баланса по методике Самаряновой Л.Б.

Для прогнозируемого химического состава шихты применима методика расчета теплотребления шихты, разработанная Самаряновой Л.Б. [14]. Данная методика основана на реакциях спекообразования, определяемых химическим составом шихты и учитывает следующее:

а) по характеру физико-химических превращений и тепловой работе вращающаяся печь для спекания бокситовых шихт подразделяется на 5 зон:

I – зона сушки (удаляется вся внешняя влага);

II – зона подогрева (удаляется связанная вода);

III – зона кальцинации (происходит термическое разложение карбонатов, натриевого алюмосиликата и образование основной массы соединений спека);

IV – зона спекания (заканчиваются реакции образования соединений спека);

V – зона охлаждения (спек охлаждается до 1000° С).

б). распределение температуры шихты и газов по зонам на входе ($t_{\text{вход}}$) и выходе ($t_{\text{вых}}$), которое представлено в таблице 2.7.

Таблица 2.7 - Распределение температуры шихты и газов по зонам на входе ($t_{\text{вход}}$) и выходе ($t_{\text{вых}}$)

Зоны	Температура шихты, °С		Температура газов, °С	
	$t_{\text{вход}}$	$t_{\text{вых}}$	$t_{\text{вход}}$	$t_{\text{вых}}$
I	50	150	850	350
II	150	850	1400	850
III	850	1100	1600	1400
IV	1100	1300	-	1600
V	1300	1000	-	-

Параметры расчёта представлены в таблице 2.8

Таблица 2.8 – Параметры расчёта

№ п/п	Наименование		№ п/п	Наименование	
1	2	3	4	5	6
1.	Коэффициент потерь при прокаливании (Кппп)	1,002	6.	Масса пыли, возвращаемой в горячий конец (M _{п.г.с.})	220 кг/Т _{спёка}
2.	Масса безвозвратной пыли (M _{б.п.})	5,65 кг/Т _{спёка}	7.	Температура спекания	1135 ⁰ С
3.	Объём влаги гидроскопической (V _{Н2О})	88,15 м ³ /Т _{спёка}	8.	Температура отходящих газов (t _{отх})	300 ⁰
4.	Масса влаги гидроскопической	70,83 кг/Т _{спёка}	9.	Температура пульпы	50 ⁰ С
5.	Масса пыли, возвращаемой с холодного стояка (M _{п.х.с.})	220 кг/Т _{спёка}	10.	Температура зоны сушки текущая (t _{з.с.})	750 ⁰ С

С 01.08.2010 г. по 27.11.2010 г. были произведены отборы спёка в количестве 60 и произведён химический анализ его состава, где показано процентное содержание следующих компонентов - Na₂O, Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, CaO, SO₃ и др. Данные приведены в Приложении Г, таблица Г1.

На основе этих данных определим массу компонентов на 1 тонну спёка с учетом коэффициента потерь при прокаливании (п.п.п._{сп} = 1,002).

Например, 01.08.2010 г. в спёке содержалось Na₂O = 16,28%. Составим пропорцию:

16,28% - x кг

100% - 1000 кг

Результат (162,8 кг) умножим на коэффициент 1,002. Получим 163,08 кг.

Аналогично определяются остальные компоненты. Результаты отражены в Приложении Г, таблица Г2. Также здесь указаны данные по влаге (%), массе влажной шихты, M_{вл.ш} (кг) и массе влаги гидроскопической, M_{Н2О гидр.} (кг), которые необходимы для дальнейшего расчета теплотребления шихты на 1 тонну спёка.

Исходные данные:

Таблица 2.9 - Химический состав спёка (Приложение Г, таблица Г1, пункт 1).

Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	п.п.п. _{сп}
16,28	19,81	13,47	25,95	17,87	2,51	1,002

Таблица 2.10 - Химический состав шихты

Влага (Приложение Г, таблица Г2, п.1)	Удельный вес	п.п.п. _ш
36,0	1,67	26,8

Пересчёт процентного содержания химического состава спёка на 1т спёка, масса влажной шихты ($M_{вл.ш.}$) – 2357,81 кг/ $T_{спёка}$ представлены в Приложении Г, таблица Г2, п.1.

Таблица 2.11 - Масса компонентов на 1 тонну спёка, кг (Приложение Г, таблица Г2, п.1.)

NA ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Масса боксита в спёке (X)
163,08	198,51	134,98	259,97	179,02	25,14	85,53

I. Зона сушки. Необходимо определить следующие показатели:

а) Тепло на подогрев шихты от 50 до 150 °С.

$$C_{ш} \times (M_{вл.ш.} - M_{б.п.} - M_{H_2O_{гигр.}}) \times (150 - 50), \quad (2.47)$$

где:

$C_{ш}$ – теплоёмкость шихты, $C_{ш} = 0,27$ ккал/кг °С;

$M_{вл.ш.}$ – масса влажной шихты, кг;

$M_{б.п.}$ – масса безвозвратной пыли, кг/ $T_{спёка}$;

$M_{H_2O_{гигр.}}$ – масса влаги гигроскопической, кг.

$$0,27 \times (2357,81 - 5,65 - 766,22) \times (150 - 50) = 42820,4 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

б) Тепло на нагрев и испарение влаги, нагрев воды до температуры отходящих газов ($t_{отх}$)

$$\frac{M_{H_2O_{гигр.}} \times ((100 - 50) \times 1 + 539 + 0,465 \times (T_{отх.} - 100))}{766,22 \times ((100 - 50) \times 1 + 539 + 0,465 \times (300 - 100))} = 522562,0 \text{ ккал} / m \quad (2.48)$$

в) Тепло на нагрев безвозвратной пыли до температуры отходящих газов ($t_{отх}$)

$$\frac{M_{б.п.} \times 0,28 \times (T_{отх.} - 50)}{5,65 \times 0,28 \times (300 - 50)} = 395,5 \text{ ккал} / m_{спёка} \quad (2.49)$$

г) Тепло на нагрев пыли с холодного стояка

$$\frac{M_{n.x.c.} \times 2 \times 0,28 \times (T_{omx} - 150)}{220 \times 0,28 \times 2 \times (300 - 150)} = 18480 \text{ ккал} / m_{cнѐка} \quad (2.50)$$

д) Тепло эндотермической реакции образования Na_2SO_4

$$1560 \times SO_3 = 1560 \times 25,14 = 39224,9 \text{ ккал} / m_{cнѐка}, \quad (2.51)$$

где:

1560 – тепло эндотермической реакции на 1кг SO_3

е) Тепло, отдаваемое пылью с горячего обреза печи

$$M_{n.z.c.} \times 0,28 \times (t_{z.c.} - t_{omx.}), \quad (2.52)$$

где:

$M_{n.z.c.}$ – масса пыли с горячего стояка, $M_{n.z.c.} = 220 \text{ кг} / 1 T_{cнѐка}$

$t_{z.c.}$ – температура зоны сушки текущая, $t_{z.c.} = 750^0 \text{ C}$.

$t_{отx}$ - температура отходящих газов, $t_{отx} = 300^0 \text{ C}$;

$$220 \times 0,28 \times (750 - 300) = 27720,0 \text{ ккал} / m_{cнѐка} \quad (2.53)$$

ж) Количество CO_2 от разложения CaCO_3 и Na_2CO_3

Разложение CaCO_3 (кг)

$$\frac{M_{CaO} \times 44}{56} = \frac{259,97 \times 44}{56} = 204,3 \text{ кг} \text{CO}_2 / m_{cнѐка} \quad (2.54)$$

Разложение Na_2CO_3 (кг)

$$\frac{0,9 \times M_{Na_2O} \times 44}{62} = \frac{0,9 \times 163,08 \times 44}{62} = 104,2 \text{ кг} \text{CO}_2 / m_{cнѐка} \quad (2.55)$$

Объём углекислого газа

$$V_{CO_2} = \frac{204,3 + 104,2}{1,96} = 157,4 \text{ м}^3 \text{CO}_2 / \text{кг} \text{cнѐка} \quad (2.56)$$

з) Тепло отдаваемое газами в зоне подогрева

$$\frac{(V_{CO_2} \times 0,475 + V_{H_2O} \times 0,38) \times (T_{z.c.} - T_{omx.})}{(157,4 \times 0,475 + 88,15 \times 0,38) \times (750 - 300)} = 48709,4 \text{ ккал} / m_{cнѐка} \quad (2.57)$$

Итого по зоне сушки:

$$Q_{сушка} = 42820,4 + 522562,0 + 395,5 + 18480,0 + 39224,9 - 27720 - 48709,4 = 547053,5 \text{ ккал} / 1 T_{cнѐка}$$

II. Зона подогрева. Необходимо определить следующие показатели:

а) Тепло на нагрев шихты до температуры в зоне сушки ($t_{з.с.}$)

$$0,27 \times (M_{вл.ш.} - M_{б.п.} - M_{H_2O_{изр.}} - M_{H_2O_{удр.}}) \times (T_{з.с.} - 150) \quad (2.58)$$

$$0,27 \times (2357,81 - 5,65 - 766,22 - 70,83) \times (750 - 150) = 245447,8 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

б) Тепло на испарение влаги и нагрев паров воды

$$M_{H_2O_{изр.}} \times (539 + 0,465 \times (T_{з.с.} - 150)) \quad (2.59)$$

$$766,22 \times (539 + 0,465 \times (750 - 150)) = 57938,9 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

в) Теплота на разложение $Al_2O_3 \cdot nH_2O$

$$0,99 \times X \times 156, \quad (2.60)$$

где:

X – доля боксита в спёке.

$$0,99 \times 85,53 \times 156 = 13208,9 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

г) Тепло, отдаваемое пылью зоны кальцинации

$$0,28 \times M_{н.з.с.} \times (1400 - t_{з.с.}) \quad (2.61)$$

$$0,28 \times 220 \times (1400 - 750) = 40040,0 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

д) Тепло, отдаваемое газами зоны кальцинации

$$V_{CO_2} \times 0,526 \times (1400 - t_{г.н.}) \quad (2.62)$$

$$157,4 \times 0,526 \times (1400 - 750) = 53801,4 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

Итого по зоне подогрева:

$$Q = 245447,8 + 57938,9 + 13208,9 - 40040,0 - 53801,4 = 222754,2 \text{ ккал} / 1T_{спёка}$$

III. Зона кальцинации. Образование соединений спёка в зоне кальцинации = 90%. Необходимо определить следующие показатели:

а) Тепло на нагрев шихты до $1100^{\circ}C$

$$0,28 \times 1000 \times (1100 - t_{з.с.}) \quad (2.63)$$

$$0,28 \times 1000 \times (1100 - 750) = 98000 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

б) Тепло на нагрев пыли, подаваемое в горячий конец до $1400^{\circ}C$

$$0,28 \times M_{н.з.с.} \times (1400 - 150) \quad (2.64)$$

$$0,28 \times 220,0 \times (1400 - 150) = 77000,0 \text{ ккал} / m_{спёка}$$

в) Тепло на нагрев технологических газов до $1400^{\circ}C$

$$\begin{aligned} & V_{CO_2} \times 0,526 \times (1400 - t_{\text{с.н.}}) \\ 157,4 \times 0,526 \times (1400 - 750) &= 53815,06 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}} \end{aligned} \quad (2.65)$$

г) Тепло на разложение ($Q_{\text{эндотерм.}}$) $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{CaCO}_3,$
 $\text{Al}_2\text{O}_3 * \text{Na}_2\text{O} * 2\text{SiO}_2 * 2\text{H}_2\text{O}$

$$\begin{aligned} & \text{Na}_2\text{CO}_3 \\ & 0,99 \times 62,5 \times 1240 = 76725,0 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}} \end{aligned} \quad (2.66)$$

$$\begin{aligned} & \text{CaCO}_3 \\ & 0,99 \times \frac{M_{\text{CaO}} \times 100}{55} \times 760 \end{aligned} \quad (2.67)$$

$$0,99 \times \frac{259,97 \times 100}{55} \times 760 = 355640,2 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}}$$

$$\begin{aligned} & \text{Al}_2\text{O}_3 * \text{Na}_2\text{O} * 2\text{SiO}_2 * 2\text{H}_2\text{O} \\ & M_{\text{Na}_2\text{O}} \times 0,015 \times 1000 \\ 163,08 \times 0,015 \times 1000 &= 2446,3 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}} \end{aligned} \quad (2.68)$$

$$\Sigma Q_{\text{энд.}} = 76725,0 + 355640,2 + 2446,3 = 434811,4 \text{ ккал} / 1 \text{ Тспёка}$$

д) Тепло на образования ($Q_{\text{экзотермич.}}$) $\text{NaAlO}_2, \text{NaFeO}_2, 2\text{CaO} * \text{SiO}_2$

$$\begin{aligned} & \text{NaAlO}_2 \\ & 0,9 \times M_{\text{Al}_2\text{O}_3} \times 540 \\ 0,9 \times 198,51 \times 540 &= 96475,5 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}} \end{aligned} \quad (2.69)$$

$$\begin{aligned} & \text{NaFeO}_2 \\ & 0,9 \times M_{\text{Fe}_2\text{O}_3} \times 265 \\ 0,9 \times 179,02 \times 265 &= 42695,9 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}} \end{aligned} \quad (2.70)$$

$$\begin{aligned} & 2\text{CaO} * \text{SiO}_2 \\ & 0,9 \times M_{\text{SiO}_2} \times 474 \\ 0,9 \times 134,98 \times 474 &= 57580,5 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}} \end{aligned} \quad (2.71)$$

$$\Sigma Q_{\text{экз.}} = 96475,5 + 42695,9 + 57580,5 = 196751,9 \text{ ккал} / 1 \text{ Тспёка}$$

е) Тепловой эффект спёкообразования

$$Q = 98000,0 + 77000,0 + 53801,4 + (434811,4 - 196751,9) \times 0,9 = 443055,1 \text{ ккал} / m_{\text{спёка}}$$

IV. Зона спекания. Необходимо определить следующие показатели:

а) Тепло на подогрев шпёка до $t_{\text{спекания}}$.

$$\begin{aligned} & 0,28 \times 1000 \times (T_{\text{сп.}} - 1100) \\ & 0,28 \times 1000 \times (1135 - 1100) = 9800 \text{ ккал} / m_{\text{шпёка}} \end{aligned} \quad (2.72)$$

б) Теплота образования соединений шпёка

$$\begin{aligned} & 0,1 \times (Q_{\text{энд.}} - Q_{\text{экт.}}) \\ & 0,1 \times (434811,4 - 196751,9) = 23806,0 \text{ ккал} / m_{\text{шпёка}} \end{aligned} \quad (2.73)$$

Итого по зоне спекания:

$$Q = 9800 + 23806,0 = 33605,96 \text{ ккал} / 1 \text{ т}_{\text{шпёка}}$$

V. Зона охлаждения.

Тепло от охлаждающегося до 1050°C шпёка

$$\begin{aligned} & 0,28 \times 1000 \times (t_{\text{н.}} - 1050) \\ & 0,28 \times 1000 \times (1135 - 1050) = 23800,0 \text{ ккал} / m_{\text{шпёка}} \end{aligned} \quad (2.74)$$

Итоговый расчет теплотребления шихты

Следовательно, теплотребление шихты на 1 т шпёка составляет, ккал:

Зоны:

сушки.....	+ 547053,5
подогрева.....	+ 222754,2
кальцинации...	+ 443055,1
спекания.....	+ 33605,96
охлаждения....	- 23800,0

Итого..... 1222668,71 ккал/1т_{шпёка}

Таким же способом вычисляем теплотребление шихты на 1 тонну шпёка по остальным исходным данным, содержащимся в Приложении Г, таблицы Г1, Г2. Результаты представлены в Приложении Г, таблица Г3.

2.3.2 Анализ зависимости теплотребления шихты от содержания влаги по зонам спекания

Влага делится на внутреннюю (гидратированную) и внешнюю. Внешняя влага испаряется при температуре 100 градусов в зоне сушки, а внутренняя – в зоне подогрева при температуре от 150 до 750 градусов. Чтобы проследить зависимость теплотребления шихты от содержания влаги, произведём расчёт по вышеприведённой методике Л.Б. Самаряновой. При этом масса компонентов будет постоянной величиной (№ п/п 1 из Приложения Г, таблица Г2), изменяться будут только значения по влаге (с периодичностью 0,20 в диапазоне 36..41), масса влажной шихты и масса влаги гигроскопической.

Таблица 2.12 - Масса компонентов на 1 тонну спёка, кг (Приложение Г, таблица Г2)

Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Масса боксита в спёке
163,08	198,51	134,98	259,97	179,02	25,14	85,53

Результаты оформлены в виде таблицы в Приложении Г, таблица Г4. Из таблицы видно, что теплотребление шихты (Q) зависит от влаги (V) в зоне сушки и в зоне подогрева, и не зависит - в зоне кальцинации и спекания. На основе расчетных данных построим графики, рисунок 2.2.

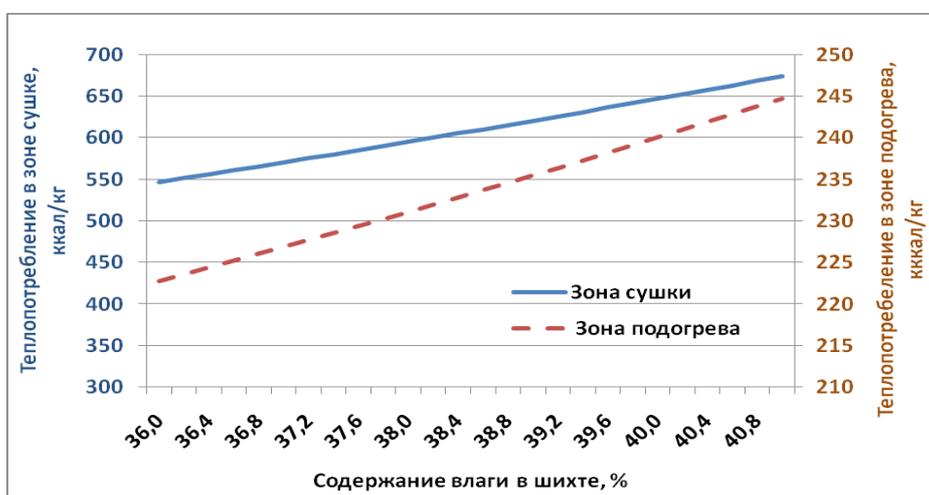


Рисунок 2.2 – Зависимость теплотребления шихты в зонах сушки и подогрева от содержания влаги в шихте

Графики показали, что между влагой и отдаваемым теплом существует прямая зависимость, то есть чем больше влаги в шихте, тем больше тепла необходимо затратить на её испарение.

Выразим корреляционную связь между влагой и теплотреблением шихты в зоне сушки через уравнение прямого вида (2.8). Факторным признаком является влага, а результативным – теплотребление шихты. Для определения формы корреляционной связи необходимо вычислить параметры уравнения прямой путём решения системы нормальных уравнений вида (2.9). Для того, чтобы заполнить систему нормальных уравнений фактическими данными, необходимо определить $\sum xy, \sum x^2, \sum y^2$.

2.3.3 Построение однофакторной регрессионной модели зависимости теплотребления шихты от содержания влаги в зоне сушки

Исходные данные и расчеты показателей приведены в Приложении Г, таблица Г5. Подставим их значения в системы нормальных уравнений (2.9):

$$\begin{aligned} 60a_0 + 2312,45a_1 &= 36551993,39 \\ 2312,45a_0 + 89260,45a_1 &= 1412204080,06 \end{aligned}$$

Параметр a_0 находится по формуле (2.10):

$$\hat{a}_0 = \frac{36551993,39 \times 89260,45 - 1412204080,06 \times 2312,45}{60 \times 89260,45 - 2312,45 \times 2312,45} = -366227,89$$

Соответственно параметр a_1 находится по формуле (2.11):

$$\hat{a}_1 = \frac{60 \times 1412204080,06 - 2312,45 \times 36551993,39}{60 \times 89260,45 - 2312,45 \times 2312,45} = 25308,94$$

Уравнение регрессии имеет вид

$$Y_x = -366227,89 + 25308,94x$$

Параметр a_1 равный 25308,94 показывает, что с увеличением влаги на 1% теплотребление шихты в зоне сушки увеличивается на 25308,94 ккал / 1 тонну слёка. Подставим известные значения x в полученное уравнение и найдем значения прогноза Y (Приложение Г, таблица Г5, столбец 7). Из таблицы видно, что соблюдается равенство сумм теоретических и эмпирических значений Y , это говорит о том, что параметры регрессионного уравнения определены верно.

Средний коэффициент эластичности исчислим по формуле (2.12):

$$\bar{Y} = 25308,94 \times \frac{38,54}{609199,89} = 1,60$$

Коэффициент эластичности, равный 1,60 показывает, что с увеличением влаги на 1% теплотребление шихты повышается на 1,6%.

Измерим тесноту корреляционной связи при помощи линейного коэффициента корреляции, формула (2.14)

$$r = \frac{1412204080,06 - \frac{2312,45 \times 36551993,39}{60}}{\sqrt{\left(89260,45 - \frac{2312,45^2}{60}\right) \times \left(22355087649414,40 - \frac{36551993,39^2}{60}\right)}} = 0,999$$

Коэффициент корреляции близок к единице. Это значит, что связь тесная и имеет прямую зависимость.

Проведём оценку адекватности регрессионной модели по F-критерию Фишера, формула (2.24). Для этого найдем $\sigma_{y_x}^2$, $\sigma_{y-y_x}^2$ по формулам (2.25), (2.26).

$$\sigma_y^2 = \frac{22355087649414,40}{60} - \left(\frac{36551993,39}{60} \right)^2 = 1460288379,87$$

$$\sigma_{y-y_x}^2 = \frac{53550925,91}{60} = 892515,43$$

$$F_y = \frac{1460288379,87}{892515,43} \times \frac{60-2}{2-1} = 1636,15 \times 58 = 94896,65$$

Табличное значение F_T с уровнем значимости 0,95 и числом степеней свободы (2 - 1), (60 - 2) равно 4,00. Так как $F_y > F_T$, уравнение регрессии можно признать адекватным.

Значимость коэффициента корреляции оценим с помощью t-критерия Стьюдента по формуле (2.31).

$$t_r = 0,999 \cdot \sqrt{\frac{60-2}{1-0,999^2}} = 307,96$$

Табличное значение t-критерия с уровнем значимости 0,05 и числом степеней свободы (n - 2) равно 2,004. Эмпирическое значение t больше табличного, следовательно, коэффициент корреляции можно признать значимым.

Вычислим ошибку аппроксимации по формуле (2.32).

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{60} \times 0,08 \times 100\% = 0,0013\%$$

Полученное значение не превышает допустимого предела, равного 12—15%.

Определим коэффициент детерминации, для этого коэффициент корреляции возведем в квадрат.

$$R^2 = 0,999^2 = 0,999$$

Коэффициент детерминации 0,999 означает, что вариация теплотребления шихты на 99,9% объясняется вариацией содержания влаги и на 0,1% - прочими факторами.

Поскольку параметры уравнения регрессии значимы, уравнение значимо, показатели тесноты значимы, ошибка аппроксимации равна 0,0013%, коэффициент детерминации равен 0,999, можно сделать заключение, что построенная регрессионная модель зависимости теплотребления шихты от её влагосодержания в зоне сушки $Y_x = -366227,89 + 25308,94x$ может быть использована для анализа и прогноза.

2.3.4 Построение однофакторной регрессионной модели зависимости теплотребления шихты от содержания влаги в зоне подогрева

Исходные данные и расчеты показателей приведены в Приложении Г, таблица Г6. Подставим значения в системы нормальных уравнений (2.9):

$$\begin{aligned}60a_0 + 2312,45a_1 &= 14026793,34 \\2312,45a_0 + 89260,45a_1 &= 541203981,87\end{aligned}$$

Параметр a_0 находится по формуле (2.10):

$$\hat{a}_0 = \frac{14026793,34 \times 89260,45 - 541203981,87 \times 2312,45}{60 \times 89260,45 - 2312,45 \times 2312,45} = 64711,42$$

Соответственно параметр a_1 находится по формуле (2.11):

$$\hat{a}_1 = \frac{60 \times 541203981,87 - 2312,45 \times 14026793,34}{60 \times 89260,45 - 2312,45 \times 2312,45} = 4386,74$$

Уравнение регрессии имеет вид:

$$Y_x = 64711,42 + 4386,74x$$

Параметр a_1 равный 4386,74 показывает, что с увеличением влаги на 1% теплотребление шихты в зоне подогрева повышается на 4386,74 ккал/1 $T_{\text{спёка}}$.

Подставим известные значения x в полученное уравнение и найдем значения прогноза Y (Приложение Г, таблица Г6, столбец 7). Из таблицы видно, что соблюдается равенство сумм теоретических и эмпирических значений теплотребления шихты, это говорит о том, что параметры регрессионного уравнения определены верно.

Средний коэффициент эластичности исчислим по формуле (2.12):

$$\bar{Y} = 4386,74 \times \frac{38,54}{233779,89} = 0,72$$

Коэффициент эластичности, равный 0,72 показывает, что с увеличением влаги на 1% теплотребление шихты повышается на 0,72 %.

Измерим тесноту корреляционной связи между влагой и теплотреблением шихты в зоне подогрева при помощи линейного коэффициента корреляции, формула (2.14)

$$r = \frac{541203981,87 - \frac{2312,45 \times 14026793,34}{60}}{\sqrt{\left(89260,45 - \frac{2312,45^2}{60}\right) \times \left(3281815658176,36 - \frac{14026793,34^2}{60}\right)}} = 0,999$$

Коэффициент корреляции близок к единице. Это значит, что связь тесная и имеет прямую зависимость.

Проведём оценку адекватности регрессионной модели по F-критерию Фишера, формула (2.24). Для этого найдем $\sigma_{y_x}^2$, $\sigma_{y-y_x}^2$ по формулам (2.25), (2.26).

$$\sigma_y^2 = \frac{3281815658176,36}{60} - \left(\frac{14026793,34}{60} \right)^2 = 43891153,36$$

$$\sigma_{y-y_x}^2 = \frac{2841528,76}{60} = 47358,81$$

$$F_y = \frac{43891153,36}{47358,81} \times \frac{60-2}{2-1} = 926,78 \times 58 = 53753,18$$

Табличное значение F_T с уровнем значимости 0,95 и числом степеней свободы (2 - 1), (60 - 2) равно 4,00. Так как $F_y > F_T$, уравнение регрессии можно признать адекватным.

Значимость коэффициента корреляции оценим с помощью t-критерия Стьюдента по формуле (2.29).

$$t_r = 0,999 \cdot \sqrt{\frac{60-2}{1-0,999^2}} = 307,96$$

Табличное значение t-критерия с уровнем значимости 0,05 и числом степеней свободы (n - 2) равно 2,004. Эмпирическое значение t больше табличного, следовательно, коэффициент корреляции можно признать значимым.

Вычислим ошибку аппроксимации по формуле (2.32).

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{60} \times 0,05 \times 100\% = 0,0008\%$$

Полученное значение не превышает допустимого предела, равного 12—15%.

Определим коэффициент детерминации, для этого коэффициент корреляции возведем в квадрат.

$$R^2 = 0,999^2 = 0,999$$

Коэффициент детерминации 0,999 означает, что вариация теплотребления шихты на 99,9% объясняется вариацией содержания влаги и на 0,1% - прочими факторами.

Поскольку параметры уравнения регрессии значимы, уравнение значимо, показатели тесноты значимы, ошибка аппроксимации равна 0,0008 %, коэффициент детерминации равен 0,999, можно сделать заключение, что построенная регрессионная модель зависимости теплотребления шихты от её

влажностердержания в зоне подогрева $Y_x = 64711,42 + 4386,74x$ может быть использована для анализа и прогноза.

2.3.5 Построение многофакторной регрессионной модели зависимости теплопотребления шихты от её химического состава в зонах кальцинации и спекания

Теплопотребление шихты зависит от её химического состава в зонах кальцинации и спекания. На основе данных таблиц Г1, Г2 Приложения Г сформируем таблицу Г7 с исходными данными для построения многофакторной регрессионной модели и построим график, рисунок 2.3. В таблице не отражены данные по химическому составу Na_2O , так как данный компонент имеет второстепенное значение в реакциях спекобразования.

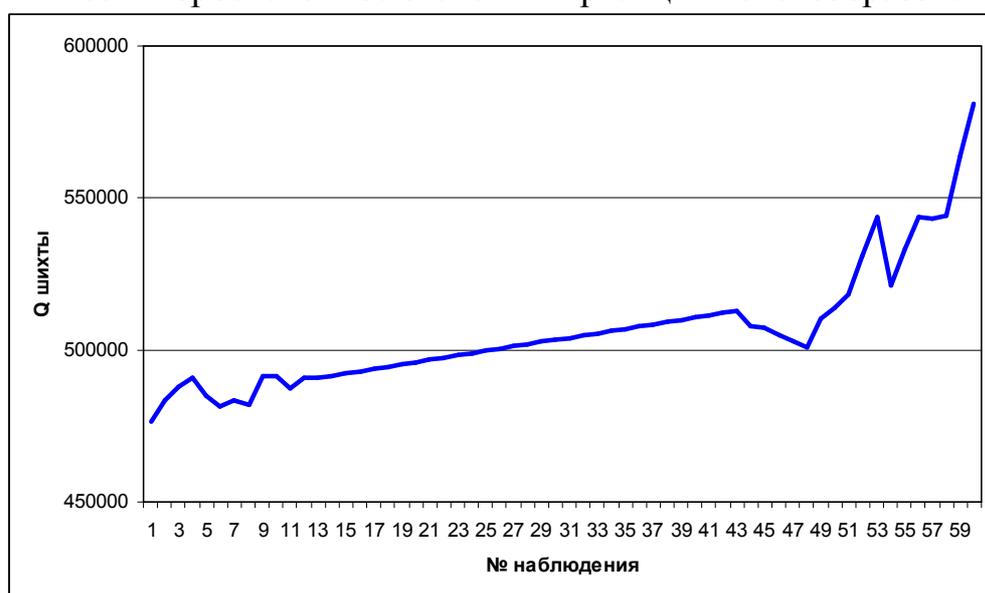


Рисунок 2.3 – Зависимость теплопотребления от содержания в шихте компонентов Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , Fe_2O_3 , SO_3 в зонах кальцинации и спекания

График показывает, что между химическим составом шихты и её теплопотреблением существует прямая зависимость в зонах кальцинации и спекания. Пусть Al_2O_3 будет фактором x_1 , SiO_2 - x_2 , CaO - x_3 , Fe_2O_3 - x_4 , SO_3 - x_5 , Q – y . Согласно вышеприведенным формулам (2.13), (2.16), (2.17), (2.19), (2.20), определим основные статистические характеристики факторов.

Таблица 2.13 - Основные статистические характеристики факторов

	Мат. ожидание, \bar{x}	Среднекв. откл., σ	Вариация, V (%)	Асимметрия, A	Экссесс, ε	Ошибка	
						асимметрии, m_a	Экссесса, m_ε
x_1	20,01	0,51	2,55	0,13	0,56	0,32	0,63
x_2	14,26	0,91	6,32	0,82	0,26	0,32	0,63
x_3	27,05	1,55	5,68	0,91	0,72	0,32	0,63

x ₄	15,76	2,11	13,28	-0,53	-0,50	0,32	0,63
x ₅	2,64	0,13	4,77	0,09	0,27	0,32	0,63
y	494117,80	25381,00	5,09	0,92	0,79	0,32	0,63

Из таблицы 2.13 видно, что вариация факторов x₁, x₂, x₃, x₅, y не превышает 10%, что дает основание полагать, что изменчивость вариационного ряда незначительна. Вариация фактора x₄ показывает средний уровень изменчивости вариационного ряда. В целом коэффициенты вариации говорят об однородности информации и она вся может быть включена в выборку. Отношения A / m_a и E / m_e составляют коэффициенты меньше 3, это означает, что асимметрия и эксцесс не имеют существенного значения и исследуемая информация подчиняется закону нормального распределения. На основании самого высокого показателя вариации определим необходимый объем выборки данных для корреляционного анализа по формуле (2.18).

$$n = \frac{13,28^2 \times 1,96^2}{5^2} = 27$$

Значит, принятый в расчет объем выборки (60 наблюдений) является достаточным для проведения корреляционного анализа.

Вычислим парные коэффициенты корреляции по формуле (2.22) на основе данных таблицы 2.13 и Приложения Г, таблица Г8.

$$r_{yx_1} = \frac{9881312,15 - 20,01 \times 494117,80}{0,51 \times 25381,00} = -0,51$$

Аналогично рассчитываем остальные значения и заносим в таблицу 2.14, сформируем матрицу.

Таблица 2.14 - Матрица парных коэффициентов корреляции

	y	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅
	Q шихты	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₃
y	1	-	-	-	-	-
x ₁	-0,51	1	-	-	-	-
x ₂	0,99	-0,44	1	-	-	-
x ₃	1,00	-0,49	0,99	1	-	-
x ₄	-0,94	0,20	-0,95	-0,94	1	-
x ₅	-0,47	0,15	-0,44	-0,47	0,46	1

Анализ матрицы парных коэффициентов показывает, что результативный признак тесно связан со всеми показателями. Наиболее тесная связь прослеживается со следующими аргументами: x₃ - CaO (r_{yx₃} = 1), x₂ - SiO₂ (r_{yx₂} = 0,99), x₄ - Fe₂O₃ (r_{yx₄} = - 0,94). В то же время связь между факторами также

является тесной. Так, существует практически функциональная связь между SiO₂ и CaO ($r_{x_2x_3} = 0,99$), SiO₂ и Fe₂O₃ ($r_{x_2x_4} = -0,95$), CaO и Fe₂O₃ ($r_{x_3x_4} = -0,94$).

На основе парных коэффициентов корреляции произведем оценки параметров $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ по методу наименьших квадратов. Для решения задачи регрессионного анализа воспользуемся надстройкой MS Excel «Пакет анализа». Результативные данные отражены в таблице 2.15:

Таблица 2.15 - Регрессионная статистика

<i>Регрессионная статистика</i>	
Множественный R	0,999948615
R-квадрат	0,999897232
Нормированный R-квадрат	0,999887717
Стандартная ошибка	268,946645
Наблюдения	60

Коэффициент множественной корреляции равен 0,99, что означает тесную связь между фактором y и совокупностью факторов x_1, x_2, \dots, x_5 . Значение R-квадрата близко к единице, это означает, что построенная модель объясняет почти всю изменчивость соответствующих переменных.

Приведем усеченный вариант результирующих данных, представленный в таблице 2.16.

Таблица 2.16 - Коэффициенты регрессии

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>
Y-пересечение	284887,9231	9063,208501	31,4334513
Al ₂ O ₃	-4294,936961	166,8858193	-25,73578138
SiO ₂	-4180,622164	339,1169735	-12,32796495
CaO	14650,46766	260,4708281	56,24609776
Fe ₂ O ₃	-2702,766197	99,68187899	-27,11391704
SO ₃ общ	406,5086658	323,7835479	1,255495124

Исходя из расчетов, можем записать уравнение регрессии таким образом:

$$Y = 284887,92 - 4294,94x_1 - 4180,62x_2 + 14650,47x_3 - 2702,77x_4 + 406,51x_5$$

Положительный знак при коэффициенте регрессии означают положительную связь зависимой переменной и независимой. Отрицательный знак – обратную

связь. В данном случае можно дать следующую интерпретацию полученному уравнению - теплотребление шихты в зонах спекания и кальцинации

а) понижается:

- на 4294,94 ккал / 1 тонну спёка с увеличением содержания в шихте Al_2O_3 на 1%;

- на 4180,62 ккал / 1 тонну спёка с увеличением содержания в шихте SiO_2 на 1%;

- на 2702,77 ккал / 1 тонну спёка с увеличением содержания в шихте Fe_2O_3 на 1%;

б) повышается:

- на 14650,47 ккал / 1 тонну спёка при увеличении содержания в шихте CaO на 1%;

- на 406,51 ккал / 1 тонну спёка при увеличении содержания в шихте SO_3 на 1%.

Решим задачу прогнозирования теплотребления шихты путем решения уравнения с известными значениями x_1, x_2, \dots, x_5 . Результаты отразим в Приложении Г (таблица Г9, столбец 12).

Для того, чтобы убедиться в надежности уравнения связи и правомерности его использования для практической цели, используем критерий Фишера (F-отношение), среднюю ошибку аппроксимации, оценку коэффициента множественной корреляции и коэффициент детерминации.

Определим критерий Фишера по формуле (2.24). Для этого найдем $D_{факторная}$, $D_{ост}$ по формулам (2.25), (2.26)

$$D_{факторная} = \frac{38003613756,37}{6-1} = 7600722751$$

$$\sigma_{инд}^2 = \frac{3905944,08}{60-6} = 72332,3$$

$$F = \frac{7600722751}{72332,3} = 105080,621$$

При уровне вероятности $P = 0,05$ и количестве степеней свободы $(m - 1) / (n - m) = (6 - 1) / (60 - 6) = 5 / 54$ оно будет составлять 2,37. Так как $F_s > F_r$ уравнение регрессии можно признать адекватным.

Определим среднюю ошибку аппроксимации по формуле (2.32)

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{60} \times 0,02 \times 100\% = 0,037\%$$

Полученное значение не превышает допустимого предела 12-15%.

Оценим значимость коэффициента множественной корреляции с помощью t-критерия Стьюдента по формуле (2.30)

$$t_R = \frac{0,999\sqrt{60-6-1}}{1-0,999^2} = \frac{7,273}{0,0019} = 3638,23$$

Табличное значение t-критерия с уровнем значимости 0,05 и числом степеней свободы 53 равно 2,021. Так как $t_s > t_r$ коэффициент множественной корреляции можно признать значимым.

Рассчитаем коэффициент детерминации по формуле (2.33)

$$R^2 = 1 - \frac{3905944,08}{38007519716,15} = 0,999$$

Значение R^2 близко к единице, это значит, что построенная модель имеет высокую значимость.

Составим тепловой баланс согласно, полученных в параграфах 2.3.3, 2.3.4, 2.3.5, регрессионных моделей, см. Приложение Г, таблица Г9.

2.3.6 Сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных теплового баланса

Определим невязку итоговых значений теплотребления шихты в тепловом балансе, рассчитанном по методике Самаряновой Л.Б. (Приложение Г, таблица Г3, столбец 15) и тепловом балансе, рассчитанном с помощью регрессионных моделей (Приложение Г, таблица Г9, столбец 14). Результаты представлены в Приложении Г, таблица Г10. По условиям теплового баланса, невязка баланса должна составлять не более 0,5%. Максимальное значение невязки составляет 0,12%, минимальное: - 0,21%. Частота показателей невязки теплотребления шихты для рассматриваемого массива данных представлена на рисунке 2.4.

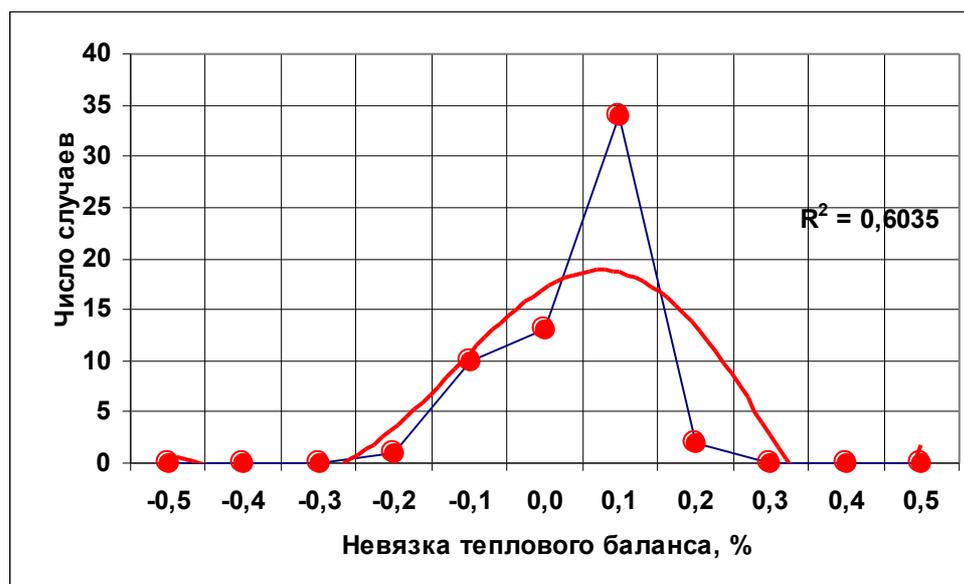


Рисунок 2.4 – Кривая распределения невязки теплотребления шихты

Выводы

В данной главе разработана и исследована модель подготовки глинозёмсодержащей шихты с учетом ее влагосодержания, химического анализа компонентов.

Выявлено, что для паспортной шихты применима методика расчёта теплотребления шихты Самаряновой Л.Б.

Получены уравнения регрессии для прогнозирования теплотребления шихты во вращающихся печах.

Определено, что теплотребление шихты имеет прямую зависимость:

- от содержания влаги в зонах сушки и подогрева;
- от химического состава в зонах кальцинации и спекания.

Произведён сравнительный анализ результатов моделирования и реальных данных.

3 ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ШИХТЫ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЕЁ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ

3.1 Выбор состава программных средств

3.1.1 Среда разработки

Существует множество подходов к созданию программных продуктов. В настоящее время чаще всего применяется Объектно-ориентированная модель. Данную модель поддерживают большинство современных языков, в том числе и Delphi, выбранный в качестве среды разработки для ИС «Aluminum».

Delphi — это среда разработки программ, ориентированных на работу в Windows. В основе идеологии Delphi лежат технология визуального проектирования и методология объектно-ориентированного программирования. Для представления программ в Delphi используется разработанный Borland язык Object Pascal, в основе которого лежит ставший классическим Turbo Pascal. Слово "Object" особо подчеркивает, что язык поддерживает концепцию объектно-ориентированного программирования.

Преимущество данного подхода в том, что разработчик оперирует не с функциями и переменными, а с объектами. Такой подход является более простым, т.к. приближен к реальному миру. Объектно-ориентированная модель позволяет создавать более понятный код, а так же делать приложение легко масштабируемым.

Delphi поддерживает все возможности Объектно-ориентированной модели. Основным понятием здесь является класс. Объектно-ориентированное программирование (ООП) предполагает работу с иерархией классов.

Основные идеи объектно-ориентированного подхода опираются на следующие положения:

- Программа представляет собой модель некоторого реального процесса, части реального мира.

- Модель реального мира или его части может быть описана как совокупность взаимодействующих между собой объектов.

- Объект описывается набором параметров, значения которых определяют состояние объекта, и набором операций (действий), которые может выполнять объект.

- Взаимодействие между объектами осуществляется посылкой специальных сообщений от одного объекта к другому. Сообщение, полученное объектом, может потребовать выполнения определенных действий, например, изменения состояния объекта.

- Объекты, описанные одним и тем же набором параметров и способные выполнять один и тот же набор действий представляют собой класс однотипных объектов.

3.1.2 СУБД

Для реализации поставленной задачи была выбрана в качестве базы данных СУБД Microsoft Office Access. Приложение Microsoft Access 97/2000 (далее Access) является мощной и высокопроизводительной 32-разрядной системой управления реляционной базой данных (далее СУБД).

Microsoft Access — реляционная СУБД корпорации Microsoft. Имеет широкий спектр функций, включая связанные запросы, сортировку по разным полям, связь с внешними таблицами и базами данных. Благодаря встроенному языку VBA, в самом Access можно писать приложения, работающие с базами данных.

Основные компоненты MS Access: просмотр таблиц, построитель экранных форм, построитель SQL-запросов (язык SQL в MS Access не соответствует стандарту ANSI), построитель отчетов, выводимых на печать. Все они могут вызывать скрипты на языке VBA.

Таким образом, MS Access позволяет разрабатывать приложения и БД практически «с нуля» или написать оболочку для внешней БД. Является файл-серверной СУБД и потому применима лишь к небольшим приложениям. В ней отсутствует ряд механизмов необходимых в многопользовательских БД, такого, например, как транзакции. Опыт показывает, что даже для проектов на 5-20 пользователей предпочтительно использовать клиент-серверные решения. ИС «Aluminum» не является сетевой версией, поэтому выбор СУБД Microsoft Office Access позволил использовать только её достоинства.

3.2 Назначение ИС «Aluminum»

С целью программной реализации математической модели процесса подготовки шихты и прогнозирования её теплопотребления, в среде программирования Delphi, разработана информационная система «Aluminum», которая позволяет решить следующие задачи:

- проверка соответствия расходов компонентов шихты и их химического анализа;
- прогнозирование паспортной шихты при изменении технологических потоков и их химических анализов;
- прогнозирование теплопотребления шихты во вращающихся печах.

3.3 Структура базы данных

База данных создана в MS Access и состоит из шести таблиц: Nim_sostav, Komponenti, Teh_potoki, Vlaga, Coefficient, Teplopotreblenie. Их взаимосвязь представлена на рисунке 3.1.

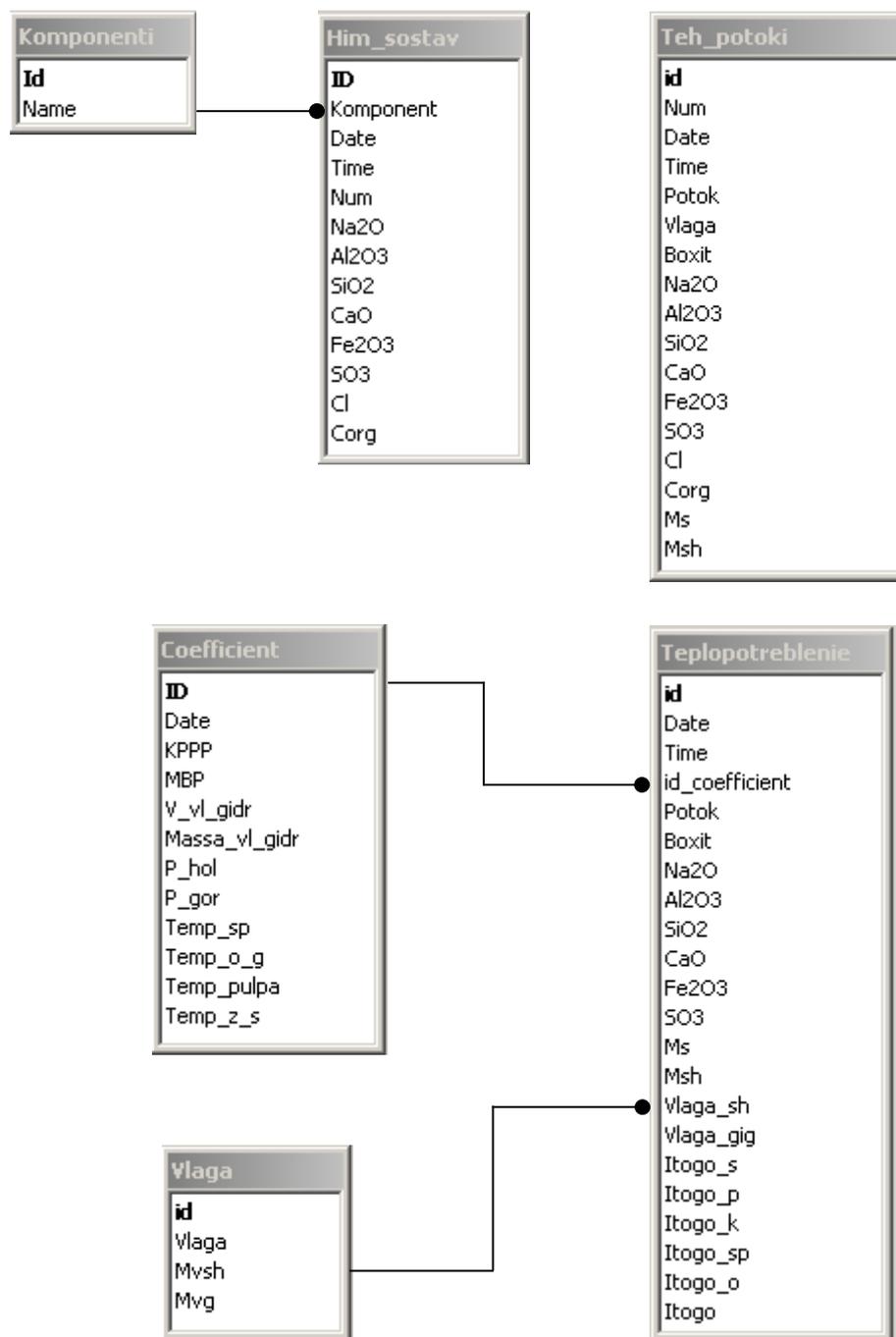


Рисунок 3.1 – Взаимосвязь таблиц

В модуле 1 задействованы таблицы – Him_sostav, Komponenti, Teh_potoki. Таблица Him_sostav предназначена для хранения химического состава компонентов шихты (%), таблица 3.1.

Таблица 3.1 – Структура таблицы Nim_sostav

№ п/п	Имя поля	Тип данных	Примечание
1.	ID	Счётчик	
2.	Komponent	Числовой	
3.	Date	Дата/время	Системная дата
4.	Time	Текстовый	Системное время
5.	Num	Числовой	Номер анализа
6.	Na2O	Текстовый	
7.	Al2O3	Текстовый	
8.	SiO2	Текстовый	
9.	CaO	Текстовый	
10.	Fe2O3	Текстовый	
11.	SO3	Текстовый	
12.	Cl	Текстовый	
13.	Corg	Текстовый	

Таблица Komponenti предназначена для хранения наименований компонентов шихты, таблица 3.2.

Таблица 3.2 – Структура таблицы Komponenti

№ п/п	Имя поля	Тип данных	Примечание
1.	ID	Счётчик	
2.	Name	Текстовый	

Таблица Teh_potoki предназначена для хранения значений боксита и паспортной шихты, таблица 3.3.

Таблица 3.3 – Структура таблицы Teh_potoki

№ п/п	Имя поля	Тип данных	Примечание
1	2	3	4
1.	ID	Счётчик	
2.	Num	Числовой	Номер анализа
3.	Date	Дата/время	Системная дата
4.	Time	Текстовый	Системное время
5.	Potok	Текстовый	Поток, т/смена
6.	Vlaga	Текстовый	Влага, %
7.	Boxit	Текстовый	Боксит, т/смена
8.	Na2O	Текстовый	
9.	Al2O3	Текстовый	

Продолжение таблицы 3.3

1	2	3	4
10.	SiO ₂	Текстовый	
11.	CaO	Текстовый	
12.	Fe ₂ O ₃	Текстовый	
13.	SO ₃	Текстовый	
14.	Cl	Текстовый	
15.	Corg	Текстовый	
16.	Ms	Текстовый	Модуль силикатный
17.	Msh	Текстовый	Модуль щелочной

В модуле 2 задействованы таблицы - Vлага, Coefficient, Teplopotreblenie. Таблица Vлага предназначена для хранения фиксированных значений по влаге, таблица 3.4.

Таблица 3.4 – Структура таблицы Vлага

№ п/п	Имя поля	Тип данных	Примечание
1.	ID	Счётчик	
2.	Vлага	Текстовый	Влага, %
3.	Mvsh	Текстовый	Масса влажной шихты, кг
4.	Mvg	Текстовый	Масса влаги гигроскопической, кг

Таблица Coefficient служит для хранения параметров расчёта, применяемых в методике Самаряновой Л.Б. для расчёта теплотребления шихты по зонам вращающейся печи, таблица 3.5.

Таблица 3.5 – Структура таблицы Coefficient

№ п/п	Имя поля	Тип данных	Примечание
1	2	3	4
1.	ID	Счётчик	
2.	Date	Дата/время	
3.	KPPP	Текстовый	Коэффициент потерь при прокаливании
4.	MВР	Текстовый	Масса безвозвратной пыли
5.	V_vl_gidr	Текстовый	Объём влаги гигроскопической
6.	Massa_vl_gidr	Текстовый	Масса влаги гигроскопической
7.	P_hol	Текстовый	Масса пыли, возвращаемой с холодного стояка

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4
8.	P_gor	Текстовый	Масса пыли, возвращаемой в горячий конец
9.	Temp_sp	Текстовый	Температура спекания
10.	Temp_o_g	Текстовый	Температура отходящих газов
11.	Temp_pulpa	Текстовый	Температура пульпы
12.	Temp_z_s	Текстовый	Температура зоны сушки текущая

Таблица Terlpotreblenie предназначена для хранения данных по расчёту компонентов спёка и теплотреблению шихты по зонам печи спекания, таблица 3.6.

Таблица 3.6 – Структура таблицы Terlpotreblenie

№ п/п	Имя поля	Тип данных	Примечание
1	2	3	4
1.	ID	Счётчик	
2.	Date	Дата/время	Дата
3.	Time	Текстовый	Время
4.	id_coefficient	Числовой	ID параметров расчёта
5.	Potok	Текстовый	Поток, т/смена
6.	Boxit	Текстовый	Масса боксита, кг/т
7.	Na2O	Текстовый	
8.	Al2O3	Текстовый	
9.	SiO2	Текстовый	
10.	CaO	Текстовый	
11.	Fe2O3	Текстовый	
12.	SO3	Текстовый	
13.	Ms	Текстовый	Модуль силикатный
14.	Msh	Текстовый	Модуль щелочной
15.	Vlaga_sh	Текстовый	Масса влажной шихты, кг
16.	Vlaga_gig	Текстовый	Масса влаги гигроскопической, кг
17.	Itogo_s	Текстовый	Итого – теплотребление в зоне сушки, ккал/т
18.	Itogo_p	Текстовый	Итого – теплотребление в зоне подогрева, ккал/т
19.	Itogo_k	Текстовый	Итого – теплотребление в зоне кальцинации, ккал/т
20.	Itogo_sp	Текстовый	Итого – теплотребление в зоне спекания, ккал/т

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4
21.	Itogo_o	Текстовый	Итого – теплотребление в зоне охлаждения, ккал/т
22.	Itogo	Текстовый	Всего теплотребление, ккал/т

3.4 Структура программы

Запускной файл программы Aluminum.exe расположен в папке Aluminum. Главное окно программы состоит из:

- главного меню, рисунок 3.2;
- панели кнопок быстрого запуска, рисунок 3.3;
- строки состояния (рисунок 3.4), где отражается следующая информация: пользователь (Администратор / Пользователь), уровень доступа (полный / ограниченный), текущая дата.



Рисунок 3.2 – Главное меню программы



Рисунок 3.3 – Панель кнопок быстрого запуска

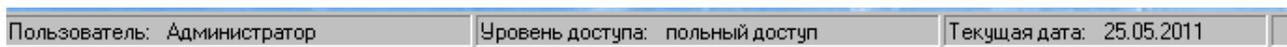


Рисунок 3.4 – Строка состояния

Структура программы представлена на рисунке 3.5, листинг в приложении Д. ИС состоит из двух модулей:

- 1) «Шихта»;
- 2) «Теплотребление».

В первом модуле реализован алгоритм модели смешения компонентов шихты и расчёт паспортной шихты, который описан в пункте 2.2.1.

Во втором модуле реализованы:

- алгоритм расчёта компонентов спека по результатам первого модуля (пункт 2.2.2);
- расчёт теплотребления шихты по зонам вращающейся печи по методике Самаряновой Л.Б.

3.4.1 Авторизация

При входе открывается диалоговое окно «Авторизация» (рисунок 3.6), в котором необходимо выбрать Login → User / Admin. У «User» вход свободный, «Admin» должен ввести пароль.

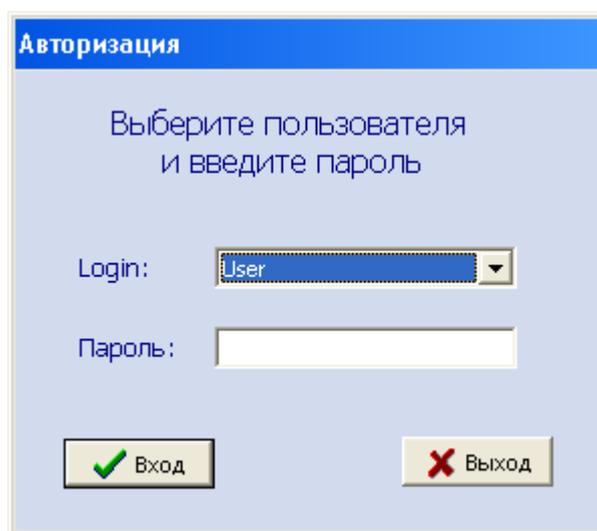


Рисунок 3.6 - Окно авторизации

Отличие прав User и Admin заключается в том, что администратор наделён полномочиями настройки базы данных и смены паролей для входа в программу.

3.4.2 Настройка базы данных

Если ИС «Aluminum» была установлена впервые на компьютер или перенесена в другое место ПК, тогда администратору необходимо настроить программу на базу данных, которая расположена в папке Aluminum в подкаталоге Data Base. Для этого нужно:

- 1) Выполнить вход под Login → Admin.
- 2) Зайти в пункт меню «Настройка» - «Базы данных». Откроется диалоговое окно (рисунок 3.7), в котором необходимо указать местоположение базы данных.

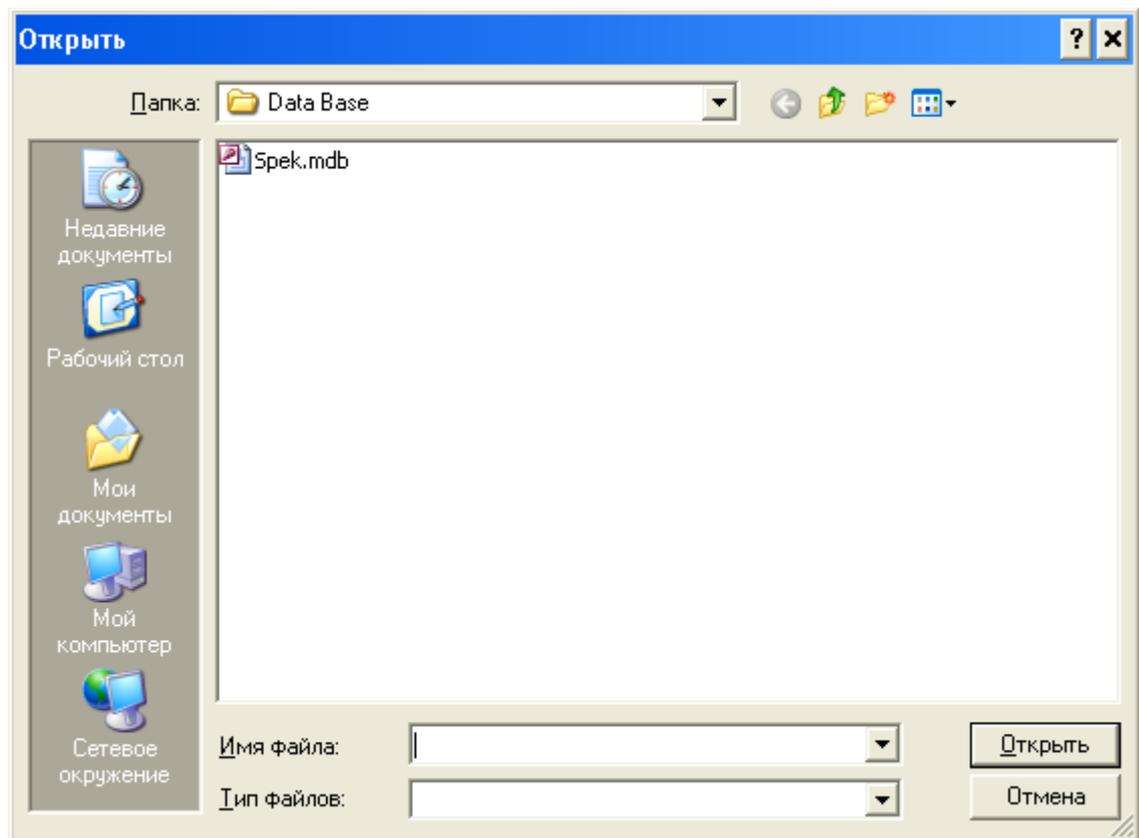


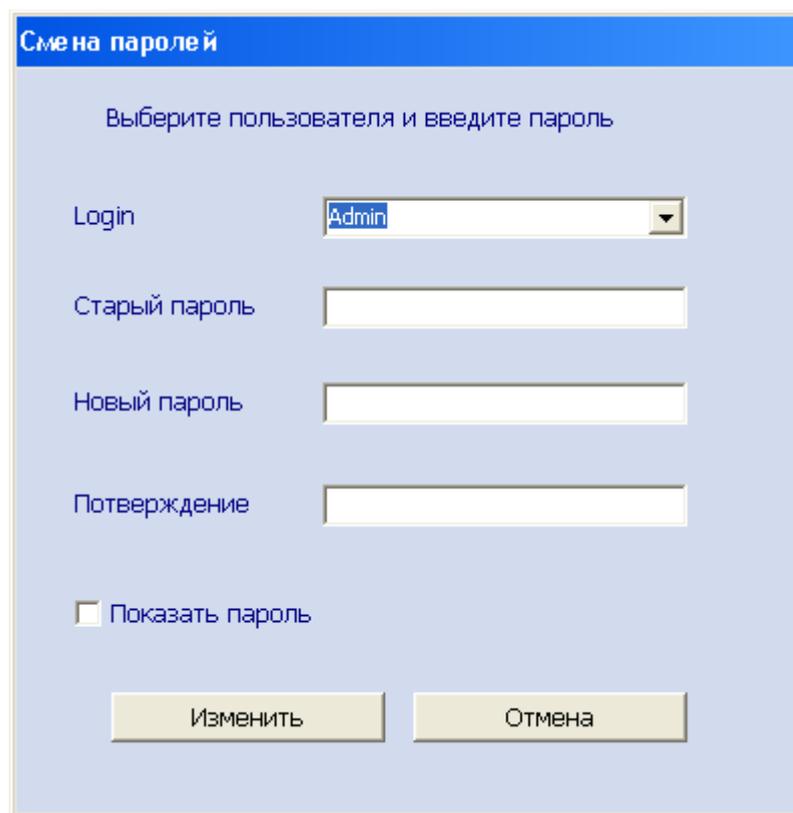
Рисунок 3.7 – диалоговое окно «Открыть»

Путь к базе прописан в файле Path.pgr. При перенастройке базы необходимо его удалить.

3.4.3 Смена паролей

При необходимости смены паролей нужно:

- 1) Выполнить вход под Login → Admin.
- 2) Зайти в пункт меню «Настройка» - «Смена паролей», рисунок 3.8.



Смена паролей

Выберите пользователя и введите пароль

Login: Admin

Старый пароль

Новый пароль

Потверждение

Показать пароль

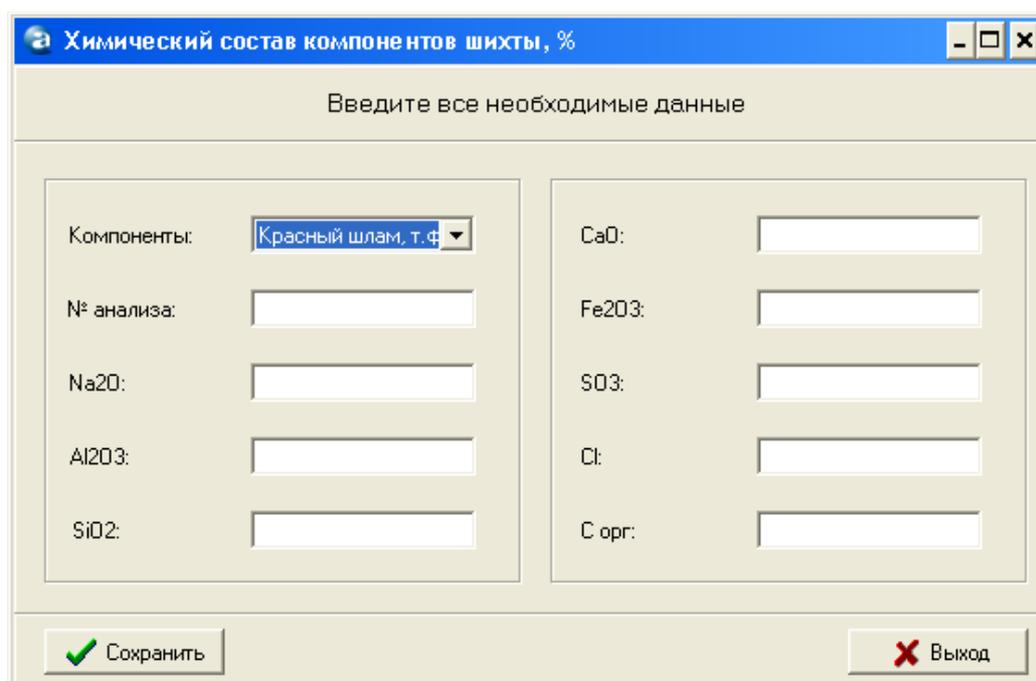
Изменить Отмена

Рисунок 3.8 – Окно смены паролей

3.4.4 Модуль 1 «Шихта»

Пункт главного меню «Шихта» включает три подпункта:

- «Химический состав», где вводятся данные по химическому составу компонентов шихты, рисунок 3.9.



Химический состав компонентов шихты, %

Введите все необходимые данные

Компоненты: Красный шлам, т.ф.

№ анализа:

Na2O:

Al2O3:

SiO2:

CaO:

Fe2O3:

SO3:

Cl:

C орг:

Сохранить Выход

Рисунок 3.9 – Окно для ввода химического состава компонентов

Перемещение по полям окна осуществляется как при помощи мыши, так и при помощи клавиши Enter.

Заполнять поля нужно следующим образом:

- а) выбрать необходимый компонент;
- б) в поле № анализа занести целое число;
- в) занести данные по химическому составу;
- г) кнопка «Сохранить».
- д) выбрать следующий компонент и т.д.

После занесения всех данных во все компоненты нажать кнопку «Выход».

- «Модель смешения» компонентов шихты.

Окно состоит из четырёх вкладок: Химический состав (рисунок 3.10), Технологические потоки, Диаграмма Na_2O и Диаграмма Al_2O_3 .

	№ анализа	Na2O	Al2O3	SiO2	CaO	Fe2O3	SO3	Cl	C орг
Красный шлам, т.ф.	1420	11,2	22,7	20,4	1,2	30,9	1,6	1,6	0,4
Красный шлам, ж.ф.	1331	38,4	28,3	0	0	0	1	10	0
КШ Перелив, т.ф.	1420	11,2	22,7	20,4	1,2	30,9	1,6	1,6	0,4
КШ Перелив, ж.ф.	1331	38,4	28,3	0	0	0	1	10	0
Белый шлам, т.ф.	1376	12,3	24,1	22,1	17,1	8,92	2,1	0	0
Белый шлам, ж.ф.	1291	100,2	94	0,1	0	0,0013	0	0	0
Содовый раствор	1117	155,2	18,6	0	0	0	51,7	10,9	0
Боксит	1111	0	44,1	17	12,6	0	0	0,9	0
Восстановитель	2222	0	24	57	3	0	0	0	80
Известняк	354	0	0,2	0,3	55,3	0,16	0	0	0
Кальц. сода	3333	57,3	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 3.10 - Вкладка «Химический состав»

Для того, чтобы, заполнить таблицу данными, необходимо 2 раза щелкнуть по полю «№ анализа» напротив компонента. Появится окно со значениями, сохранёнными в пункте меню «Шихта» (рисунок 3.11), подпункт «Химический состав». Указать дату занесения данных, выбрать из появившегося списка нужную строку, нажать кнопку «Добавить».

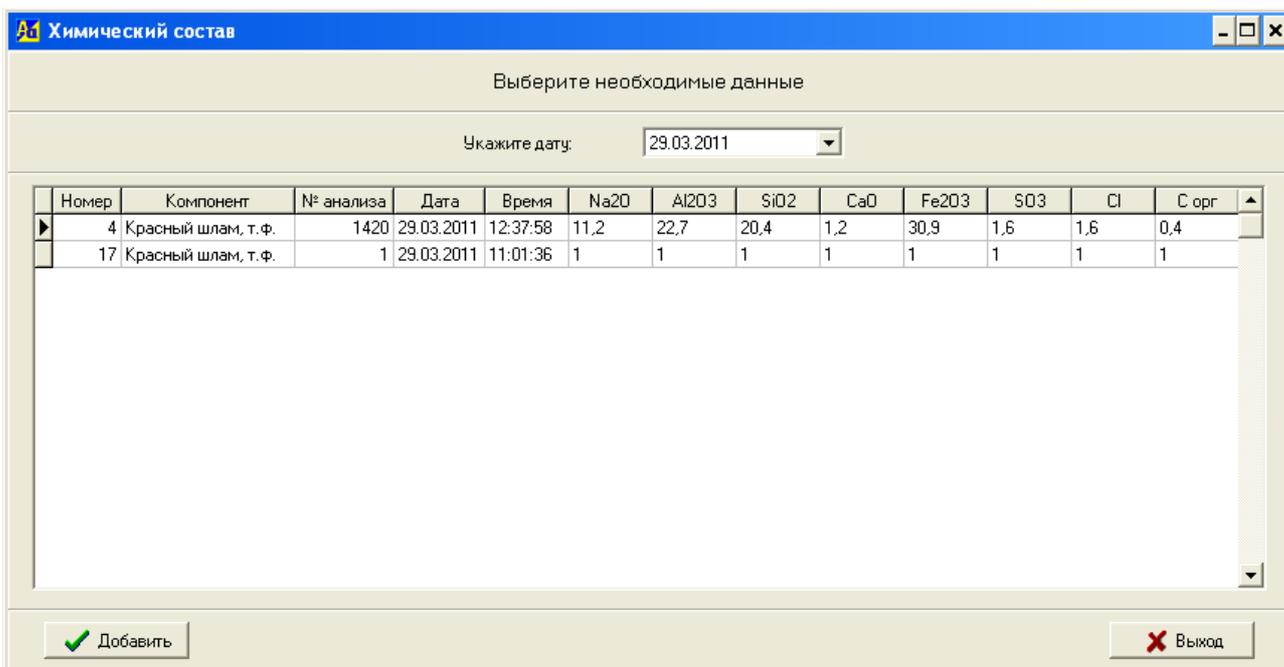


Рисунок 3.11 – Окно для выбора химического состава

После заполнения всех значений, нажать кнопку «Далее» для перехода на вкладку «Технологические потоки», рисунок 3.12.

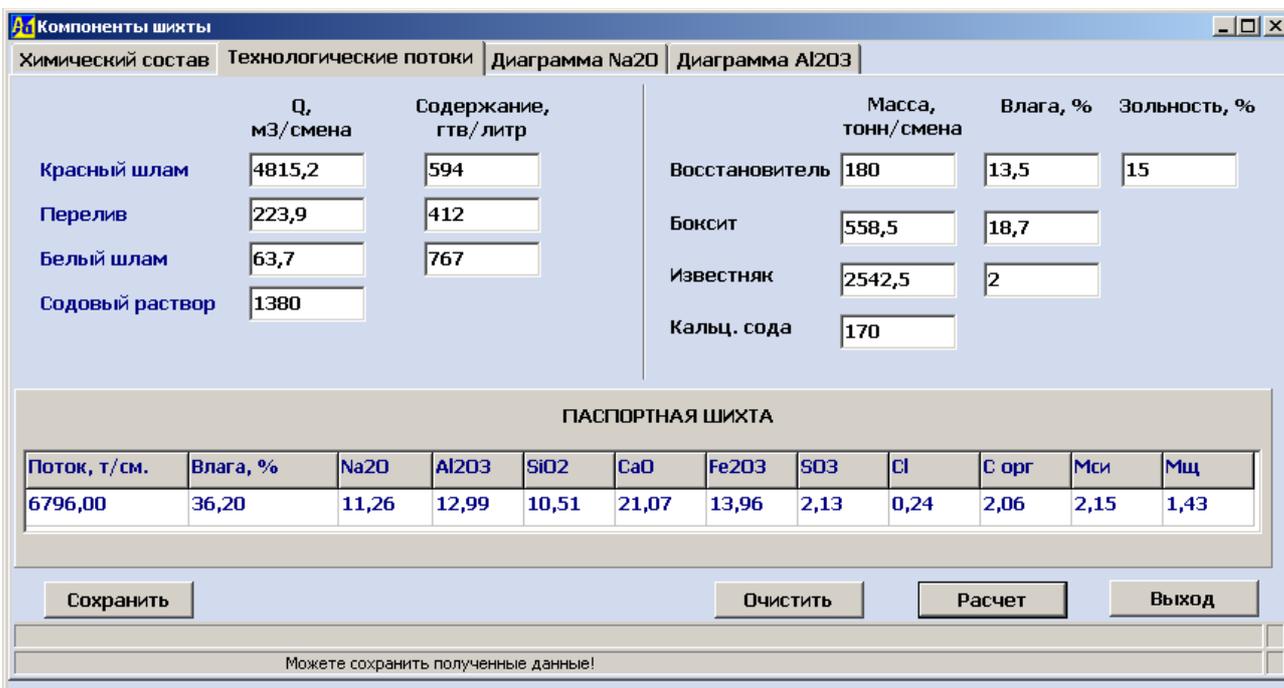


Рисунок 3.12 - Вкладка «Технологические потоки»

Заполнить поля данными по компонентам шихты. Нажать кнопку «Расчет». Программа рассчитает значения паспортной шихты. Если значения влаги, силикатного и/или щелочного модулей выходят за рамки допустимого диапазона, который составляет 36-41%, 2,10-2,30 и 1,35-1,45 соответственно, то

выдается сообщение о том, что необходимо откорректировать данные. После чего, значения паспортной шихты рассчитываются заново.

Вкладки «Диagramма Na_2O » (рисунок 3.13) и «Диagramма Al_2O_3 » (рисунок 3.14). На данных вкладках строятся круговые диаграммы по Na_2O и Al_2O_3 , так как именно эти элементы являются наиболее важными для дальнейшей технологической схемы по производству глинозёма.

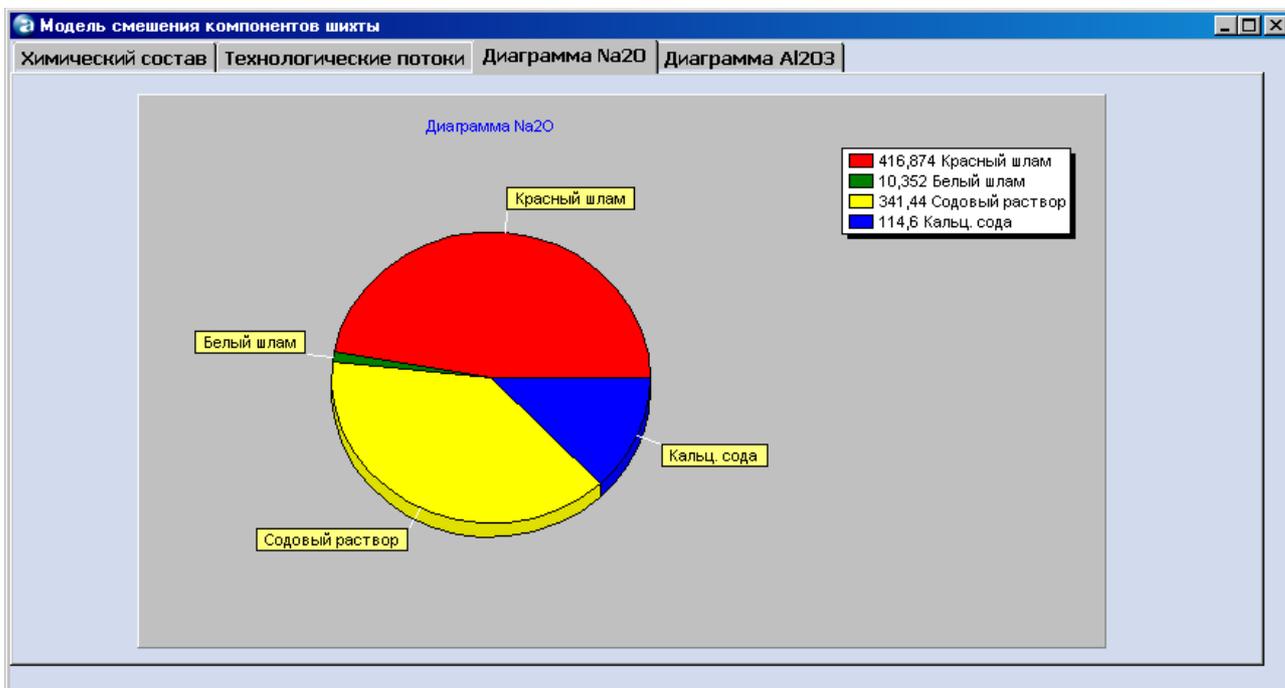


Рисунок 3.13 – Вкладка «Диagramма Na_2O »

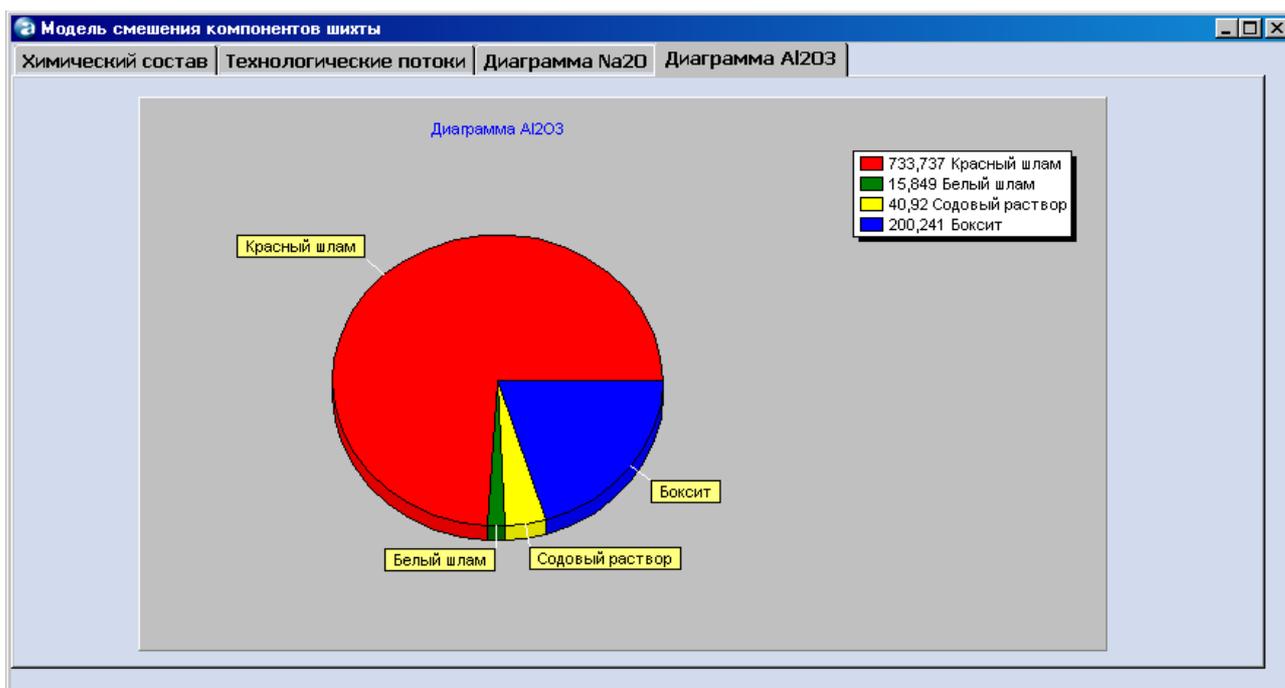


Рисунок 3.14 – Вкладка «Диagramма Al_2O_3 »

3. «Просмотр / корректировка», рисунок 3.15.

Исходные данные шихты

Укажите дату: 10.05.2011 Обновить

№ анализа:				
№	Дата	Время	№	№ парам.расчета
9	29.03.2011	12:37:58	5	

Компоненты шихты:								
№	Na2O	Al2O3	SiO2	CaO	Fe2O3	SO3	Cl	Сорг
1376	12,3	24,1	22,1	17,1	8,92	2,1	0	0

Блок редактирования данных

№ анализа шихты:	1376	SiO2:	22,1	SO3:	2,1
Na2O:	12,3	CaO:	17,1	Cl:	0
Al2O3:	24,1	Fe2O3:	8,92	С орг:	0

Удалить Выход

Рисунок 3.15 – Окно для просмотра и корректировки данных по химическому анализу

Для того, чтобы удалить данные, необходимо выделить нужную строку и нажать кнопку «Удалить».

Для того, чтобы откорректировать данные, необходимо:

1) Выделить нужную строку. Её значения отобразятся в «Блоке редактирования данных».

2) Поменять значения.

3) Нажать на кнопку «Обновить» или перейти на другую строку. Изменения сохраняются в базе.

3.4.5 Модуль 2 «Теплопотребление»

Данный модуль включает пункты меню «Параметры» и «Теплопотребление». Пункт «Параметры» предназначен для работы с параметрами расчёта, которые используются в пункте «Теплопотребление» - «Расчёт теплопотребления шихты». Он включает два подпункта:

1) «Ввод». При выборе данного пункта меню появляется форма «Параметры расчёта», куда можно внести новые значения и записать на определённую дату, рисунок 3.16.

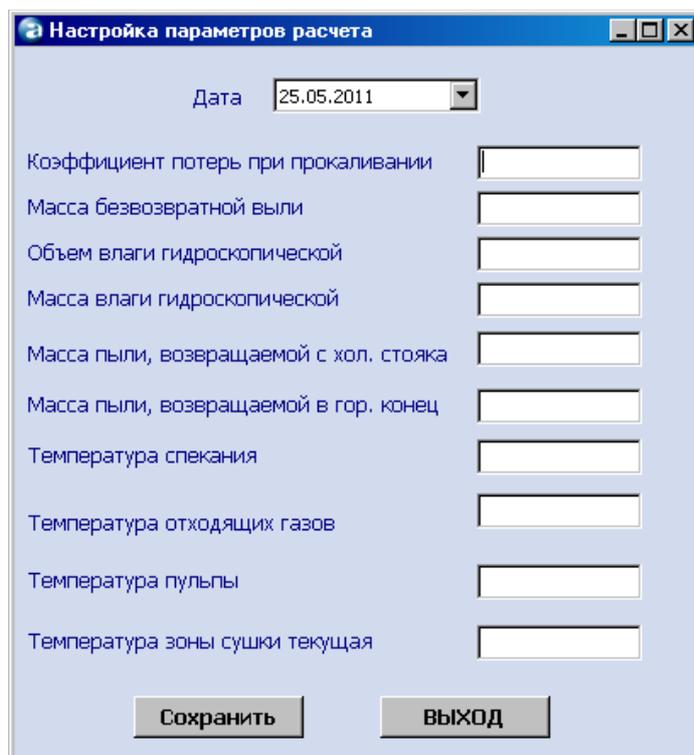


Рисунок 3.16 – Окно ввода параметров расчёта

2) «Просмотр / корректировка», предназначенный для работы с данными, введенными в пункте меню «Параметры» - «Ввод», рисунок 3.17.

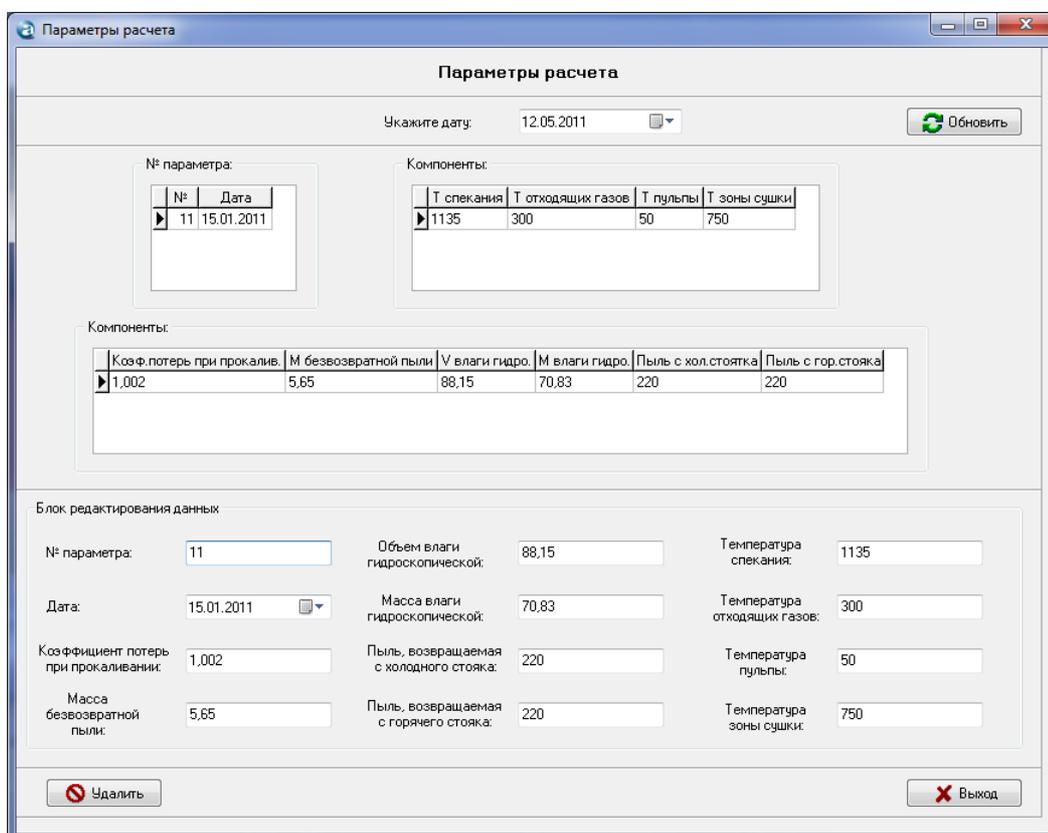


Рисунок 3.17 – Окно просмотра / корректировки параметров расчёта

Для того, чтобы удалить данные, необходимо выделить нужную строку и нажать кнопку «Удалить».

Для того, чтобы откорректировать данные, необходимо:

а) Выделить нужную строку. Её значения отобразятся в «Блоке редактирования данных».

б) Поменять значения.

в) Нажать на кнопку «Обновить» или перейти на другую строку. Изменения сохранятся в базе.

Пункт «Теплопотребление» состоит из двух подпунктов:

- «Расчёт теплопотребления шихты»;
- «Просмотр / корректировка теплового баланса».

Окно «Расчёт теплопотребления шихты по методике Л.Б. Самаряновой» (рисунок 3.18) состоит из пяти вкладок: «Исходные данные», «I. Зона сушки», «II. Зона подогрева», «III. Зона кальцинации», «IV, V зоны и ИТОГО», «Диаграмма».

Поиск паспортной шихты	
Поток, т/см.	Боксит, кг/т
Na ₂ O, кг/т	Al ₂ O ₃ , кг/т
SiO ₂ , кг/т	CaO, кг/т
Fe ₂ O ₃ , кг/т	SO ₃ , кг/т
Mси	Mщ
Вл. шихта, кг	Влага гигр., кг

Параметры расчета	
1. Коэффициент потерь при прокаливании	1,002
2. Масса безвозвратной пыли	5,65
3. Объем влаги гидроскопической	88,15
4. Масса влаги гидроскопической	70,83
5. Масса пыли, возвращаемой с холодного стояка	220,00
6. Масса пыли, возвращаемой в горячий конец	220,00
7. Температура спекания	1135,00
8. Температура отходящих газов	300,00
9. Температура пульпы	50,00
10. Температура зоны сушки текущ.	750,00

Рисунок 3.18 – Окно «Расчёт теплопотребления шихты по методике Л.Б. Самаряновой»

Вкладка «Исходные данные»:

1) Нажать на кнопку «Поиск паспортной шихты».

2) Появится окно «Паспортная шихта» (рисунок 3.19), в котором необходимо выбрать нужные исходные данные. В этом окне отображаются значения, рассчитанные и сохранённые в модуле 1.

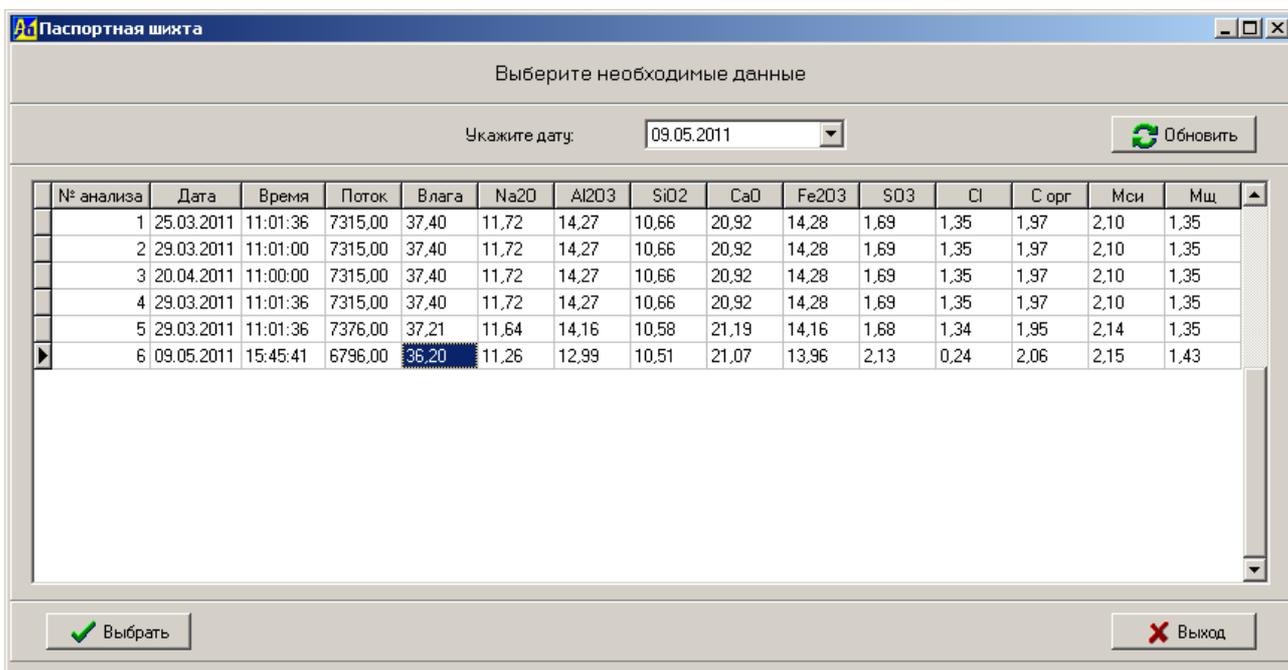


Рисунок 3.19 – Окно выбора паспортной шихты

3) «Параметры расчёта» уже содержатся в соответствующих полях. Если необходимо изменить значения, то нужно нажать кнопку «Параметры расчёта». Появится окно «Параметры расчёта», рисунок 3.20. Выберите необходимую строку и нажмите кнопку «Выбрать».

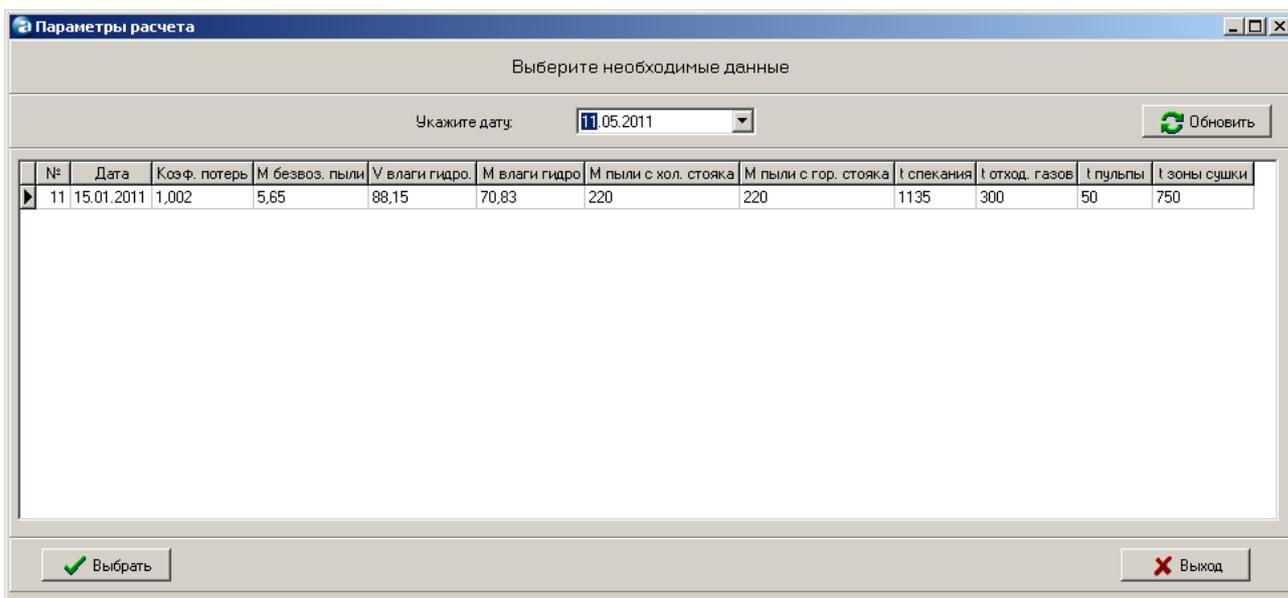


Рисунок 3.20 – Окно выбора параметров расчёта

4) Нажать кнопку «Расчёт компонентов шёка». В таблице справа появятся значения.

5) Нажать кнопку «Далее».

6) Во вкладках «I. Зона сушки» (рисунок 3.21), «II. Зона подогрева» (рисунок 3.22), «III. Зона кальцинации» (рисунок 3.23), «IV, V зоны и ИТОГО» (рисунок 3.24) отображены результаты расчёта теплотребования шихты. Перемещаться необходимо с помощью кнопок «Далее».

Исходные данные	I. Зона сушки	II. Зона подогрева	III. Зона кальцинации	IV, V зоны и ИТ
1. Тепло на подогрев шихты от 50 до 150 °С.....	46278,00			
2. Тепло на нагрев и испарение влаги, нагрев воды до температуры отходящих газов	636531,06			
3. Тепло на нагрев безвозвратной пыли.....	395,50			
4. Тепло на нагрев пыли с холодного стояка.....	18480,00			
5. Тепло эндотерм. реакции образования Na ₂ SO ₄	18132,19			
6. Тепло, отдаваемое пылью с гор. обреза печи.....	27720,00			
7. Количество CO ₂ от разложения CaCO ₃ и Na ₂ CO ₃				
7.1. Разложение CaCO ₃ (кг).....	61,57			
7.2. Разложение Na ₂ CO ₃ (кг).....	125,76			
7.3. Объем углекислого газа (кг).....	95,58			
8. Тепло, отдаваемое газами в зоне подогрева.....	35503,88			
ИТОГО по зоне сушки	656592,87			

Далее >>

Расчёт компонентов шёка Очистить Сохранить ВЫХОД

Рисунок 3.21 – Вкладка «I. Зона сушки»

Расчет теплопотребления шихты по методике Самаряновой Л.Б.

Исходные данные | **И. Зона сушки** | II. Зона подогрева | III. Зона кальцинации | IV, V зоны и ИТ

1. Тепло на нагрев шихты до температуры в зоне сушки	266193,54
2. Тепло на испарение влаги и нагрев паров воды.....	57938,94
3. Теплота на разложение $Al_2O_3 * H_2O$	26254,80
4. Тепло, отдаваемое пылью зоны кальцинации.....	40040,00
5. Тепло, отдаваемое газами зоны кальцинации.....	32678,80
ИТОГО по зоне подогрева	277668,48

Далее >>

Расчёт компонентов спека | Очистить | Сохранить | ВЫХОД

Рисунок 3.22 – Вкладка «II. Зона подогрева»

Расчет теплопотребления шихты по методике Самаряновой Л.Б.

Исходные данные | I. Зона сушки | **II. Зона подогрева** | **III. Зона кальцинации** | IV, V зоны и ИТ

1. Тепло на нагрев шихты до 1100 °С.....	98000,00
2. Тепло на нагрев пыли, подаваемое в горячий конец до 1400 °С	77000,00
3. Тепло на нагрев технологич. газов до 1400 °С	32678,80
4. Тепло на разложение (Q эндотермическое)	186869,96
4.1. Na_2CO_3	76725,00
4.2. $CaCO_3$	107191,56
4.3. $Al_2O_3 * Na_2O * 2SiO_2 * 2H_2O$	2953,40
5. Тепло на образования (Q экзотермическое)...	130725,92
5.1. $NaAlO_2$	112539,23
5.2. $NaFeO_2$	2413,67
5.3. $2CaO * SiO_2$	15773,02
ИТОГО по зоне кальцинации	258208,44

Далее >>

Расчёт компонентов спека | Очистить | Сохранить | ВЫХОД

Рисунок 3.23 – Вкладка «III. Зона кальцинации»

Расчет теплопотребления шихты по методике Самаряновой Л.Б.

I. Зона сушки II. Зона подогрева III. Зона кальцинации IV, V зоны и ИТОГО Диаграмма

IV. ЗОНА СПЕКАНИЯ

1. Тепло на подогрев слёка до t спекания.....

2. Тепло для образования соединений слёка

Итого по зоне спекания

V. ЗОНА ОХЛАЖДЕНИЯ

Тепло от охлаждающегося до 1050 °С слёка

ВСЕГО по зонам I-V **ккал / 1 тонну слёка**

Рисунок 3.24 - «IV, V зоны и ИТОГО»

- 7) Нажать кнопку «Сохранить».
- 8) Перейти на вкладку «Диаграмма», рисунок 3. 25.

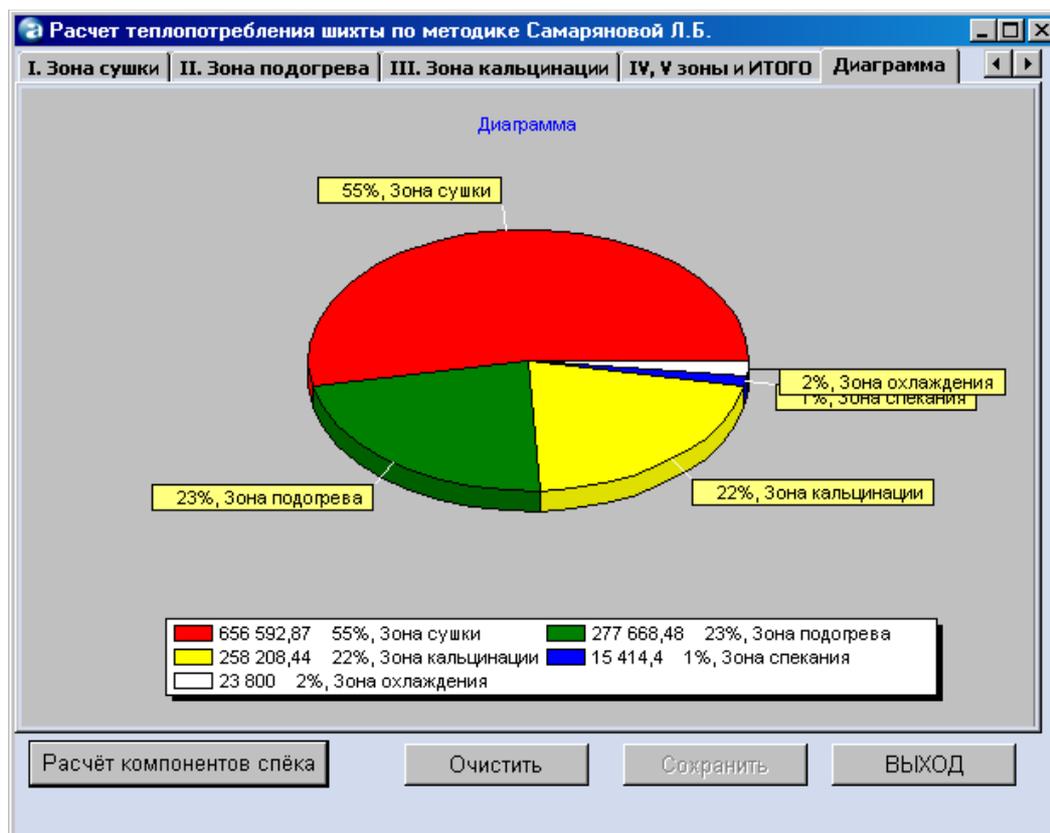


Рисунок 3.25 – Вкладка «Диagramма»

Подпункт «Просмотр / корректировка теплового баланса» (рисунок 3.26) предназначен для работы с данными, рассчитанными в пункте меню «Теплопотребление» - «Расчёт теплотребления шихты».

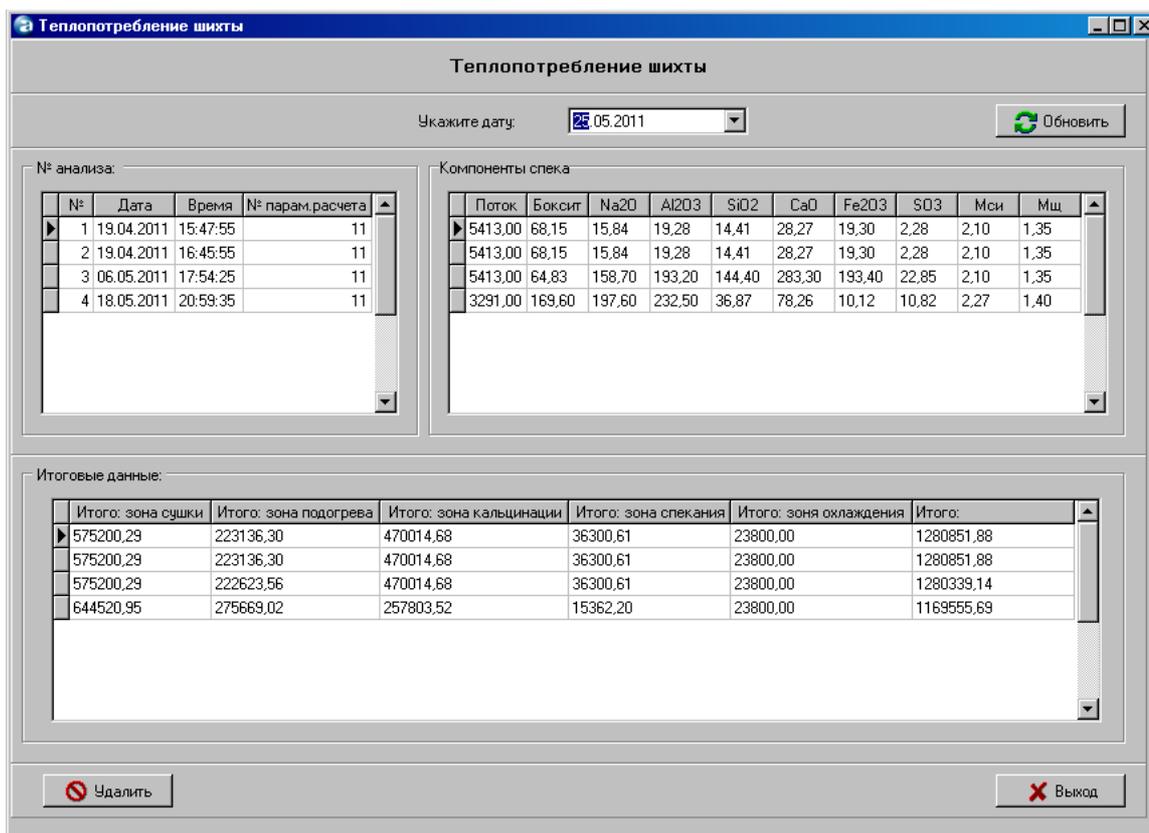


Рисунок 3.26 – Окно «Просмотр / корректировка теплового баланса»

Для того, чтобы удалить данные, необходимо выделить нужную строку и нажать кнопку «Удалить».

Для того, чтобы откорректировать данные, необходимо выделить нужную ячейку исправить значение, нажать на кнопку «Обновить» или перейти на другую строку. Изменения сохраняются в базе.

3.4.6 Формирование отчёта в MS Excel

Меню «Отчёт», рисунок 3.27. В форме необходимо выбрать:

- по какому критерию будет строиться отчёт (Паспортная шихта или Тепловой баланс);
- период
- нажать на кнопку «Сформировать».

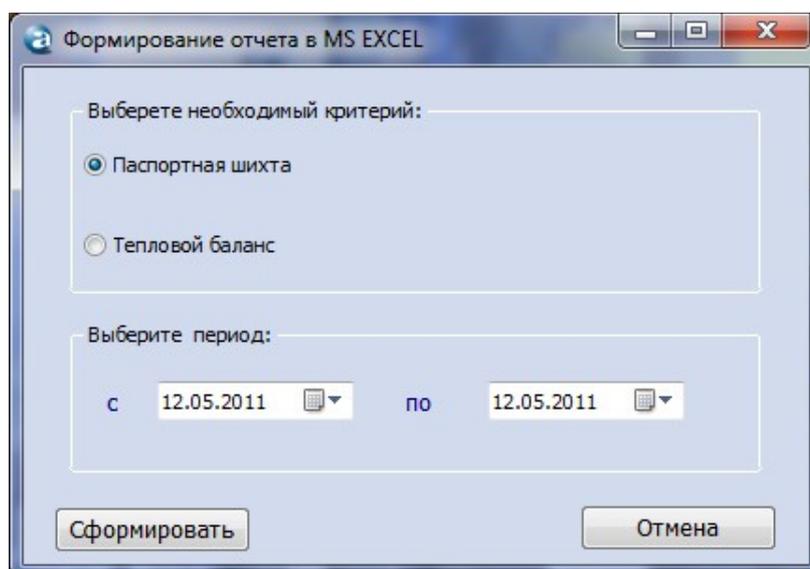


Рисунок 3.27 – Окно «Формирование отчёта в MS Excel»

3.4.7 Справка

Справка в ИС «Aluminum» создана в программе Dreamweaver по типу Web-страницы, рисунок 3.28. Имеет удобный интерфейс. Помимо руководства для пользователей в неё включены, разработанные специально для данной программы, лабораторные работы для студентов металлургических и теплоэнергетических специальностей.

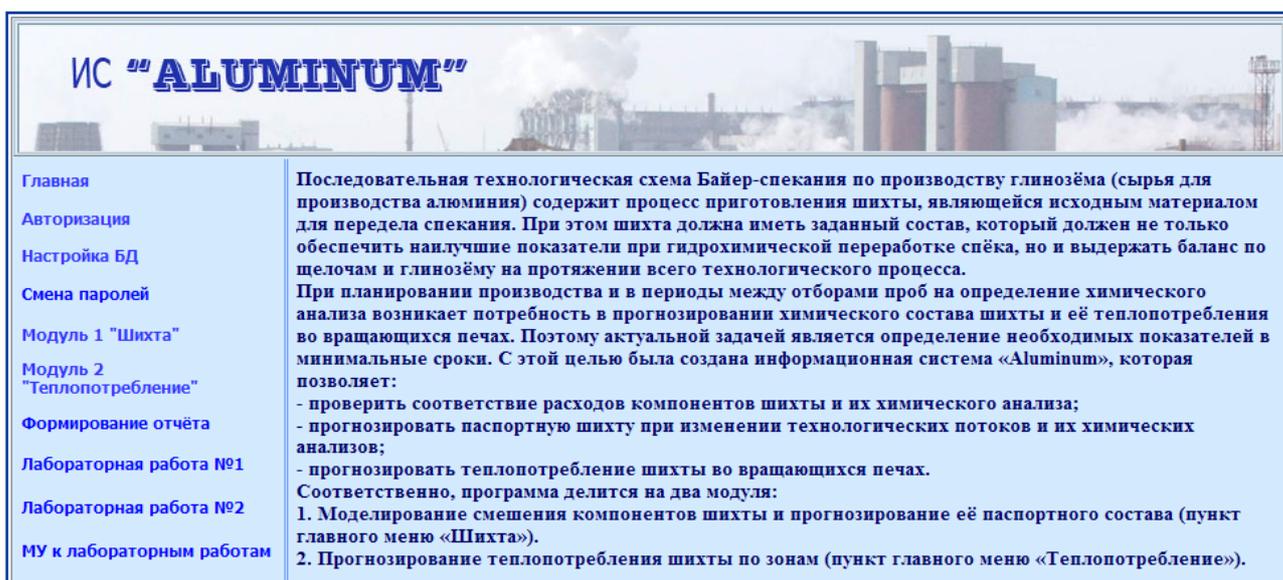


Рисунок 3.28 – Интерфейс справки

3.5 Апробация

Для внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс были разработаны методические указания к выполнению лабораторных работ для специальностей 5В070900 «Металлургия» и 5В071700 «Теплоэнергетика» Инновационного Евразийского университета.

Целью проведения лабораторных работ является углубленное изучение студентами методики приготовления глиноземсодержащих шихт и их спекания во вращающихся печах.

Лабораторная работа №1 «Прогнозирование химического состава паспортной шихты». Цель работы – формировать умение производить инженерные расчёты; прогнозировать химический состав паспортной шихты в модели смешения компонентов шихты; навыки работы в информационной системе автоматизированного инженерного расчёта.

Лабораторная работа №2 «Прогнозирование теплотребления шихты». Цель работы – формировать умение производить инженерные расчёты; прогнозировать теплотребление шихты по заданному паспортному составу; навыки работы в информационной системе автоматизированного инженерного расчёта.

Для оценки качества ИС «Aluminum» и разработанных методических указаний к лабораторным работам в Инновационном Евразийском университете была создана экспертная комиссия в составе:

1. Никифоров А.С., д. техн. наук, зав. кафедрой «Теплоэнергетика и металлургия»,
2. Жумагулов М.Г., ст. преподаватель,
3. Приходько Е.В., канд. техн. наук, доцент.

Были проведены занятия со студентами группы МТЛ-31 по предмету «Металлургическая теплотехника».

Экспертная комиссия постановила, что программа и методические указания должны быть внедрены в учебный процесс.

По результатам апробации был составлен акт внедрения результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс кафедры «Теплоэнергетика и металлургия» №149 от 11.05.2011 г.

Выводы

Для программной реализации алгоритмов моделей, изложенных в диссертации, в качестве среды программирования выбран Delphi, СУБД - MS Access. Создана информационная система «Aluminum». Программа состоит из двух модулей: «Шихта» и «Теплотребление». В первом модуле реализован алгоритм смешения компонентов и прогнозирования паспортной шихты, во втором - алгоритм расчёта компонентов спёка и теплотребления шихты по методике Самаряновой Л.Б. Результаты научно-исследовательской работы были внедрены в учебный процесс Инновационного Евразийского университета, о чём свидетельствует акт внедрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа современного состояния технологии спекания и исследования существующих моделей приготовления глиноземсодержащей шихты определено направление для усовершенствования данного процесса. На основе существующей блочной структуры алгоритма, которая в основном направлена на выдерживание щелочного и силикатного модулей, разработана и исследована модель приготовления глиноземсодержащей шихты, с учётом влагосодержания, прогнозирования её химического состава и теплопотребления в печах спекания.

Исследованы статические характеристики модели. Корреляционный анализ показал, что теплопотребление шихты имеет наиболее тесную зависимость:

- от содержания влаги в зонах сушки и подогрева;
- от химического состава в зонах кальцинации и спекания.

Это явилось основанием для построения регрессионных моделей для анализа и прогнозирования теплопотребления шихты по зонам вращающейся печи.

Для программной реализации алгоритмов моделей, изложенных в диссертации, в качестве среды программирования выбран Delphi, СУБД - MS Access. Создана информационная система «Aluminum», которая позволяет решить следующие задачи:

- проверка соответствия расходов компонентов шихты и их химического анализа;
- прогнозирование паспортной шихты при изменении технологических потоков и их химических анализов;
- прогнозирование теплопотребления шихты во вращающихся печах.

Программа состоит из двух модулей: «Шихта» и «Теплопотребление». В первом модуле реализован алгоритм смешения компонентов и прогнозирования паспортной шихты, во втором - алгоритм расчёта компонентов спёка и теплопотребления шихты по методике Самаряновой Л.Б.

Результаты научно-исследовательской работы были внедрены в учебный процесс Инновационного Евразийского университета, о чём свидетельствует акт внедрения. Были разработаны методические указания к выполнению лабораторных работ для специальностей 5В070900 «Металлургия» и 5В071700 «Теплоэнергетика» с целью углубленного изучения методики приготовления глиноземсодержащих шихт и их спекания во вращающихся печах и получения навыков работы в информационной системе автоматизированного инженерного расчёта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Каулин В.В. Анализ развития технологии спекания шламовых шихт при последовательном способе производства глинозема // Международная научно-практическая конференция «Повышение качества образования и научных исследований». – Экибастуз, 2007. – 749с.
2. Зайцева Н.М., Шварцкопф Е.А. Исследование статических характеристик модели приготовления шихты в глиноземном производстве // Наука и техника Казахстана, 2006, №1.
3. Технологическая инструкция по производству глинозема методом «Байер-спекание». – Павлодар, 2001.
4. Потапова Т.Б., Богданов А.В., Налепов А. В., Григорьев А.А., Ибраев Д.Ж., Токарчук В.К. Опыт создания АСУТП на предприятиях цветной металлургии Казахской ССР (на примере глиноземного производства). – Алма-Ата: Наука, 1988. – 120с.
5. Каулин В.В., Шварцкопф Е.А. Комплексное использование сырьевой базы Павлодарского алюминиевого завода // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы шестой международной конференции. Москва–Караганда, 17–21 сентября 2007 г.–М.: РУДН, 2007.–С. 331–333.
6. Ходоров Е. И. Шморгуненко Н.С. Техника спекания шихт глинозёмной промышленности. – М.: Металлургия, 1978. - 320с.
7. Зайцева Н.М., Шварцкопф Е.А. Разработка структуры математической модели стационарных процессов смешения компонентов шихты и спекания глиноземного производства // Вестник ПГУ, 2006, №1.
8. Симчера В.М. Методы многомерного анализа статистических данных: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2008. – 400 с.: ил.
9. Красс М.С., Чупрынов Б.П. Математические методы и модели для магистрантов экономики: Учебное пособие. – СПб: Питер, 2006. – 496 с., ил.
10. Савицкая Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: 2-е изд., перераб. и доп. Мн.: ИП «Экоперспектива», 1997. – 498 с.
11. Практикум по общей теории статистики: учебно-методическое пособие / кол. авторов; под ред. М.Г. Назарова. – М.: КНОРУС, 2008. – 184 с.
12. Корнелл П. Анализ данных в Excel/ Пер.с англ.. - М.: Эксмо, 2007. - 224 с.- (Просто как 2х2)
13. Колесникова И.И., Круглякова Г.В. Статистика: Учеб. пособие. - Мн.: Новое знание, 2006. - 208 с.
14. Самарянова Л.Б., Лайнер Ю.А. Технологические расчеты в производстве глинозема. – М.: Металлургия. 1987. – 129с.
15. Бобровский С.И. Delphi 7: Учебный курс. - СПб., М.: Питер, 2003. - 736 с.: ил.
16. Бёме А. MS Office для Windows 98./ Пер.с нем.. - М.: ИНФРА-М, 2004. - 272с.: ил.
17. Бекаревич Ю.Б., Пушкина Н.В. MS Access 2000 за 30 занятий. - СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2000. - 512с.: ил.