ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 6 — 2015

ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТА

Москва
Бюро НДТ
2015

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение VII
Предисловие X
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о производстве цемента в Российской Федерации 2
1.1 Количество предприятий, их географическое расположение 2
1.2 Сырьевая база для производства цемента 5
1.3 Топливо 11
1.4 Электроэнергия 11
1.5 Производство цемента по различным технологиям 12
1.6 Основные показатели цементных предприятий России 14
1.6.1 Вывод мощностей 23
1.6.2 Ввод мощностей 27
1.7 Основное технологическое оборудование цементных заводов России 28
1.8 Ассортимент 45
1.9 Анализ приоритетных проблем отрасли 46
Раздел 2. Основные технологические процессы, применяемые в настоящее время при производстве цемента в Российской Федерации 49
2.1 Основные способы производства цемента 50
2.1.1 Технологическая схема мокрого способа производства цемента 50
2.1.2 Технологическая схема полусухого способа производства 52
2.1.3 Технологическая схема комбинированного способа 53
2.1.4 Технологическая схема сухого способа производства цемента 53
2.1.5 Преимущества и недостатки способов производства 56
2.2 Сырьевые материалы — добыча, хранение и подготовка 59
2.2.1 Сырьевые материалы и их добыча 59
2.2.2 Характеристика сырьевых материалов 59
2.2.3 Влияние примесей в сырье на процессы обжига и качество клинкера 66
2.2.4 Транспортировка сырья с карьера 69
2.2.5 Первичное измельчение сырья 70
2.2.6 Усреднение и хранение сырьевых компонентов 73

2.3 Измельчение сырьевых материалов 75
2.3.1 Мокрый помол с получением сырьевого шлама 75
2.3.2 Помол сырья по сухому способу 75
2.4 Корректировка и усреднение сырьевой смеси 81
2.4.1 Корректировка и усреднение шлама при мокром способе 81
2.4.2 Корректировка и усреднение сырьевой смеси при сухом способе 85
2.5 Характеристика, подготовка и сжигание топлива 90
2.5.1 Характеристика топлива 90
2.5.2 Складирование и безопасное хранение угля 93
2.5.3 Подготовка твердого топлива 94
2.5.4 Система подачи газообразного топлива в печь 96
2.6 Горелочные устройства для вращающихся печей 98
2.7 Использование отходов 105
2.7.1 Общие аспекты 105
2.7.2 Использование отходов в качестве сырьевых материалов 107
2.7.3 Использование отходов в качестве топлива 113
2.8 Обжиг цементного клинкера 130
2.8.1 Печи мокрого способа производства 130
2.8.2 Печные системы с циклонным теплообменником 135
2.8.3 Печные системы с циклонным теплообменником и декарбонизатором 137
2.8.4 Футеровка вращающихся печей 139
2.9 Клинкерные холодильники 141
2.9.1 Рекуператорные (планетарные) и барабанные холодильники 141
2.9.2 Колосниковый клинкерный холодильник 141
2.10 Складирование клинкера и помол цемента 147
2.10.1 Складирование клинкера 147
2.10.2 Помол цемента 149
2.11 Сушилки 157
2.12 Хранение, отгрузка и упаковка цемента 161
Раздел 3. Текущие уровни эмиссии в окружающую среду 164
3.1 Материальный баланс процесса производства портландцемента 164
3.2 Экологические маркеры при производстве портландцемента 165

3.3 Удельный расход сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента 168
3.3.1 Использование промышленных отходов в качестве сырьевых материалов и минеральных добавок при производстве портландцемента 169
3.4 Удельный расход топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера 170
3.4.1 Влияние топливосодержащих отходов на удельный расход тепла при обжиге портландцементного клинкера 172
3.5 Удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента 174
3.6 Выбросы вредных веществ при производстве цемента 175
3.6.1 Выбросы пыли 175
3.6.2 Выбросы оксидов азота NO_x 179
3.6.3 Выбросы диоксида серы SO_2 183
3.6.4 Выбросы оксида углерода (CO) 186
3.6.5 Выбросы металлов и их соединений 188
3.6.6 Выбросы газообразных хлоридов и фторидов (HCl и HF) 191
3.7 Уровень шума, возникающий в процессе производства цемента 193
3.8 Выбросы в воду 194
3.9 Производственные отходы 195
Раздел 4. Наилучшие доступные технологии 195
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии при производстве цемента 196
5.1 Снижение удельных расходов сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента 197
НДТ 1 198
5.1.1 Использование отходов производства в качестве сырьевых материалов при производстве портландцементного клинкера и цемента 199
НДТ 2 200
5.2 Снижение удельного расхода топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера 200
НДТ 3 205
НДТ 4 207
5.2.1 Использование отходов в качестве альтернативного топлива 207
НДТ 5 209

5.3 Снижение удельного расхода энергии на производство 1 т портландцемента 210
5.3.1 Системы энергетического менеджмента 211
НДТ 6 214
НДТ 7 215
5.4 Снижение выбросов вредных веществ при производстве цемента 215
5.4.1 Снижение выбросов пыли 216
НДТ 8 220
НДТ 9 222
5.4.2 Снижение выбросов оксидов азота NO_x 222
НДТ 10 227
НДТ 11 228
5.4.3 Снижение выбросов диоксида серы SO_2 229
НДТ 12 231
5.4.4 Снижение выбросов CO 232
НДТ 13 233
5.5 Снижение уровня шума, возникающего в процессе производства цемента 234
НДТ 14 234
5.6 Системы экологического менеджмента 236
НДТ 15 238
5.7 Мониторинг 239
НДТ 16 239
Раздел 6. Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий при производстве цемента 240
6.1 Экономические аспекты наилучших доступных технологий при производстве цемента 240
6.1.1 Энергоэффективность производства 242
6.1.2 Повышение производительности труда 242
6.1.3 Снижение экологического ущерба 244
6.2 Экономические аспекты реализации НДТ при производстве цемента 245
6.2.1 Выбор способа производства 245
6.2.2 Рекуперация энергии из печи и холодильника / дополнительная генерация энергии 245
6.2.3 Оптимизация контроля технологического процесса 245

6.2.4 Использование отходов в качестве топлива 246
6.2.5 Снижение выбросов пыли 246
6.2.6 Снижение выбросов NO_x 250
6.2.7 Снижение выбросов SO_2 257
6.2.8 Внедрение систем менеджмента 261
Раздел 7. Перспективные технологии при производстве цемента 262
7.1 Технология получения высокоактивного смешанного двухклинкерного портландцемента 262
7.2 Технология применения метода химической регенерации тепла при производстве цемента 263
7.3 Технология эффективной утилизации тепла и очистки отходящих газов при мокром способе производства цемента 265
7.4 Технология использования отвальных электрометаллургических шлаков для производства цемента 267
Заключительные положения и рекомендации 269
Приложение А (обязательное) Коды ОКВЭД и ОКПД, соответствующие области применения настоящего справочника НДТ 276
Приложение Б (обязательное) Перечень маркерных веществ 278
Приложение В (обязательное) Перечень НДТ 279
Приложение Г (обязательное) Перечень технологических показателей 284
Приложение Д (обязательное) Энергоэффективность 285
Библиография 288

Введение

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее — справочник НДТ) «Производство цемента» разработан на основании анализа распространенных в Российской Федерации и перспективных технологий, оборудования, сырья, других ресурсов с учетом климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации.

В соответствии с положениями Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1] объекты, оказывающие воздействие на окружающую среду, подразделяются на четыре категории. Производство цемента включено в I категорию и отнесено к областям применения наилучших доступных технологий (НДТ). Профильные предприятия рассматриваются как объекты, деятельность которых оказывает значительное негативное воздействие на окружающую среду и которые обязаны получать комплексные экологические разрешения на осуществление своей деятельности. Общая цель комплексного подхода к экологическому нормированию хозяйственной деятельности заключается в совершенствовании регулирования и контроля производственных процессов с целью обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды. Хозяйствующие субъекты должны принимать все необходимые предупредительные меры, направленные на предотвращение загрязнения окружающей среды и рациональное использование ресурсов, в частности посредством внедрения НДТ, которые дают возможность обеспечить выполнение экологических требований.

Термин «наилучшие доступные технологии» определен в статье 1 Федерального закона № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1], согласно которому НДТ — это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения.

Структура настоящего справочника НДТ соответствует ПНСТ 21—2014 [2], формат описания технологий — ПНСТ 23—2014 [3], термины приведены в соответствии с ПНСТ 22—2014 [4].

Краткое содержание справочника

Введение. Представлено краткое содержание справочника НДТ.

Предисловие. Указана цель разработки справочника НДТ, его статус, законодательный контекст, краткое описание процедуры создания в соответствии с установленным порядком, а также взаимосвязь с аналогичными международными документами.

Область применения. Описаны основные виды деятельности, на которые распространяется действие справочника НДТ.

В **разделе 1** представлена информация о состоянии и уровне развития в Российской Федерации производства цемента:

- сведения об отрасли, включая используемые сырье, топливо и др., в соответствии с Федеральным законом [1] (статья 28, пункт 6);

- сведения о количестве предприятий, их географическом расположении, сроках ввода в эксплуатацию, производительности, экономических показателях и применяемых технологических процессах;

- анализ приоритетных проблем отрасли.

В **разделе 2** представлены сведения о технологических процессах, применяемых при основных свойствах производства цемента, а также вспомогательных производственных процессах.

В **разделе 3** приводится информация о регламентируемых и фактических уровнях эмиссий в окружающую среду для применяемых технологических процессов, сырья, топлива, вторичных сырьевых и энергетических ресурсов с указанием применяемых методов определения.

Раздел подготовлен на основе данных, представленных предприятиями Российской Федерации в рамках разработки справочника НДТ, а также различных литературных источников.

В **разделе 4** описаны подходы к определению НДТ, примененные при разработке настоящего справочника НДТ.

В **разделе 5** приведены идентифицированный в результате бенчмаркинга отрасли перечень НДТ при производстве цемента и их характеристики, в том числе перечень основного технологического оборудования, позволяющих сократить эмиссии в окружающую среду, обеспечить рациональное потребление сырья, воды, энергии и снизить образование отходов.

В **разделе 6** приведены доступные сведения об экономических аспектах реализации НДТ на цементных предприятиях Российской Федерации.

В **разделе 7** приведен перечень перспективных технологий и технологий, находящихся на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, позволяющих повысить эффективность производ-

ства и сократить эмиссии в окружающую среду, с указанием сроков, в течение которых перспективные технологии могут стать экономически и технически доступными.

Заключительные положения и рекомендации. Приведены сведения о членах технической рабочей группы, принимавших участие в разработке справочника НДТ. Рекомендации предприятиям по дальнейшим исследованиям экологических аспектов их деятельности.

Библиография. Приведен перечень источников информации, использованных при разработке справочника НДТ.

Предисловие

Федеральный закон № 219-ФЗ [5] совершенствует систему нормирования в области охраны окружающей среды и вводит в российское правовое поле меры экономического стимулирования хозяйствующих субъектов для внедрения наилучших технологий. Однако в данном законе не определена юридическая форма справочников НДТ.

Федеральный закон № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [6] содержит положения, закрепляющие статус информационно-технических справочников как документов национальной системы стандартизации.

Цели, основные принципы и порядок разработки справочника НДТ установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [7].

1 Статус документа

Справочник НДТ «Производство цемента» является документом по стандартизации, разработанным в результате анализа технологических, технических и управленческих решений для цементной промышленности и содержащим описание применяемых в настоящее время и перспективных технологических процессов, технических способов, методов предотвращения и сокращения негативного воздействия на окружающую среду, из числа которых выделены решения, признанные НДТ для производства цемента, включая соответствующие параметры экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности, а также экономические показатели.

2 Информация о разработчиках

Справочник НДТ разработан технической рабочей группой № 6 «Производство цемента» (ТРГ 6), состав которой был утвержден приказом Росстандарта от от 17 июля 2015 г. № 831 «О технической рабочей группе «Производство цемента».

Перечень организаций и их представителей, принимавших участие в разработке справочника НДТ, приведен в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

Справочник представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее — Бюро НДТ) (gost.e-ecolog.ru

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых при производстве цемента технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, потребление

воды и сырья, повысить энергоэффективность. Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены решения, являющиеся НДТ. Для НДТ в справочнике НДТ установлены соответствующие технологические показатели НДТ.

Справочник НДТ рекомендован предприятиям цементной промышленности для подготовки программ внедрения НДТ, регулирующим органам — для оценки соответствия предприятий экологическим требованиям и государственным органам — для принятия решения о государственном софинансировании инвестиционных проектов (проектов модернизации).

Применение НДТ направлено на совершенствование существующего правового регулирования в области охраны окружающей среды (ОС), через механизм использования НДТ, а также предусматривает усиление контроля за крупнейшими загрязнителями ОС, одновременно снимая излишние административные барьеры в отношении тех предприятий, которые воздействуют на ОС в меньшей степени.

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 398-р [8] утвержден комплекс мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы НДТ и внедрение современных технологий.

Переход на принципы НДТ — это изменение в системе государственного регулирования в природоохранной сфере и промышленной политике. Развитие промышленности и обеспечение надежного уровня защиты ОС рассматриваются как единая цель.

Последовательность перехода на НДТ предприятий будет выглядеть следующим образом:

1) оценка производственной деятельности предприятия и подготовка плана модернизации;

2) согласование плана модернизации и установление временно согласованных выбросов (ВСВ);

3) реализация плана модернизации и поэтапное внедрение НДТ.

Таким образом, одним из наиболее важных следствий применения механизма НДТ, помимо общего снижения уровня загрязнения, будет являться ускоренное технологическое развитие. Предприятия, вынужденные принимать дополнительные меры по снижению негативного воздействия на ОС при условии сохранения себестоимости на конкурентном уровне, будут вынуждены уделять особое внимание развитию технологий, повышению их эффективности, оптимизации всех возможных затрат. Внедрение механизма НДТ позволит также уйти от установления единых для всех предприятий

жестких норм, что невозможно с учетом разнообразия предприятий, применяемого сырья, процессов производства и т. д.

Используя справочник НДТ, промышленные предприятия смогут, не дожидаясь 2019 года — начала выдачи комплексных экологических разрешений, — оценить, насколько параметры выбросов и сбросов предприятия соответствуют технологическим параметрам НДТ.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник НДТ «Производство цемента» разработан в соответствии с Федеральным законом [1] (статья 28.1, пункт 7) на основе результатов анализа отрасли в Российской Федерации и с учетом материалов справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Производство цемента, извести и оксида магния» (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide) [9], [10].

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при производстве цемента в Российской Федерации, была собрана в соответствии с Порядком сбора данных, необходимых для разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям и анализа приоритетных проблем отрасли, утвержденным приказом Росстандарта от 23 июля 2015 г. № 863.

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства от 31 октября 2014 г. № 2178-р [11], отражена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 15 декабря 2015 г. № 1576.

Справочник НДТ введен в действие с 1 июля 2016 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.e-ecolog.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТА

Manufacture of cement

Дата введения — 2016-07-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на следующий основной вид деятельности:

— производство цементного клинкера во вращающихся печах с проектной мощностью 500 т/сут и более.

В приложении А приведены соответствующие области применения коды ОКВЭД и ОКПД.

Справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными производственными переделами цементного производства, которые могут оказать влияние на объемы эмиссий или масштабы загрязнения окружающей среды:

- хранение и подготовка сырья;
- хранение и подготовка топлива;
- использование отходов в качестве сырья и (или) топлива — требования к качеству, контроль и подготовка;
- производственные процессы;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- хранение, упаковка и отгрузка продукции.

Справочник НДТ не распространяется на:

- некоторые процессы производства, такие как добыча сырья в карьере;
- вопросы, касающиеся исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Вопросы охраны труда рассматриваются частично и только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включенные в область применения настоящего справочника НДТ.

Дополнительные виды деятельности при производстве цемента и соответствующие им справочники НДТ (по распоряжению Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р [11]) приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Дополнительные виды деятельности при производстве цемента

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Очистка сточных вод	Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях
Очистка отходящих газов	Очистка выбросов вредных загрязняющих) веществ в атмосферный воздух при производстве продукции (товаров), а также при проведении работ и оказании услуг на крупных предприятиях
Складирование и хранение сырья и продукции	Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)
Обращение с энергией	Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности

Раздел 1. Общая информация о производстве цемента в Российской Федерации

1.1 Количество предприятий, их географическое расположение

В цементной промышленности России по состоянию на 1 января 2015 г. функционировало 63 цементных предприятия, в том числе 57 заводов полного цикла производства и 6 помольных установок. Общая мощность цементных предприятий полного

цикла по состоянию на 1 января 2015 г. составляет 101,3 млн т [1]. Производство цемента в 2014 году составило 68,8 млн т [2]. Коэффициент использования мощности — 68 %.

Размещение и концентрация цементных предприятий представлены на рисунке 1.1. В европейской части России сосредоточено 73,5 % от общего объема производства и 75 % от объема потребления цемента.



Рисунок 1.1 — Размещение цементных предприятий Российской Федерации [12]

Неравномерность размещения заводов обусловлена наличием сырьевых ресурсов и неравномерностью концентрации производительных сил по территории Российской Федерации.

---

[1] 100,8 млн т — данные Росстата (Сводный баланс производственной мощности за 2014 г.) + 0,5 млн тонн (АО «Бахчисарайский комбинат Стройиндустрия») (по данным СМПРО).

[2] 68,4 млн т — данные Росстата, +0,4 млн т (АО «Бахчисарайский комбинат Стройиндустрия») (по данным СМПРО).

В результате сложившейся структуры расположения предприятий и их мощностей удовлетворение спроса на цемент в отдельных регионах обеспечивается за счет межрегиональных поставок цемента и его импорта (см. таблицу 1.1).

Таблица 1.1 — Баланс производства и потребления цемента в 2014 году, тыс. т

Регион	Производство	Импорт	Экспорт	Потребление	Баланс (+/−)
Всего по Российской Федерации, в том числе:	68 424	4799	1752	71 470	−3046
Европейская часть Российской Федерации	50 564	4169	1460	53 606	−3042
ЦФО	17 731	1207	539	22 632	−4900
СЗФО	4496	1668	4	6691	−2195
ПФО	16 381		657	12 597	3783
ЮФО	9560	975	182	8003	1557
СКФО	2396	319	78	3683	−1287
Азиатская часть Российской Федерации	17 860	630	292	17 864	−4
УФО	6767	0	96	7142	−375
СФО	8729	246	195	8103	626
ДВФО	2364	384	1	2618	−254

В разрезе федеральных округов наибольшие объемы ввоза цемента осуществляются в Центральный и Северо-Западный федеральные округа: доля ввозимого отечественного и импортного цемента достигла 4900 и 2195 тыс. т соответственно. Дисбаланс (потребление больше производства) в Северо-Западном федеральном округе носит временный характер. С учетом импортных поставок ситуация для потребителей цемента достаточно благополучная и комфортная. Принимая во внимание ввод в эксплуатацию новых цементных мощностей, можно прогнозировать сбалансированный рынок в долгосрочной перспективе.

Ситуация с дефицитом цемента в Центральном федеральном округе более критична, так как она во многом связана с инфраструктурными ограничениями РЖД и отсутствием достаточного количества подвижного состава в строительный сезон для масштабных цементных интервенций из других федеральных округов, прежде всего Приволжского, в котором наблюдается перепроизводство цемента [13].

Надо полагать, что нарушение баланса в Северо-Кавказском и Дальневосточном федеральных округах (1287 и 254 тыс. т соответственно) — временное явление, поскольку на территории Северо-Кавказского федерального округа в 2015 году намечается ввод мощностей на ГУП «Чеченцемент» (600 тыс. т), а на территории Южного федерального округа в 2015–2016 годах — производство около 5 млн т цемента в год, что обеспечит полное удовлетворение потребности в цементе для этого региона. В то же время производственные мощности Дальневосточного федерального округа в настоящее время имеют более чем двукратный запас, а ввоз цемента из-за рубежа (в 2014 году — около 11 %) вызван конъюнктурными причинами.

Наибольший объем вывоза цемента из своего региона в 2014 году имеют предприятия Приволжского федерального округа (3783 тыс. т), где за последние два года введены в эксплуатацию новые высокоэффективные линии общей мощностью 5,5 млн т (ПАО «Мордовцемент», ООО «Азия Цемент» и ООО «Сенгилеевский цементный завод»).

1.2 Сырьевая база для производства цемента

По цементному сырью по состоянию на 1 января 2015 г. учитываются 208 месторождений. Суммарные балансовые запасы цементного сырья в целом по Российской Федерации по категориям A + B + C1 и категории C2 составляют 16 922 млн т и 10 490 млн т соответственно; забалансовые запасы составляют 256 млн т [14].

Сырьевая база для производства цемента представлена месторождениями карбонатных пород (известняки, мел, мергели, мрамор), глинистых пород (глины, суглинки, глинистые сланцы) и гидравлических добавок (опоки, диатомиты, трепелы).

По территории Российской Федерации запасы цементного сырья распространены неравномерно (см. таблицу 1.2). В европейской части страны сосредоточены 66 % общероссийских промышленных запасов маломагнезиального карбонатного сырья, определяющих в основном размещение и мощность цементных заводов. Так же неравномерно размещены разведанные балансовые запасы глинистых пород и гидравлических добавок. Больше всего карбонатных пород для производства цемента разведано в

ЦФО — 26,3 % от общероссийских, достаточно много их в ЮФО (27,5 %), СФО (14,8 %), ДФО (11,4 %) и ПФО (11,4 %), в меньшем количестве запасы такого сырья разведаны в УФО (4,8 %) и СЗФО (3,8 %).

В целом по России около половины разведанных запасов цементного сырья относится к нераспределенному фонду, а в Дальневосточном округе они составляют 73 % от разведанных. Большинство из них разведаны 40–50 лет назад, современное состояние месторождений нередко неизвестно, но среди них можно выделить объекты, перспективные для геологического изучения и освоения. На территории Российской Федерации имеются хорошие перспективы развития минерально-сырьевой базы цементного производства [15].

Таблица 1.2 — Запасы цементного сырья в Российской Федерации, млн т

Федеральный округ, субъект Федерации	Количество месторождений	Балансовые запасы на 1 января 2015 г.	
		A + B + C1	C2
ЦФО	37	4652	2113
СЗФО	13	671	585
ПФО	40	2099	1241
ЮФО (в том числе СКФО)	25	4114	2362
УФО	15	851	863
СФО	43	2507	2111
ДВФО	35	2027	1216
Всего по Российской Федерации	208	16 922	10 490

Наиболее весомое значение среди сырьевых компонентов (см. рисунок 1.2) в производстве цемента занимает карбонатное сырье, и именно его запасы преимущественно определяют выбор как технологии, так и промышленной площадки и месторождения.

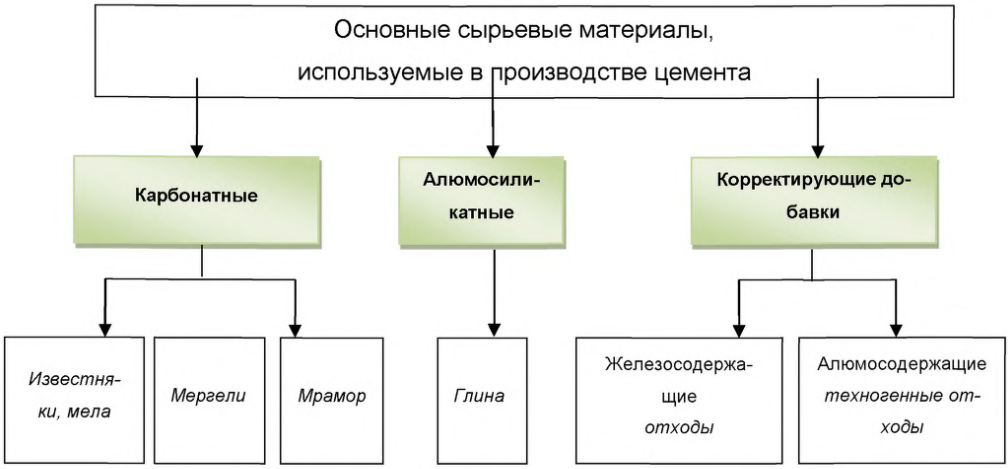


Рисунок 1.2 — Основные сырьевые материалы [16]

В соответствии с техническими условиями на качество основных видов сырьевых материалов для производства цемента предъявляются следующие требования к химическому составу (см. таблицу 1.3).

Таблица 1.3 — Допускаемые значения содержания оксидов в составе сырьевых компонентов

Показатели	Значение, %
Содержание CaO в карбонатном компоненте: - в известняках и мелах - в мергелях	 Не менее 45 40–45
Количество примесей вредных оксидов в карбонатном компоненте не должно превышать: - MgO - SO_3 - $K_2O + Na_2O$ - P_2O_5 - Cl	 4 1,3 0,4 0,4 0,1

Показатели	Значение, %
Количество вредных примесей в глинистом компоненте не должно превышать:	
- MgO	6
- SO_3	5
- $K_2O + Na_2O$	4
- TiO_2	2
- P_2O_5	0,6

Для сухого способа производства большое значение имеет наличие хлор-иона в сырьевых материалах и в конечном счете в сырьевой муке. Превышение примеси хлора в муке более 0,1 % ведет к образованию настылей, остановке печного агрегата и трудоемким работам по очистке пылегазового тракта.

Физико-химические свойства карбонатных пород не регламентируются, но малопрочные породы (10–20 МПа) предпочтительнее. В последние годы зарубежные цементные компании при разработке технологии и строительстве цементных заводов, работающих на меле, столкнулись с серьезной проблемой: в условиях аэрации частицы сырьевой муки быстро агрегируются, в результате чего текучесть и усреднение материала практически прекращаются. В связи с этим при оценке пригодности мелового сырья для производства цемента необходимо проводить его тестирование на изменение текучести в процессе аэрирования.

Для алюмсиликатных пород большую роль играет их гранулометрический состав. Пригодными по гранулометрическому составу считаются породы, в которых количество крупных фракций (кварцевый песок, полевой шпат, слюда, карбонатные породы) составляет:

- частиц крупнее 0,2 мм — не более 10 %;
- частиц крупнее 0,08 мм — не более 20 %.

При наличии доли крупных частиц в глине с превышением заданных значений вопрос об их пригодности должен решаться с участием представителей специализированных организаций [16].

Основные компоненты и техногенные отходы, заменяющие природные ресурсы, а также их доля в сырьевой шихте приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 — Основные сырьевые компоненты в производстве клинкера [15]

Карбонатный компонент (доля в шихте, %)	Глинистый компонент (доля в шихте, %)	Железосодержащий компонент (доля в шихте, %)
Природные сырьевые материалы		
Известняки (70–80)	Глина (15–25)	Железная руда (3–5)
Мел (70–80)	Глинистые сланцы (15–20)	Гематит (3–5)
Мергели (90–95)	Суглинки (16–25)	
Мрамор (70–80)	Лесс	
	Бокситы	
	Каолин	
	Песок	
	Плавиковый шпат	
	Кварцит	
Отходы, заменяющие сырьевые компоненты		
Шлаки доменные - до 20)	Шлаки доменные - до 80)	Огарки (до 100)
Шлаки цветной металлургии (до 5)	Шлаки цветной металлургии (до 50)	Железорудный концентрат (100)
Золошлаковые отходы (до 30)	Золошлаковые отходы (до 70)	Хвосты железосодержащие (100)
Нефелиновый шлам (до 80)	Нефелиновый шлам (до 80)	Шламы и пыли черной металлургии (до 100)
Отсевы щебеночного производства и производства извести (до 100)		

В последние годы в цементной промышленности все более широкое распространение находит использование отходов смежных отраслей промышленности вместо природного сырья — карбонатного и глинистого/алюмосиликатного компонентов. В зарубежной практике эксплуатируется ряд цементных предприятий, производящих цемент из техногенных отходов. В России в 1980-е годы доля отходов в производстве цемента достигла 26 %, т. е. из 137 млн т сырьевых материалов, потраченных на выпуск 83 млн т цемента, 36 млн т было заменено отходами [17], [18]. В настоящее время этот показатель по разным причинам снизился до 15 % — 17 %.

Полученный в процессе обжига сырьевой шихты клинкер в себестоимости цемента составляет 75 % — 80 %. В целях снижения затрат на производство цемента при

измельчении клинкера вводятся активные минеральные добавки как природного происхождения, так и из отходов смежных производств.

В таблице 1.5 представлены основные добавки в цемент природного и техногенного происхождения. Добавки вводятся для снижения расхода клинкера в производстве цемента и придания ему специальных строительно-технических свойств [15].

Таблица 1.5 — Добавки в цемент

Наименование добавки в цемент	Содержание, %
Гипс, ангидрит	5
Опока	До 35
Трепел	До 35
Техногенные добавки	
Шлак доменный гранулированный при совместном помоле с клинкером, или раздельном помоле и смешением с бездобавочным цементом	До 80
То же, шлаки цветной металлургии	До 5
Золошлаковые отходы	До 35
Фосфогипс (заменитель природного гипса)	До 5
Отходы сталелитейной промышленности	До 20

Обязательной добавкой в цемент является гипсовый камень ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), реже — ангидрит ($CaSO_4$), которые являются регуляторами сроков схватывания цемента. Количество вводимого гипса при помоле клинкера составляет, как правило, не более 5 % к общей массе шихты или около 3 % гипсосодержащих минералов в пересчете на SO_3.

В качестве природных добавок в цемент на отечественных цементных заводах используются опока, трепел, вулканические туфы, цеолиты и другие добавки. Объем ввода добавок определяется технологическим регламентом и востребованностью цемента с добавками на рынке.

Наиболее распространенными добавками в цемент являются гранулированные доменные шлаки — отходы металлургического производства, шлаки — отходы цветной металлургии и химических производств, горелые земли, золошлаковые отходы и др. Указанные отходы являются заменителями клинкера, и их доля в цементе может достигать 80 %.

1.3 Топливо

В цементной промышленности Российской Федерации при производстве клинкера и цемента используются такие виды топлива, как природный газ, уголь и горючие сланцы. Основной вид топлива — природный газ — используется на 44 цементных заводах, уголь — на 12 и сланцы — только на заводе ОАО «Цесла» [19]. До 2005 года некоторые предприятия использовали мазут, но в дальнейшем в связи с ростом цен было принято решение перейти на другие виды топлива. Доля применения альтернативных видов топлива крайне незначительна.

Доля отдельных видов топлива, используемого при выпуске клинкера, представлена на рисунке 1.3.

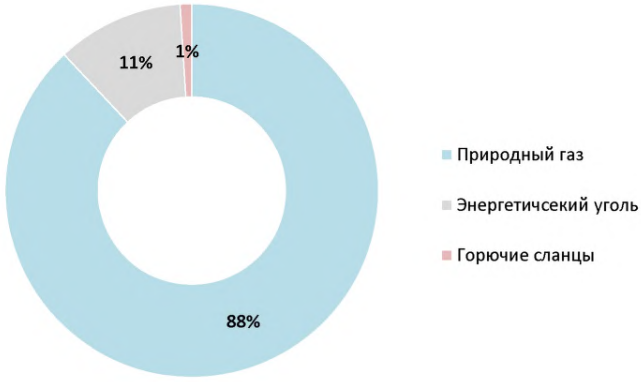


Рисунок 1.3 — Структура производства цемента по видам используемого топлива

Средний годовой удельный расход топлива по цементной промышленности Российской Федерации за 2014 год составляет 161,4 кг у. т./т клинкера, в том числе на печах мокрого способа — 189,2 кг у. т./т, на печах сухого способа — 115,3 кг у. т./т клинкера.

1.4 Электроэнергия

Средний удельный расход электроэнергии по цементной промышленности Российской Федерации за 2014 год составил 124,3 кВт·ч/т, в том числе на печах мокрого способа — 121,9 кВт·ч/т, на печах сухого способа — 129,6 кВт·ч/т.

В решении вопросов топливо- и электроснабжения современные технические решения позволяют исключить строительство инфраструктуры, передающей электроэнергию, и линий электропередач путем строительства собственной электрогенерирующей установки, работающей на природном газе. На практике затраты на строительство транспортных, топливных, электрических и других коммуникаций (вода, связь, канализация и пр.) составляют 10 % — 20 % от сметной стоимости проекта.

1.5 Производство цемента по различным технологиям

В последние четыре года (до 2015-го) прирост производства цемента осуществлялся преимущественно за счет новых технологических линий. В таблице 1.6 представлена динамика выпуска цемента в зависимости от способа его производства [20], [21]. Следует отметить достаточно высокие темпы освоения мощностей новых предприятий — ПАО «Мордовцемент», ОАО «Себряковцемент», ОАО «Верхнебаканский цементный завод» и др.

Таблица 1.6 — Динамика производства цемента по способам производства (тыс. т) [1)] [21]

Заводы	Мощность, тыс. т на 01.01.2015	2011		2012		2013		2014	
		Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %
Всего, Россия	100 804	55 936		61 513		66 419		68 424	68
Всего, мокрый способ	58 867	44 383		45 850		46 917		42 149	72
Всего, сухой способ	40 259	10 437		14 438		18 098		24 974	62
Ввод в эксплуатацию до 1989 года									
ЗАО «Липецкцемент»	1600	1306	82	1136	71	1398	87	1093	68
ОАО «Новоросцемент» (ц/з «Первомайский»)	600	591	99	469	78	290	48	—	—
ООО «Атакайцемент»	300	300	100	290	97	284	95	265	88
ООО «Производственная компания Кузнецкий цементный завод»	934	359	38	180	19	79	8	124	13

[1)] С 1989 по 2008 год ввод новых мощностей не осуществлялся, за исключением линии мокрого способа производства на предприятии ОАО «ЦЕМЕНТ» (Алтайский край) — 0,3 млн т.

Заводы	Мощность, тыс. т на 01.01.2015	2011		2012		2013		2014	
		Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %
ЗАО «Невьянский цементник»	1150	1112	97	1112	97	1034	90	1060	92
ЗАО «Катавский цемент»	1616	960	82	1133	97	1155	98	897	56
ОАО «Цесла»	1196	699	58	843	70	727	61	628	53
ОАО «Спассккцемент»	3127	1416	45	1397	45	1403	45	1458	47
ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод»	66	8	12	8	13	8	12	9	14
Итого	10 146	6751		6568		6377	63	5534	55
Ввод в эксплуатацию после 2008 года									
Филиал ООО ХайдельбергЦемент Рус в п. Новогуровский	2000	34	2	1183	59	1576	79	1652	83
ООО «Серебрянский цементный завод»	1606,5	0	0	0	0	547	35	1011	65
ОАО «Новоросцемент» (ц/з «Первомайский»)	2200		0		0		0	668	30
Воронежский филиал АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»	3000		0		0	341	11	1367	46
ОБП ОАО «Лафарж Цемент» (п. Ферзиково)	1800	0	0	0	0	0	0	543	30
ПАО «Мордовцемент»	2400	330	14	438	18	888	37	2397	100
ООО «ЮУГПК» (с 2013 года 2 линии)	2360	633	54 *	875	74 *	1325	56	1886	80
ЗАО «ХайдельбергЦемент Волга»	1200	—	—	—	—	—	—	232	19
ООО «Азия Цемент»	1800	0	0	0	0	29	2	1327	74
ООО «Петербургцемент» (г. Сланцы)	1860	108	6	1220	66	1327	71	1524	82
ЗАО «Строительные материалы»	1300	1030	79	1060	82	1035	80	949	73
ОАО «Сухоложскцемент»	1300	550	42	870	67	961	74	791	61
ОАО «Верхнебаканский цементный завод»	2300	258	11	1002	44	1824	79	2058	89
ОАО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна)	2100	732	35	1166	56	1806	86	1863	89
ОАО «Себряковцемент»	1100		0		0		0	1050	95
ООО «Сенгилеевский цементный завод»	1200		0		0		0	6	1

Заводы	Мощность, тыс. т на 01.01.2015	2011		2012		2013		2014	
		Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %	Производство	Коэффициент использования, %
ЗАО «Углегорск-цемент»	200	11	5	56	28	61	31	116	58
Итого	29 670	3686		7869		11 720		19 439	79 [1)]
Линии комбинированного способа производства									
ОАО «Себряковцемент»	780	650	83	660	85	713	91	750	96
ПАО «Мордовцемент»	898	490	55	566	63	692	77	552	61
Итого	1678	1140		1226		1405		1302	
Всего по энергосберегающим технологиям * [2)]	41 194	11 741		15 851		19 691		26 275	
Доля энергосберегающих технологии в общем производстве, %		21 %		26 %		30 %		38 %	
* Относительно мощности 1 линии (1180 тыс. т).									

1.6 Основные показатели цементных предприятий России

Одним из важнейших показателей работы предприятий цементной промышленности является удельный расход энергоресурсов на производство клинкера и цемента. В составе себестоимости цемента в зависимости от способа его производства и технической оснащенности доля затрат на топливо и электроэнергию составляет 28 % — 45 %. При выборе способа производства цемента особое внимание уделяется показателям затрат расхода энергоресурсов при выпуске цемента.

В таблице 1.7 приведены данные по мощности предприятий, производству, коэффициенту использования календарного времени работы, оборудования и удельного расхода топлива на выпуск одной тонны клинкера, электроэнергии — на производство одной тонны цемента.

[1)] Для заводов, введенных в эксплуатацию в 2014 году, принята не проектная, а среднегодовая мощность.

[2)] К энергосберегающим технологиям производства отнесены объемы выпуска цемента по сухому, полусухому и комбинированному способам.

Для оценки эффективности работы цементных предприятий представлены показатели энергозатрат, которые включают в себя сумму средних удельных расходов топлива на 1 т клинкера, электроэнергии на 1 т цемента. При этом электроэнергия переведена в затраты топлива, необходимого для производства из расчета 0,334 г у. т. на 1 кВт·ч [22].

Таблица 1.7 — Показатели работы предприятий цементной промышленности Российской Федерации по состоянию на 1 января 2015 г.

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
Dyckerhoff	**6384,4**	**4104,7**	**64**				
ОАО «Сухоложскцемент»	4084,4	3224,7	79		168	119	208,1
в том числе	1300			Сухой	107	125	149,0
	2784,4			Мокрый	197	127	239,0
ОАО «Уралцемент»	2300	880	38	Мокрый	180	122	220,7
Heidelberg Cement	**4968,9**	**3712,2**	**75**	**Мокрый, сухой**			
ЗАО «Строительные материалы»	1972,8	1432	73		131	110	167,7
в том числе:	1300	948	73	Сухой	103,4	117,2	142,5
	672,8	484	72	Мокрый	185	96	217,1
Филиал ООО ХайдельбергЦемент Рус в п. Новогуровский	1800	1652,2	92	Сухой	109	123	150,1
ОАО «Цесла»	1196,1	628	53	Сухой	163	127,5	205,6
Holcim	**4945,6**	**3743**	**76**				

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
ООО «Холсим (Рус)» (г. Вольск)	2898	1880,2	65	Мокрый	214,5	113	252,2
ОАО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна)	2180	1862,8	85	Мокрый, сухой	137	126,5	179,3
в том числе:	2100	1810	86	Сухой	130	147	179,1
	80	52,8	66	Мокрый	380	126	422,1
Lafarge	**3708,5**	**1704,4**	**46**				
Филиал ОАО «Лафарж цемент» (г. Воскресенск)	1908,5	1161,2	61	Мокрый	222	117,5	261,2
Лафарж-Калуга	1800	543,2	пусконаладка	Сухой			
United Cement Group	**1756**	**723,1**	**41**				
ООО «Производственная компания Кузнецкий цементный завод»	840,5	124,1	15	Сухой	160	150	210,1
ОАО «Новотроицкий цементный завод»	822	599	73	Мокрый	237	101	270,7
БазэлЦемент	**3585**	**1917,7**	**53**				

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
Ачинский ЦЗ	1400	907	65	Мокрый	161,1	117	200,2
ООО «Серебрянский цементный завод»	1606,5	1010,7	56	Сухой	126	114	168,2
Востокцемент	**4284**	**2158,2**	**50**				**0,0**
ОАО «Спасскцемент»	3127	1458	47	Сухой	128	183	189,1
ОАО «Теплоозерский цементный завод»	788	412,2	52	Мокрый	222,5	169	278,9
ОАО ПО «Якутцемент»	369	288	78	Мокрый	227	134	271,8
Горнозаводскцемент	**2194**	**1578**	**72**	**Мокрый**			
ОАО «Горнозаводскцемент»	2194	1578	72	Мокрый	194	112	231,4
АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»	**38398,7**	**26141,3**	**68**				
ЗАО «Белгородский цемент»	3771,2	1601,4	42	Мокрый	212	88	242,4
ЗАО «Жигулевские стройматериалы»	1831,7	856,5	42	Мокрый	227,3	117	266,4
ЗАО «Кавказцемент»	2823,8	1968,8	70	Мокрый	197,6	98	230,3
ЗАО «Катавский цемент»	1616	896,6	55	Сухой	129	134	173,8
ЗАО «Липецкцемент»	2089,4	1093	52	Сухой, п/сухой	131,3	139,5	217,8

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
ЗАО «Мальцовский портландцемент»	4253,9	3183	75	Мокрый	208,2	105	243,3
ЗАО «Михайловцемент»	1910,2	1503,4	79	Мокрый	222,7	113	260,4
ПАО «Мордовцемент»	6810,5	4864	71		163	105	197,8
в том числе:	2350,5	1869,5	80	Сухой	103,6	108	139,6
	900	692	77	Комбинир.	136	99	169,1
	3660	2302,5	63	Мокрый	218,7	99	251,8
ЗАО «Невьянский цементник»	1184,4	1060,4	90	Сухой	153	140	199,8
ЗАО «Осколцемент»	3700	2699,4	73	Мокрый	203,3	100	236,7
ЗАО «Пикалевский цемент»	2366,9	1566	66	Мокрый	165,5	115	203,9
Воронежский филиал	2157	1366,9	63	Сухой	122	135	167,1
ООО «Савинский цементный завод»	1180,9	241	20	Мокрый	226	110	262,7
ООО «Сенгилеевский цементный завод»	1200	33,2	пусконаладка	Сухой			
ЗАО «Ульяновскцемент»	2467,4	1683,7	68	Мокрый	216,1	105	251,2
ПетербургООО «Петербургцемент» (г. Сланцы)	1860	1524	82	Сухой	67	103	101,4

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
Искитимцемент	**2100**	**1741,3**	**83**	**Мокрый**			
ОАО «Искитимцемент»	2100	1741,3	83	Мокрый	196,3	122	237,0
Газметаллпроект	**7980**	**6079,5**	**76**	**Мокрый, сухой**			
ОАО «Новоросцемент»	5680	4021,9	71	Мокрый, сухой	186	121,6	227,1
в том числе:	2170	669	пусконаладка	Сухой	108,7	120,2	148,8
	3510	3353	96	Мокрый	202	122	242,7
ОАО «Верхнебаканский цементный завод»	2300	2057,6	89	Сухой	103	109	139,4
Прочие	**10595,4**	**5520,7**	**52**				
ООО «Азия Цемент»	1800	1327,3	74	Сухой	128,8	106	
ОАО «Ангарскцемент»	1300	770	59	Мокрый	201,6	160	255,0
ООО «Атакайцемент»	300	264,9	88	Сухой	170	153	221,1
ООО «Буйнакский цементный завод»		12,9		Мокрый			
ЗАО «ХайдельбергЦемент Волга»	360	231,5	64	Мокрый	109	105	144,1

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
ООО «Цементная северная компания» (г. Воркута)	428	103,4	24	Мокрый	258	125	299,8
ООО «ИЗСМ-1»	40	28,1	70	Помол			
ОАО «Камчатцемент»	350	103,3	30	Помол			
ОАО «Колымацемент»	150	29,3	20	Помол			
ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод»	1173,2	623,8	53	Мокрый	202	144	250,1
ОП ЗАО «Пикалевская сода» (г. Волхов)	426,2	433,4	102	Мокрый	207	114	245,1
ООО «Мечел-Материалы»	1600	49,6	3	Помол			
ОАО «Горно-металлургическая компания Норильский никель»	703	556,5	79	Мокрый	223	112	260,4
Пашийский МЦЗ	126	9	7	Помол		101	
ОАО «Подольск-цемент»	328	54	16	Мокрый	194	93	225,1
ООО «Сахцемент Лунсин»	150	73,6	49	Помол			
ООО «Тимлюйский завод»	50	44,6	89	Мокрый	224	124	265,4
ЗАО «Углегорск-цемент»	200	115,7	58	Мокрый	115	155	166,8

Корпорация/завод	Мощность, тыс. т	Производство 2014, тыс. т	Загрузка мощности, %	Способ производства	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/т цемента	Приведенные энергозатраты, кг у. т./т цемента
ОАО «ЦЕМЕНТ» (Алтайский край)	600	230,8	38	Мокрый	235	140	281,8
ГУП «Чеченцемент»	600	427,1	71	Мокрый	218	125	259,8
ООО «Югорский цементный завод»		31,9		Помол			
ОАО «Себряковцемент»	**4069,4**	**3100**	**76**		**172**	**97**	**204,4**
в том числе:	1100	1050	95	Сухой	129,4	97	161,8
	780	750	96	Комбинир.	155,4	100	188,8
	2189,4	1300	59	Мокрый	216	96	248,1
Сибирский цемент	**5400**	**4326,2**	**80**				
ООО «Красноярский цемент»	1100	921,4	84	Мокрый	219,2	135	264,3
ООО «ТимлюйЦемент»	600	407,7	68	Мокрый	224,1	124	265,5
ООО «Топкинский цемент»	3700	2997,1	81	Мокрый	202,6	113	240,3
ЮУГПК	**2360**	**1886,3**	**80**	**Сухой**			
ООО «ЮУГПК»	2360	1886,3	80	Сухой	93,2	110	129,9
Общий итог	**100 804***	**68436,6**	**68**				

* Мощность цементных заводов полного цикла.

Следует отметить сравнительно высокий расход энергоресурсов на старых заводах сухого способа производства. Как и следовало ожидать, самый низкий средний расход энергоресурсов имеет место при сухом способе производства. Среди всех цементных заводов по этому показателю выделяются предприятия «Петербургцемент», где в качестве сырья используются содержащие горючие сланцы отходы, и ООО «ЮУГПК», где в состав сырьевой шихты входит до 35 % металлургических шлаков доменного и мартеновского производства.

Усредненные показатели расхода энергоресурсов по способам производства приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 — Сравнительные среднегодовые показатели расхода энергоресурсов по способам производства

Тип производства	Ввод в эксплуатацию	Средний годовой удельный расход топлива	Средний годовой удельный расход электроэнергии	Средние приведенные энергозатраты
Сухой	До 1989	146,6	154,6	198,2
	После 2008	106,4	122,5	147,4
Мокрый	После 2008	189,2	121,9	229,6
Комбинированный		147,2	99,6	180,6

1.6.1 Вывод мощностей

В 1990-е годы в связи с резким спадом спроса на цемент заводы вынуждены были приостанавливать и выводить из эксплуатации технологические линии. В период с 1988 по 2008 год новые мощности по выпуску цемента не вводились, при этом выведено из эксплуатации 7 цементных заводов, в том числе 3 — сухого способа производства, и 69 технологических линий действующих предприятий, всего 90 технологических линий (см. таблицу 1.9) [23].

Таблица 1.9 — Вывод из эксплуатации мощностей по производству цемента в 1990–2012 годах

Предприятие	Выведено мощностей, тыс. т	Число выведенных печей	Размеры печей, м	Способ производства	Регион
Заводы, прекратившие производство цемента					
Цементный завод «Спартак»	953	4	3,3–3,6 × 73	Мокрый	Рязанская обл.
Косогорский цементный завод	453	2	2,5–3 × 42	Сухой	Тульская обл.
ООО «Сенгилеевский цементный завод»	138,8	2	2,7–2,3 × 43	Мокрый	Ульяновская обл.
ООО «Нижнетагильский завод глиноземистых цементов»	1100	3	3,6 × 27 (2) 3,6 × 150 (1)	Мокрый	Свердловская обл.
Яшкинский цементный завод	506	3	3,3 × 93,5 (3)	Мокрый	Кемеровская обл.
Поронайский цементный завод	107	1	3,6 × 118 (1)	Сухой	Сахалинская обл.
Подгоренский цементник	820	6	2,6 × 11,5 (АШП)	Сухой	Воронежская обл.
Итого	4077,8	21			
Вывод из эксплуатации мощностей действующих заводов					
ЗАО «Мальцовский портландцемент»	816,4	3	3,3–3,6 × 150	Мокрый	Брянская обл.
Филиал ОАО «Лафарж цемент» (г. Воскресенск)	995	4	4,5–3,6 × 108 (3) 4,0–3,6 × 118 (1)	Мокрый	Московская обл.

Предприятие	Выведено мощностей, тыс. т	Число выведенных печей	Размеры печей, м	Способ производства	Регион
ОАО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна)	1351	6	3,3 × 6,5 (2) 3,3–3,6 × 127,3 (2) 5 × 185 (2)	Мокрый	Московская обл.
ОАО «Подольск-цемент»	636	2	3,75–3,1 × 70 (2)	Мокрый	Московская обл.
ООО «Холсим (Рус)» (г. Вольск)	547,3	5	3,6 × 70 (4) 2,6–3,3 × 56 (1)	Мокрый	Саратовская обл.
ОАО «Новоросцемент»	620	7	3,6 × 118 (1) 3,3–3,6 × 85 (4) 4,5–4,0 × 60 (2)	Сухой	Краснодарский край
ЗАО «Строительные материалы»	534,3	2	3,6 × 127	Мокрый	Республика Башкортостан
ОАО «Горнозаводскцемент»	884	3	3,6 × 127	Мокрый	Пермский край
ОАО «Сухоложскцемент»	814	5	3,6 × 69 (2) 3,7 × 70 (3)	Мокрый	Свердловская обл.
ОАО «Искитимцемент»	877	3	3,6 × 127	Мокрый	Новосибирская обл.
ООО «Красноярский цемент»	400	2	3,6 × 118	Мокрый	Красноярский край
ОАО «Спасскцемент»	1500	6	3,3 × 118 (2) 3,6 × (52–58) (4) *	Сухой	Приморский край
ГУП «Чеченцемент»	600	1	5 × 185	Мокрый	Чеченская Республика
Ачинский	1500	2	5,9–4,8–5,3 × 175 (2)	Мокрый	Красноярский край

Предприятие	Выведено мощностей, тыс. т	Число выведенных печей	Размеры печей, м	Способ производства	Регион
ОАО «Горно-металлургическая компания Норильский никель»	147	2	3,8–3,5 × 60	Мокрый	Красноярский край
ОАО «Себряковцемент»	1200	4	4 × 3,6 × 4x150	Мокрый	Волгоградская обл.
Сланцевский	580	12	2,6 × 11,5 (АШП)	Полусухой	Ленинградская обл.
Итого	13422,2	69			
ВСЕГО:	17500	90			

* Линии законсервированы.

Как видно из приведенных данных, выведенные из эксплуатации технологические линии цементных заводов были оснащены морально и физически устаревшим оборудованием; износ основных фондов составлял 68 % — 88 %, так как они были введены в действие в основном в первые послевоенные пятилетки. На этих предприятиях к 1990 году расходовалось 250–290 кг у. т. на 1 т клинкера (Яшкинский цементный завод, цементный завод «Спартак», Поронайский цементный завод) при среднем расходе на заводах России 213 кг у. т. на 1 т клинкера. Удельный расход электроэнергии на этих линиях составлял 90–160 кВт·ч/т цемента при среднем расходе по отрасли 113 кВт·ч на 1 т цемента. Средняя производственная себестоимость 1 т портландцемента на анализируемых заводах, выведенных из эксплуатации, при низкой стоимости топлива, электроэнергии и высокой доле минеральных добавок, вводившихся в цемент, в 1990 году изменялась от 18,7 руб./т (ООО «Нижнетагильский завод глиноземистых цементов») до 76,2 руб./т (Поронайский цементный завод). По цементной промышленности Российской Федерации в 1990 году этот показатель составлял 16,92 руб./т.

1.6.2 Ввод мощностей

С 2008 года началась беспрецедентная активность в строительстве и вводе в эксплуатацию новых современных линий, преимущественно сухого способа производства. В 2008–2014 годах введено в эксплуатацию 23 технологических линии общей мощностью 32,6 млн т, из них 19 технологических линий, работающих по сухой технологии и 1 линия комбинированного способа производства (всего 30 млн т) (см. таблицу 1.10) [23].

Таблица 1.10 — Ввод новых мощностей по производству цемента в 2008–2015 годах

Год ввода, предприятие	Производственная мощность, млн т
2008:	
- ПАО «Мордовцемент»	0,9
- ЗАО «Строительные материалы»	1,3
- Ачинский (мокрый)	1,8
- ОАО «МЦОЗ» (мокрый)	0,2
Всего за год	4,2
2009:	—
2010:	—
2011:	
- ПАО «Мордовцемент»	2,4
- ОАО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна)	2,1
- ООО «ЮУГПК»	1,2
- ОАО «Сухоложскцемент»	1,3
- ООО «Петербургцемент» (г. Сланцы)	1,9
Всего за год	8,9
2012:	
- Филиал ООО ХайдельбергЦемент Рус в п. Новогуровский	1,8
- ОАО «Верхнебаканский цементный завод»	2,3
- ООО «Мечел-Материалы»	0,8
- ЗАО «Углегорск-цемент»	0,2
Всего за год	5,1
2013:	
- ООО «Серебрянский цементный завод»	1,6

Год ввода, предприятие	Производственная мощность, млн т
- Воронежский филиал АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»	2,4
- ООО «ЮУГПК»	1,2
- ГУП «Чеченцемент» (мокрый)	0,6
- ООО «Азия Цемент»	1,8
Всего за год	7,8
2014:	
- ООО «Сенгилеевский цементный завод»	1,2
- ЗАО «ХайдельбергЦемент Волга»	1,2
- ОАО «Новоросцемент»	2,2
- ОБП ОАО «Лафарж Цемент» (п.Ферзиково)	1,8
- ОАО «Себряковцемент»	1,2
Всего за год	7,6
2015 (прогноз):	
- ОАО «Новоросцемент»	0,7
Всего за год	0,7

1.7 Основное технологическое оборудование цементных заводов России

По состоянию на 1 января 2015 г. в цементной промышленности Российской Федерации находилось в эксплуатации оборудование для производства цемента по мокрому, комбинированному полусухому и сухому способу производства. Состав основного технологического оборудования представлен в таблице 1.11.

По сравнению с 1990 годом в составе технологического оборудования произошли существенные изменения, прежде всего за счет ввода линий сухого способа и вывода из эксплуатации малоэффективных морально и физически изношенных линий, оснащенных шахтными печами и устаревшими короткими линиями мокрого и сухого способа производства. Вместе с тем из 43 действующих 185-метровых вращающихся печей мокрого способа 41 продолжает эксплуатироваться. Две печи цементного завода LafargeHolcim в г. Щурово ликвидированы при расширении завода с установкой новой сухой линии мощностью 2,1 млн т.

Все 24 технологические линии, оснащенные 170-метровыми печами, введенные в эксплуатацию с 1959 года (ЗАО «Белгородский цемент») по 1966 год (ОАО «Искитим-

цемент»), в достаточно короткие сроки достигали и превосходили проектную мощность. Большинство из них прошли реконструкцию. В настоящее время все эти линии находятся в эксплуатации и являются наиболее эффективными для мокрого способа производства.

В эксплуатации продолжают также оставаться морально и физически устаревшие технологические линии мокрого способа производства длиной до 100 м.

Десять линий сухого способа производства и две линии полусухого способа производства также являются морально и физически устаревшими, требующими модернизации или вывода из эксплуатации.

Таблица 1.11 — Состав и показатели работы основного технологического оборудования

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
Всего печей		186 (161)*	58,8/ 70,2	280 (231)			349 (303)		46,6 / 55,6
А. Вращающиеся печи		186 (161)*	58,8 / 70,2						
ООО «Савинский цементный завод»	Мокрый, известняк, уголь, нефтяной кокс	4 (3)	31,6 / 68,7	4 (4)		143,5 / 39,1	5 (4)		45,0 / 41,6
4,0 × 150 № 1–2		2 (1)		2 (2)	3,2 × 15,0	143,5 / 39,1	5 (4)	3,0 × 14,0	45,0 / 41,6
4,0 × 150 № 3–4		2 (2)		2 (2)	ММС-70-23				
ООО «Цементная северная компания» (г. Воркута)	Мокрый, известняк, уголь	3(2)	15,0/ 42,0	4 (3)		26,2 / 35,4	2 (1)		40,7 / 34,2
3,6–3,0 × 82 № 1		1 (1)		2 (2)	2,2 × 13,0	22,6 /	2 (1)	3,0 × 14,0	40,7 / 34,2
3,6 × 88,6 № 2–3		2 (1)		2 (1)	2,6 × 13,0	34,5 /			
ЗАО «Пикалевский цемент»	Мокрый, известняк, нефелиновый шлам, газ	6 (6)	46,2 / 62,6	7 (7)		130,0 / 59,5	11 (11)		30,0 / 60,1
3,6 × 60 с концентраторами шлама № 1–3		3 (3)	20,5 / 57,6	2 (2)	3,2 × 15,0	166,0 / 59,5	2 (2)	2,6 × 13,0	18,5 /
				2 (2)	3,2 × 15,0	332,0 /	3 (3)	2,4 × 15,0	20,0 /

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
4,5 × 170 № 4–6		3 (3)	56,0 / 67,5	3 (3)	2,4 × 13,0	66,0 /	6 (6)	3,2 × 15,0	40,0 /
Сланцевский ЦЗ	Сухой, известняк, сланец, уголь	2 (1)	44,7 / 85,2	5 (4)		39,1 / 41,0	5 (5)		33,8 / 49,0
4,0 × 60 в ЦТО		2 (1)	44,7 / 85,2	5 (4)	3,2 × 8,5	39,1 / 41,0	5 (5)	3,0 × 14,0	33,8 / 49,0
ОП ЗАО «Пикалевская сода» (г. Волхов)	Мокрый, нефелиновый шлам, газ	3 (3)	22,9 / 55,2	5 (3)		25,1 / 77,1	4 (3)		21,3 / 67,0
3,6–3,0–3,6 × 127,5 № 1–2		2 (2)	22,5 / 45,1	5 (3)	2,2 × 13,0	25,1 / 77,1	4 (3)	2,6 × 13,0	21,3 / 67,0
3,6 × 110,5 № 3		1 (1)	19,6 / 75,4						
Петербургцемент	Сухой, известняк, газ, альтернативное топливо	1 (1)	208,0 / 59,2	1 (1)		325,0 / 75,3	2 (2)		120,0 / 62,3
4,75 × 74 с ЦТО и декарбонизатором		1 (1)	208,0 / 59,2	1 (1)	ATOX 45	325,0 / 75,3	1 (1)	5,0 × 15,0	150,0 /
							1 (1)	5,0 × 15,0	112,9 /
ЗАО «Мальцовский портландцемент»	Мокрый, мел, газ	8 (8)	57,9 / 79,2	8 (8)		320,0 / 60,0	13 (13)		45,0 / 55,0
5,0 × 170 № 7		1 (1)	62,0 / 88,8	4 (4)	3,2 × 8,5	320,0 / 60,0	7 (7)	2,6 × 13,0	20, 0 / 55,0
4,0 × 150 № 1, 6, 5		3 (3)	32,0 / 81,0	4 (4)	MMC-70-23	380,7 /	6 (6)	4,0 × 13,5	70, 0 / 55,0
5,0 × 185 № 8–11		4 (4)	70,0 / 79,1						

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
Филиал ОАО «Лафарж цемент» (г. Воскресенск) — всего	Мокрый, известняк, мергель, газ	9 (5)	37,9 / 65,4	11 (11)		78,0 / 30,0	15 (12)		29,7 / 45,7
в том числе «Гигант»		6 (3)	42,0 / 61,8	7 (7)		45,4 /	9 (6)		35,8 /
4,5–3,6–4,0 × 108		4 (1)	25,5 / 17,3	7 (7)	2,6 × 13,0	45,4 /	6 (3)	2,6 × 13,0	21,3 /
4,5–4,0 × 150		1 (1)	32,2 / 82,2				1 (1)	4,0 × 13,5	80,0 /
5,0 × 150		1 (1)	55,2 / 85,8				2 (2)	3,0 × 14,0	35,5 /
Филиал ОАО «Лафарж цемент» (г. Воскресенск)	Мокрый, известняк, газ	3 (2)	32,6 / 70,8	6 (6)		72,1 /	6 (6)		23,6 /
4,0–3,6 × 118		1 (-)		1 (1)	3,0 × 14,0	94,4 /	6 (6)	2,6 × 13,0	23,6 /
4,0–3,6 × 150		2 (2)	32,6 / 70,8	3 (3)	2,6 × 13,0	62,3 /			
				2 (2)	ММС-70-23С				
ОБП ОАО «Лафарж Цемент» (п.Ферзиково)	Сухой, известняк, газ	1 (1)	208,3 / -						
52 × 74			208,3 / -						
ОАО «Подольск-цемент»	Мокрый, известняк, газ	2 (1)	14,0 / 38,2	2 (1)		40,0 / 23,9	1 (1)		45,0 / 20,0
3,3–3,5 × 70,0 с концентраторами шлама			14,0 / 38,2	2 (1)	2,6 × 13,0	40,0 / 23,9	1 (1)	3,2 × 15,0	45,0 / 20,0

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
ОАО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна)	Известняк мокрый, сухой, газ	2 (2)	128,99 / 50,0	1 (1)		480,0 / 55,0	7 (7)		90,0 / 48,0
3,6 × 127 № 1–2		1 (1)	14,9 / 46,8	1 (1)	FLS ATOX 50	480,0 / 55,0	4 (4)	4,0 × 13,5	90,0 / 48,0
5,5 × 86 с ЦТО и ДК		1 (1)	132,0 / 53,0				3 (3)	2,6 × 13,0	
ЗАО «Михайловцемент»	Мокрый, известняк, газ	4 (4)	50,0 / 61,3	7 (7)		60,0 / 56,6	7 (7)		36,7 / 60,4
4,5 × 170		4 (4)	50,0 / 61,3	7 (7)	3,0 × 14,0	60,0 / 56,6	6 (6)	3,0 × 14,0	
							1 (1)	3,2 × 15,0	
ООО «Серебрянский цементный завод»	Сухой, известняк, уголь	1 (1)	212,0 / 52,5	1 (1)		420,0 / 23,8	3 (3)		100,0 / 61,6
4,8 × 72 с ЦТО и ДК		1 (1)	212,0 / 52,2	1 (1)	MPS 5000B	420,0 / 23,8	3 (3)	4,4 × 15,0	100,0 / 61,6
Филиал ООО ХайдельбергЦемент Рус в п. Новогуровский	Сухой, известняк, уголь	1 (1)	69,7 / 208,3	1 (1)		290,0 / 87,0	3 (3)		110,0 / 54,5
5,0 × 72 с ЦТО и ДК			208,3 / 69,7	1 (1)	LM 56,4	290,0 / 87,0	3 (3)	4,4 × 15,0	110,0 / 54,5
ПАО «Мордовцемент» —всего	Мокрый, мел, газ, альтернативное топливо		61,1 / 77,9	12 (12)		238,0 / 45,0	17 (16)		61,2 / 54,5
в том числе по мокрому способу		8 (8)	51,4 / 75,3				6 (5)	2,6 × 13,0	20,0 / 54,5
3,6–3,3–3,6 × 150 № 1		1 (1)	26,0 / 74,0	5 (5)	3,2 × 8,5	185,0 / 76,0	8 (8)	3,2 × 15,0	50,0 / 54,5
3,3–3,3–4,0 × 150 № 2		1 (1)	26,0 / 74,0	4 (4)	2,0 × 10,5	65,0 / 76,0			

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
3,6–3,3–4,0 × 150 № 3		1 (1)	26,0 / 74,0	1 (1)	ММС 7,0 × 2,3	450,0 / 76,0			
3,6–4,0 × 150 № 4		1 (1)	26,0 / 74,0	1 (1)	ММС 5,0 × 2,3	300,0 / 76,0			
5,0 × 185 № 5–7		3 (3)	75,0 / 83,0						
5,6–5,0 × 185 № 8		1 (1)	81,0 / 46,5						
4,0 × 47 с ЦТО и ДК № 9	Полусухой	1 (1)	97,5 / 80,0						
5,2 × 65 с ЦТО и ДК	Сухой	1 (1)	250,0 / 70,0	1 (1)	MPS 5300B	410 /	3 (3)	5,0 × 15,75	167,6 / 54,5
ЗАО «Белгородский цемент»	Мокрый, мел, газ	7 (7)	37,5 / 85,0	5 (4)		200,0 / 57,0	7 (7)		46,5 / 58,0
4,0 × 150		5 (5)	33,0 / 84,0	3 (2)	3,0 × 8,5	200,0 / 57,0	3 (3)	3,0 × 14,0	44,0 / 58,0
4,5 × 170		2 (2)	49,5 / 87,0	2 (2)	ММС-70-23	460 / 45,0	4 (4)	3,2 × 15,0	48,0 / 58,0
ЗАО «Осколцемент»	Мокрый, мел, газ	6 (6)	73,7 / 71,0	4 (4)		468,5 / 38,0	12 (12)		42,3 / 61,0
5,0 × 185			73,7 / 71,0	4 (4)	3,2 × 8,5	468,5 / 38,0	12 (12)	3,2 × 15,0	42,3 / 61,0
ЗАО «Липецкцемент»	Сухой, известняк, газ	3 (3)	49,0 / 81,2	6 (6)		48,5 / 70,0	7 (7)		36,4 / 62,6
4,0 × 60 с конвейерными кольцевателями		2 (2)	32,8 / 63,0	4 (4)	3,2 × 8,5	34,4 / 16,0	4 (4)	3,0 × 14,0	37,9 / 26,0
5,0 × 75 с ЦТО		1 (1)	81,9 / 76,0	2 (2)	4,2 × 10,0	111,4 / 63,0	3 (3)	3,2 × 15,0	52,6 / 54,0
Воронежский филиал АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»	Сухой, мергель, мел, газ	1 (1)	250,0 / 14,7	2 (1)		450,0 / 25,8	2 (2)		195,0 / 20,0

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
5,0 × 78 с ЦТО и ДК		1 (1)	250,0 / 14,7	2 (1)	Верт. вал. м-ца	450,0 / 25,8	2 (2)	5,4 × 15,0	195,0 / 20,0
ОАО «Себряковцемент» — всего	Мокрый	9 (5)	49,2 / 86,1	5 (5)		215,3 / 74,3	13 (13)		49,8 / 55,8
в том числе:		9 (5)	42,5 / 86,5	2 (2)	3,0 × 8,5	200,1 / 66,4	7 (7)	2,6 × 13,0	29,6 / 50,4
3,6–3,3–3,6 × 150 № 1–3		3 (-)	26,7 / 96,7	1 (1)	3,2 × 8,5	237,9 / 90,1	5 (5)	3,0 × 14,0	52,0 / 58,4
4,0–3,6–4,0 × 1150 № 4		1 (-)	30,8 / 85,6	2 (2)	МБ-70-23	131,0 / 58,6	1 (1)	4,6 × 14,0	130,5 / 80,6
5,0–4,5 × 170 № 5–6		2 (2)	63,2 / 71,1						
5,0 × 185 № 7		1 (1)	71,3 / 90,4						
5,0 × 125 с ЦТО и ДК № 8	Комбинированный	1 (1)	97,2 / 83,7						
4,4 × 52 с ЦТО и ДК	Сухой	1 (1)	125,0 /						
ЗАО «Жигулевские стройматериалы»	Мокрый, известняк, газ	3 (3)	63,1 / 45,9	9 (6)		70,0 / 53,3	7 (6)		45,0 / 44,3
5,0 × 135 № 1–2		2 (2)	57,0 / 55,0	3 (-)	2,6 × 13,0	43,0 / 60,0	1 (-)	2,6 × 13,0	21,0 / -
5,0 × 163 № 3		1 (1)	63,0 / 45,0	4 (4)	3,0 × 14,0	62,0 / 53,3	6 (6)	3,0 × 14,0	37,0 / 60,0
				2 (2)	МБ-70-23				
ООО «Холсим (Рус)» (г. Вольск)	Мокрый, мел,	5 (5)	61,3 / 62,5	10 (8)		99,1 / 63,0	7 (5)		60,0 / 70,5

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
5,0 × 135	газ	2 (2)	49,5 / 55,0	3 (1)	3,2 × 8,5		4 (2)	3,2 × 15,0	45,0 /
5,0 × 185		3 (3)	68,0 / 67,5	4 (4)	3,0 × 8,5		3 (3)	4,0 × 13,5	80,0 /
				1 (1)	ММС-70-23				
				2 (2)	МБ-70-23				
ЗАО «ХайдельбергЦемент Волга»	Сухой, мел, газ	3 (1)	- / 125	2 (2)		30,6 / 31,0	2 (2)		35,8 / 30,1
4,4 × 52		3 (1)	- / 125	2 (2)	2,8 × 5,5	/ 31,0	2 (2)	2,4 × 13,0	35,8 / 30,1
ЗАО «Ульяновскцемент»	Мокрый, мел, газ	4 (4)	66,2 / 69,2	6 (6)		155,0 / 59,8	7 (6)		51,7 / 66,9
5,0–4,5–5,0 × 170 № 1, 3, 4		3 (3)	56,0 / 69,2	3 (3)	3,0 × 8,5	123,8 /	1 (-)	3,0 × 14,0	
5,0–5,6 × 170		1 (1)	65,5 / 61,5	1 (1)	3,2 × 8,5	194,4 /	6 (6)	3,2 × 15,0	51,7 / 66,9
				2 (2)	МБ-70-23	422,1 /			
ООО «Сенгилеевский цементный завод»	Сухой, мел, мергель, газ	1 (1)	- / 125	1(1)	Верт.	205,0 / -	2 (2)	4,4 × 13,0	130 / -
4,4 × 52 с ЦТО и ДК									
ЗАО «Кавказцемент»	Мокрый, известняк, газ	4 (4)	74,0 / 88,0	3 (3)		275,0 / 58,0	5 (5)		80,0 / 68,4
5,0–185		1 (1)	73,0 / 88,0	3 (3)	4,0 × 13,5	275,0 / 58,0	5 (5)	4,0 × 13,5	80,0 / 68,4
5,3 × 5,0 × 185		3 (3)	74,0 / 88,0						
ГУП «Чеченцемент»	Мокрый, из-	2 (1)	65,0 / 50,8	4 (2)		60,0 / 60,5	4 (2)		43,7 / 40,9

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
5,0 × 185	вестняк, газ	2 (1)	65,0 / 50,8	4 (2)	3,2 × 15,0	60,0 / 60,5	4 (2)	3,2 × 15,0	43,7 / 40,9
ОАО «Новоросцемент» — всего	Мергель, газ	10 (10)	45,7 / 82,4	17 (17)		54,0 / 72,0	22 (22)		43,8 / 51,5
Мокрый — всего	Мокрый	9 (9)	46,9 / 89,1	8 (8)	3,2 × 15,0	66,5 / 79,2	10 (10)	2,6 × 13,0	27,2 / 44,4
4,0 × 150 № 6,7; 1		3 (3)	34,4 / 90,0	6 (6)	2,6 × 13,0	38,5 / 75,3	9 (9)	3,2 × 15,0	57,2 / 60,8
4,0–3,6–4,0 × 150 № 2–4		3 (3)	32,4 / 85,9	2 (2)	3,2 × 8,5	42,8 / 55,5	1 (1)	3,2 × 14,0	45,0 / 38,6
5,0 × 185 № 8–10		3 (3)	72,5 / 91,2	1 (1)	3,7 × 8,5	64,0 / 27,2			
5,2 × 65, КНД	Сухой	1 (1)	250 / -	1 (1)	MAS-6000B	550 /	2 (2)	3,8 × 12,75 КНД	185 /
ОАО «Верхнебаканский цементный завод»	Сухой, мергель, газ	1 (1)	144,7 / 64,2	3 (2)		143,4 / 74,5	3 (3)		90,6 / 76,6
5,5 × 66 с ЦТО и ДК		1 (1)	258,3 / 65,0	1 (-)	3,0 × 7,1		1 (1)	3,0 × 14,0	37,6 /
				1 (1)	3,2 × 8,5	49,3 / 58,2	2 (2)	5,0 × 17,0	150,0 /
				1 (1)	ATOX-57,5	350,0 / 90,8			
ООО «Атакайцемент»	Сухой, мергель, газ	1 (1)	35,9 / 81,2	1 (1)		80,2 / 60,6	2 (2)		25,4 / 63,9
4,0 × 60 с ЦТО		1 (1)	35,9 / 81,2	1 (1)	МПС 2650	80,2 / 60,6	1 (1)	2,6 × 11,5	26,2 / 63,6
							1 (1)	2,6 × 13,0	24,6 / 64,0
ЗАО «Углегорск-цемент»	Сухой, газ, из-	1 (1)	20,8 / 35,8	1 (1)		25,0 / 47,9	1 (1)		12,5 / 56,2

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
3,0 × 45 с ЦТО и ДК	вестняк	1 (1)	20,8 / 35,8	1 (1)	2,0 × 10,5	25,0 / 47,9	1 (1)	2,0 × 10,5	12,5 / 56,2
ЗАО «Строительные материалы» — всего	Известняк, газ, сухой	1 (1)	160,0 / 88,6	5 (5)		61,0 / 78,8	10 (10)		19,7 / 78,3
4,5 × 50 с ЦТО и ДК			0 / 88,6	4 (4)	3,0 × 12,0		7 (7)	2,2 × 13,0	16,2 /
				1 (1)	3,2 × 15,0		3 (3)	2,6 × 13,0	25,9 /
ОАО «Новотроицкий цементный завод»	Мокрый, известняк, газ	3 (3)	22,6 / 83,7	4 (3)		44,2 / 71,6	9 (7)		21,3 / 48,6
3,6 × 127 № 1–2		2 (2)	22,9 / 84,6	3 (3)	2,6 × 13,0		5 (5)	2,6 × 13,0	
3,6 × 118 № 3		1 (1)	21,9 / 81,8	1 (-)	2,4 × 13,0		2 (-)	2,2 × 13,0	
							2 (2)	2,4 × 13,0	
ООО «ЮУГПК»	Сухой, известняк, газ	2 (2)	125,0 / 73,5	2 (2)	Роллер-пресс	250,0 / 48,2	2 (2)		149,5 / 72,0
4,4 × 52 с ЦТО и ДК		2 (2)	12,05 / 66,3	2 (2)	RPZ 13-170/140	196,0 / 64,0	2 (2)	5,0 × 14,5	146,4 / 66,1
4,4 × 52 с ЦТО и ДК		2 (2)	125,0 / 80,7	2 (2)	RPZ 13-170/140	208,0 / 73,0	2 (2)	5,0 × 14,5	152,5 / 77,8
ООО «Азия Цемент»	Сухой, мел, мергель, газ	1 (1)	208,0 / 17,4	2 (2)		200,0 / 27,4	2 (1)		165,0 / 24,0
4,8 × 72 с ЦТО и ДК		1 (1)	208,0 /17,4	2 (2)	4,8 × 2,8	200,0 / 27,4	2 (1)	4,2 × 13,0	165,0 / 24,0

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
ОАО «Горнозаводскцемент»	Мокрый, известняк, газ	4 (3)	71,2 / 70,6	8 (6)		75,0 / 65,2	9 (5)		52,7 / 66,4
5,0 × 185		2 (2)	75,0 / 63,3	5 (3)	3,0 × 14,0		4 (2)	2,2 × 13,0	
4,5 × 170		2 (1)	65,5 / 84,4	2 (2)	4,0 × 13,5		3 (1)	3,0 × 14,0	
				1 (1)	ММС-70-23		2 (2)	4,0 × 13,5	
ЗАО «Невьянский цементник»	Сухой, известняк, газ	1 (1)	130,0 / 76,4	2 (2)		135,0 / 66,6	2 (2)		80,0 / 73,8
4,5 × 80 с ЦТО и ДК			130,0 / 76,4	2 (2)	4,2 × 10,0	135,0 / 66,6	2 (2)	4,0 × 13,5	80,0 / 73,8
ОАО «Сухоложскцемент» всего		5 (5)	107,9 / 54,6	10 (10)		105,5 / 60,3	8 (8)		74,3 / 62,6
Мокрый		4 (4)	73,8 / 46,4	4 (4)	3,2 × 15,0	86,7 /	4 (4)	3,2 × 15,0	61,4 /
5,0 × 185 № 1-3	Мокрый, известняк, газ	3 (3)	72,3 / 53,0	4 (4)	4,0 × 13,5		2 (2)	4,0 × 13,5	
5,6 × 185 № 4		1 (1)	83,1 / 26,4	1 (1)	ММС-70-23		1 (1)	4,4 × 15,37	150,0 /
4,2 × 68 с ЦТО и ДК	Сухой, известняк, газ	1 (1)	180,0 / 87,6	1 (1)	3-х вал. м-ца	220,0 /	1 (1)	3,6 × 13,2	
ЗАО «Катавский цемент»	Сухой, мергель, газ	4 (4)	33,0 / 75,1	7 (6)		49,8 / 58,7	5 (5)		45,0 / 58,6
4,0 × 60 с ЦТО		3 (3)	33,0 / 75,1	2 (2)	3,7 × 8,5	65,0 /	5 (5)	3,2 × 15,0	45,0 / 58,6
4,0 × 4,5 × 60		1 (1)	33,0 / 75,1	5 (5)	3,0 × 8,0	35,0 /			
ОАО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод»	Мокрый, газ	2 (2)	38,1 / 79,6	6 (4)		36,2 / 70,0	9 (9)		20,0 / 46,2

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
4,5 × 125 № 4		1 (1)	38,1 / 87,7	6 (4)	2,6 × 13,0	36,2 / 70,0	9 (9)	2,6 × 13,0	20,0 / 46,2
4,5 × 129 № 5		1 (1)	38,1 / 71,4						
ОАО «Уралцемент»	Мокрый, известняк, газ, нефтяной кокс	6 (2)	54,0 / 76,3	10 (5)		60,0 / 88,0	9 (4)		45,0 / 63,8
4,0–3,6–4,0 × 150 № 1–4		4 (-)		5 (-)	2,6 × 13,0		3 (-)	2,6 × 13,0	
4,5 × 170 № 5–6		2 (2)	54,0 / 76,3	4 (4)	3,0 × 14,0	60,0 / 88,0	6 (4)	3,0 × 14,0	45,0 / 63,8
				1 (1)	ММС-70-23С				
ОАО «ЦЕМЕНТ» (Алтайский край)	Мокрый, известняк, уголь	1 (1)	30,4 / 82,2	1 (1)		86,2 / 50,0	2 (1)		46,8 / 60,7
4,0 × 150		1 (1)	30,4 / 82,2	1 (1)	3,2 × 15,0	86,2 / 50,0	2 (1)	3,2 × 15,0	46,8 / 60,7
ООО «Производственная компания Кузнецкий цементный завод»	Сухой, известняк, газ	3 (-)		3 (-)			12 (2)		18,1 / 24,9
3,6 × 59,6; 64,5; 68,5 с ЦТО		3 (-)		3 (-)	3,7 × 8,5		12 (2)	2,6 × 13,0	18,1 / 24,9
ООО «Топкинский цемент»	Мокрый, известняк, газ	5 (5)	73,5 / 79,1	15 (13)		84,0 / 80,0	9 (9)		52,0 / 90,0
5,0 × 185		5 (5)	73,5 / 79,1	5 (5)	3,0 × 14,0	84,0 / 80,0	9 (9)	3,2 × 15,0	52,0 / 90,0
				8 (6)	3,2 × 15,0	84,0 / 80,0			
				2 (2)	ММС-70-23	134,6 / 80,0			
ОАО «Искитимцемент»	Мокрый, известняк, газ	4 (4)	59,0 / 72,7	6 (6)		65,8 / 63,0	6 (6)		53,8 / 60,0
5,0–4,5 × 170		4 (4)	59,0 / 72,7	3 (3)	3,2 × 15,0	70,0 / 65,0	3 (3)	3,0 × 14,0	48,3 / 60,0

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
				3 (3)	3,0 × 14,0	61,5 / 62,0	1 (1)	3,2 × 14,0	51,1 / 60,0
							1 (1)	3,2 × 15,0	52,7 / 60,0
							1 (1)	4,0 × 13,5	95,1 / 60,0
ООО «Ачинский Цемент»	Мокрый, известняк, нефелиновый шлам, уголь	2 (2)	83,3 / 72,9	2 (2)	4,0 × 13,5	113,0 /72,9	5 (3)	4,0 × 13,5	80,4 / 42,9
5,6–5,0–5,6 × 185		2 (2)	83,3 / 72,9	2 (2)	4,0 × 13,5	113.0 / 72.9	5 (3)	4,0 × 13,5	80,4 / 42,9
ОАО «Горно-металлургическая компания Норильский никель»	Мокрый, известняк, газ	1 (1)	85,5 / 83,0	1 (1)		96,0 / 84,0	2 (2)		60,5 / 46,8
5,0 × 185		1 (1)	85,5 / 83,0	1 (1)	4,0 × 13,5	96,0 / 84,0	1 (1)	4,0 × 13,5	70,8 /
							1 (1)	2,6 × 13,0	23,5 /
ООО «Красноярский цемент»	Мокрый, известняк, уголь	3 (3)	28,3 / 83,9	9 (6)		36,6 / 50,5	5 (5)		26,7 / 80,8
3,6 × 150 № 3–4		2 (2)	25,4 / 82,3	3 (-)	2,0 × 11,0		3 (3)	2,6 × 13,0	28,0 / 75,0
4,0 × 150 № 5		1 (1)	35,0 / 85,0	6 (6)	2,6 × 13,0	39,0 / 52,0	2 (2)	2,6 × 10,6	25,0 / 85,0
ОАО «Ангарскцемент»	Мокрый, известняк, мрамор, уголь	4 (4)	32,1 / 57,5	6 (5)		36,4 / 68,8	8 (8)		26,0 / 44
4,0–3,6–4,0 × 150		2 (2)	30,0 / 54,5	6 (5)	2,6 × 13,0	36,4 / 68,8	8 (8)	2,6 × 13,0	26,0 / 44
4,0 × 150		2 (2)	33,9 / 60,5						

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
ООО «ТимлюйЦемент»	Мокрый, известняк, уголь	3 (3)	25,0 / 75,0	4 (4)		25,0 / 33,0	5 (4)		25,0 / 53,0
4,0–3,6–4,0 × 127,5				2 (2)	2,2 × 13,0	28 /	2 (1)	2,2 × 13,0	23,0 /
4,0–3,6–4,0 × 127,5				2 (2)	2,6 × 13,0	38 /	1 (1)	2,4 × 13,0	23,0 /
4,0–3,6–4,0 × 127,5							2 (2)	2,6 × 13,0	26,0 /
ОАО «Спасскцемент»	Сухой, известняк, уголь	7 (2)	139,7 / 56,7	11 (4)		261,5 / 49,3	9 (9)		88,2 / 20,2
СЦЗ 3,6 × 51,9 с ЦТО № 1–4		4 (-)		2 (-)	2,2 × 12,0		2 (2)	2,4 × 13,0	23,0 /
3,6 × 58,9 с ЦТО № 5		1 (-)		1 (-)	2,2 × 13,0		3 (3)	2,6 × 13,0	18,7 /
НСЦЗ 7,0–6,4 × 95 с ЦТО № 1–2		2 (2)	139,7 / 56,7	4 (-)	2,6 × 13,0		4 (4)	4,0 × 13,5	101,4 /
				2 (2)	4,0 × 13,5	261,5 / 49,3			
				2 (2)	8,7 × 2,2	263,2 /			
ОАО «Теплоозерский цементный завод»	Мокрый, известняк, уголь	5 (3)	24,2 / 49,2	6 (6)		39,4 / 23,9	8 (6)		16,4 / 38,4
3.6 × 97 № 4,5		2 (-)		1 (1)	2,4 × 13,0	40,9 / 8,8	5 (3)	2,2 × 13,0	13,1 /
4,0 × 127 № 2,3		2 (2)	26,4 / 44,1	5 (5)	2,6 × 13,0	39,8 / 26,9	3 (3)	2,6 × 13,0	20,8 /
3,6 × 127 № 1		1 (1)	20,9 / 59,5						
ОАО ПО «Якутцемент»	Мокрый, известняк, газ	2 (2)	20,3 / 83,9	2 (2)		40,1 / 67,9	3 (3)		22,1 / 52,3
3,6–3,0–3,6 × 100 № 2		1 (1)	20,0 / 79,6	2 (2)	2,6 × 13,0	40,1 / 67,9	3 (3)	2,6 × 13,0	22,1 / 52,3

Наименование предприятий и размеры печей, м	Способ производства, карбонатный компонент, вид топлива	Вращающиеся печи		Сырьевые мельницы			Цементные мельницы		
		Количество печей, шт.	Часовая производительность, т/час / использование календарного времени работы, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих с. мельниц, %	Количество, шт.	Размер, м	Часовая производительность, т/час / Использование календарного времени работы действующих ц. мельниц, %
3,6 × 100 № 1		1 (1)	20,5 / 88,1						

* В скобках — действующие оборудование.

Целесообразно в кратчайшие сроки рассмотреть вопросы коренной реконструкции этих агрегатов путем перевода печей мокрого способа на энергосберегающие технологии. Для линий сухого способа производства необходимо изучить возможность установки декарбонизаторов с заменой и реконструкцией запечных теплообменных устройств.

Все заводы, введенные в эксплуатацию до 1990 года, имеют высокий износ основных фондов и в последние 25 лет практически не подвергались реконструкции и внедрению процессов по интенсификации производства и наращиванию мощности.

Из общего количества цементных заводов сухого способа производства, введенных в эксплуатацию до 1990 года, только два завода — ЗАО «Невьянский цементник» и ОАО «Спасскцемент» — можно считать условно отвечающими современному техническому уровню.

На линиях мокрого способа производства также не выполнялись мероприятия по модернизации оборудования.

О необходимости обновления основных фондов цементной промышленности свидетельствуют данные таблицы 1.12 [24].

Таблица 1.12 — Сроки эксплуатации основных фондов

Корпорация/завод	Мощность, млн т	Распределение по срокам эксплуатации основных фондов, млн т			
		Более 55 лет	55–35 лет	35–25 лет	Менее 25 лет
ЕВРОЦЕМЕНТ груп	38,4	6,5	22,0	3,6	6,3
Газметаллпроект	8,0	1,6	0,7	1,3	4,4
Dyckerhoff	6,4	2,3	2,6		1,4
Сибирский цемент	5,4	0,6	4,1	-	0,7
Heidelberg Cement	5,0	0,7	1,2		3,1
LafargeHolcim	8,7	4,1	4,5	-	-
Востокцемент	4,3	1,6	2,7	-	-
Себряковцемент	4,1	1,5	0,9	-	1,7
БазэлЦемент	3,6		1,8		1,8
ЮУГПК	2,4				2,4
Горнозаводскцемент	2,2	1,3	0,9		
Искитимцемент	2,1		2,1		

Корпорация/завод	Мощность, млн т	Распределение по срокам эксплуатации основных фондов, млн т			
		Более 55 лет	55–35 лет	35–25 лет	Менее 25 лет
United Cement Group	1,8	1,8			
Прочие	10,6	3,8		0,5	3,6
Итого	102,7				

1.8 Ассортимент

В видовой структуре производства цемента следует отметить продолжающуюся длительное время тенденцию снижения доли выпуска шлакопортландцемента (см. рисунок 1.4, таблицу 1.13).

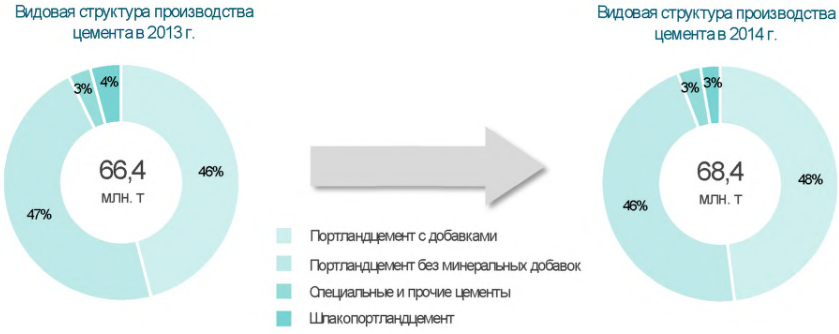


Рисунок 1.4 — Видовая структура производства цемента

Таблица 1.13 — Ассортимент продукции в 2013 и 2014 годах, тыс. т

Вид цемента	2013 год	2014 год	Прирост в 2014 году	
			Δ	%
Всего по Российской Федерации	66 419	68 424	2 005	3,0
Портландцемент с добавками	30 505	32 866	2 361	7,7
без специальных требований	27 340	30 392	3 052	11,2
со специальными требованиями	3 165	2 475	-691	-21,8
Портландцемент без минеральных добавок	31 081	31 548	466	1,5

Вид цемента	2013 год	2014 год	Прирост в 2014 году	
			Δ	%
без специальных требований	29 751	30 668	917	3,1 %
со специальными требованиями	1 330	880	-451	-33,9
Шлакопортландцемент	2 036	2 186	150	7,4 %
Специальные и прочие цементы	2 796	1 823	-973	-34,8
Цемент глиноземистый	23	9	-13	-59,6
Портландцемент пуццолановый	8	9	1	12,7
Цемент прочий	2 766	1 805	-961	-34,7

В 1990 году его доля в общем выпуске составляла около 28 %, а в настоящее время — около 3 %. Это ведет к удорожанию себестоимости цемента и, соответственно, росту его стоимости.

Изменение видовой структуры потребления цемента в основном проходило в период экономических реформ 1990-х годов.

За последние пять лет структура потребления по видам практически не изменилась, так как производители цемента приспособились к потребностям рынка. Особо стоит отметить, что текущие потребности рынка представляются малообоснованными и вызваны общим снижением культуры использования цементов по их назначению. Нередко вместо малоклинкерных цементов используются бездобавочные цементы. Так, например, цемент марки 500 используется для производства кладочных и штукатурных растворов и в выпуске многих изделий, где экономически, а иногда и технически целесообразно применять низкомарочные и добавочные цементы [13].

1.9 Анализ приоритетных проблем отрасли

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации № 1458 от 23 декабря 2014 г. [7] проведен анализ приоритетных проблем отрасли.

Важнейшей проблемой цементной промышленности среди прочих является снижение конкурентоспособности цементных предприятий России. Являясь топливодобывающей страной, имея достаточные объемы энергоресурсов, сырьевой базы, трудовых ресурсов, с 2005 года Россия увеличила импорт цемента в 9 раз — до 7,8 млн т в 2008 году. В 2014 году импорт составил 5 млн т. Экспорт цемента снизился, соответственно, в 6 раз — с 3,1 до 0,5 млн т. В целях повышения эффективности работы цементных предприятий необходимо решить следующие проблемы:

- на макроуровне:

- увеличение вклада предприятий по производству стройматериалов в ВВП;

- модернизация предприятий промышленности строительных материалов с целью выпуска конкурентоспособной продукции;

- ослабление до минимума зависимости страны от импорта строительных материалов и расширение экспорта высокотехнологичной продукции;

- увеличение налоговых поступлений в консолидированный бюджет Российской Федерации;

- снижение до минимума потребления природных ресурсов: сырья, топлива, минеральных добавок;

- улучшение экологического состояния за счет вовлечения в оборот вторичных сырьевых ресурсов (что должно стать общегосударственной задачей), использование экологически чистого оборудования и технологий;

- восстановление отраслевой науки;

- восстановление машиностроительной базы цементной промышленности;

- снижение доли энергозатратных производств;

- создание дополнительных рабочих мест в строительном и смежных секторах экономики;

- повышение уровня автоматизации технологических процессов предприятий.

- на микроуровне:

- обеспечение потребности региональных рынков в строительных материалах по объемам, ассортименту и качеству;

- формирование эффективных рыночно-ориентированных бизнес-структур нового поколения;

- повышение инновационной активности и уровня обновления основных фондов предприятий строительных материалов;

- повышение производительности труда;

- повышение спроса на квалифицированные научно-технические кадры.

Необходимость рационального использования и экономии топливно-энергетических ресурсов указывает на то, что назрела объективная необходимость коренной реконструкции отечественной цементной промышленности на основе ввода производственных фондов с использованием энергосберегающих технологий и вывода из эксплуатации морально и физически изношенного оборудования [25].

Внедрение энергосберегающих технологий предполагается осуществлять по следующим основным направлениям:

- реконструкция действующих предприятий, как правило, за счет строительства новых технологических линий сухого способа производства;

- прямая реконструкция мощных печей мокрого способа с переводом их на энергосберегающие технологии;

- строительство новых предприятий в остронуждающихся регионах при наличии сырья, пригодного для сухого способа производства, в исключительных случаях (при крайней необходимости в новом заводе и при наличии влажного сырья) — применение мокрого способа производства;

- реконструкция действующих технологических линий мокрого способа с увеличением выпуска продукции и внедрением энергосберегающих мероприятий с одновременным выводом из эксплуатации устаревших обветшавших производств с повышенным расходом топливно-энергетических ресурсов, в первую очередь шахтными и вращающимися печами длиной до 100 м;

- широкое развитие производства тонкомолотых и смешанных цементов со строительством новых помольных агрегатов замкнутого цикла и оснащения действующих мельниц сепараторами и устройствами для предварительного измельчения материалов;

- реконструкция, модернизация и замена обеспыливающих и водосточных устройств с целью достижения санитарных норм;

- своевременное развитие сырьевых баз предприятий;

- широкое использование отходов других отраслей промышленности.

Серьезное внимание уделяется повышению качества цемента. Современные технические средства позволяют обеспечить заданную стабильность химического и фазового состава сырьевой шихты, клинкера, стабильность ведения технологических процессов, что обеспечит выпуск цемента заданных состава и строительно-технических свойств.

Раздел 2. Основные технологические процессы, применяемые в настоящее время при производстве цемента в Российской Федерации

Портландцементом называют гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с гипсом и добавками, образующее при затворении водой удобоукладываемое тесто, способное затвердевать в воде и на воздухе.

Портландцементный клинкер — продукт обжига до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из карбонатного, алюмосиликатного компонентов, железосодержащих и корректирующих добавок, которые обеспечивают образование в готовом продукте силикатов кальция (70 % — 80 %) и алюминатной и алюмоферритной фаз (20 % — 30 %).

При этом протекают следующие физико-химические процессы минералообразования:

$$CaCO_3 + Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O + Fe_2O_3 \xrightarrow{450^\circ} CaCO_3 + Al_2O_3 \cdot nSiO_2 + Fe_2O_3 \xrightarrow{900^\circ}$$

$$CaO + Al_2O_3 + nSiO_2 + Fe_2O_3 \xrightarrow{>1200^\circ} 2CaO \cdot SiO_2 + 3CaO \cdot Al_2O_3 + 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$$

$$\xrightarrow{1300\text{-}1450^\circ} 3CaO \cdot SiO_2 + 2CaO \cdot SiO_2 + 3CaO \cdot Al_2O_3 + 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 = C_3S + C_2S + C_3A + C_4AF$$

Основные стадии производства портландцемента представлены на рисунке 2.1.

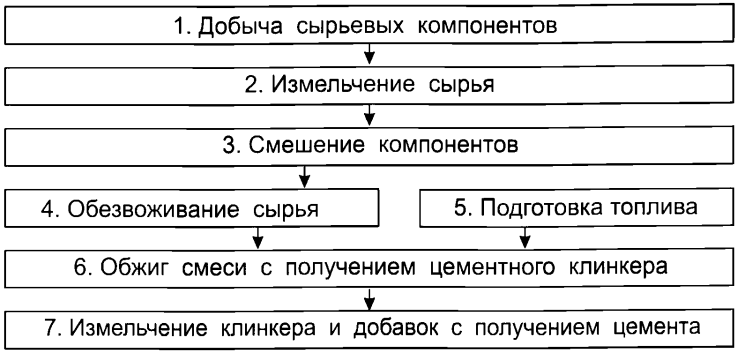


Рисунок 2.1 — Стадии производства портландцемента

При этом некоторые технологические процессы могут совмещаться в одном агрегате или, напротив, одинаковые процессы могут протекать в нескольких агрегатах и осуществляться в другой последовательности. В связи с тем что отдельные сырьевые

материалы имеют различные технологические свойства (прочность, влажность, липкость, абразивность, размалываемость, спекаемость и др.), то для организации наиболее экономичного процесса их переработки и в соответствии с состоянием технологического оборудования и систем автоматизации разработаны и получили промышленную реализацию различные способы производства цемента.

2.1 Основные способы производства цемента

При производстве цемента используются преимущественно мокрый, сухой, полусухой и комбинированный способы. Перечисленные технологии различаются по способам приготовления сырьевой смеси и обжига клинкера [20].

2.1.1 Технологическая схема мокрого способа производства цемента

Технология производства цемента по мокрому способу известна с начала XX века, и ее развитие осуществлялось преимущественно путем совершенствования технических средств (см. рисунок 2.2). В соответствии с требованиями этой технологии сырьевые компоненты подвергаются измельчению до тонкости помола шлама с содержанием до 85 % — 90 % частиц размером 80 мкм и менее. В целях минимизации расхода электроэнергии на помол, обеспечения достаточной гомогенизации компонентов и реологических свойств шлама процесс измельчения осуществляется с добавлением воды.

Измельченный материал (шлам), преимущественно с влажностью 38 % — 42 % (по факту — 31 % — 52 %), поступает во вращающуюся печь, где осуществляется процесс сушки шлама, декарбонизации, спекания (сопровождается химическими реакциями с получением заданного фазового состава клинкера) и охлаждения клинкера. В качестве теплоносителя используются газы с температурой факела 1800 °С — 2000 °С. Продукты сгорания направлены противотоком к движению материала во вращающейся печи.

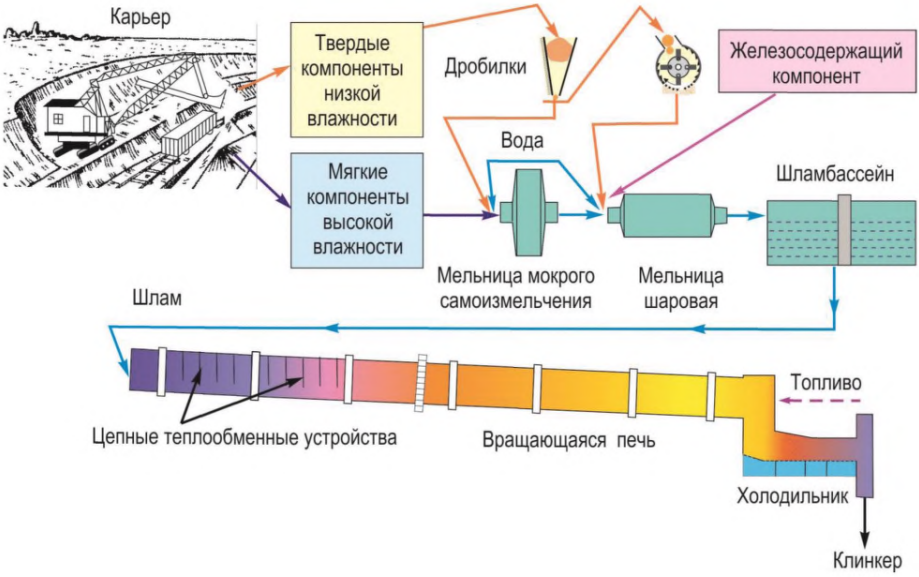


Рисунок 2.2 — Технологическая схема мокрого способа производства

В России более 60 % цемента производится на заводах мокрого способа с ориентировочными показателями вращающихся печей, приведенными в таблице 2.1.

Таблица 2.1 — Основные проектные показатели печей мокрого способа производства

Показатели	Размерность	Производительность, т/сутки				
		500	600	850	1200	1800
Диаметр печи	м	4/3,5	3,6	4,0	4,5	5,0
Длина печи	м	125	150	150	170	185
Холодильник		Рекуператорный		Колосниковый, рекуператорный		
Удельный расход топлива	кг у. т./ т·клинкера	190–230				

В настоящее время на многих цементных заводах, например, на ЗАО «Белгородский цементный завод», ОАО «Себряковцемент», ОАО «Уралцемент» и др., печи пониженной производительности с рекуператорными холодильниками выводят из эксплуатации. Поэтому в дальнейшем мокрый способ будет рассмотрен на примере печей 5 × 185 м. Такие печи эксплуатируют на ЗАО «Осколцемент», ПАО «Мордовцемент», ЗАО «Кавказцемент», ООО «Топкинский цемент» и др.

До недавнего времени мокрый способ рекомендовали к применению для сырьевых компонентов с высокой природной влажностью (выше 15 %). В настоящее время эти нормы пересмотрены, и фактически заводы по традиционной схеме мокрого способа не строят даже при влажности сырья 25 % — 32 %.

2.1.2 Технологическая схема полусухого способа производства

В начале XX века была разработана и нашла широкое применение технология, получившая название полусухого способа, в соответствии с которой сырьевые материалы с естественной влажностью до 15 % — 18 % высушивались в сушильных барабанах до влажности не более 5 % и затем измельчались в шаровых мельницах с одновременной сушкой (см. рисунок 2.3).

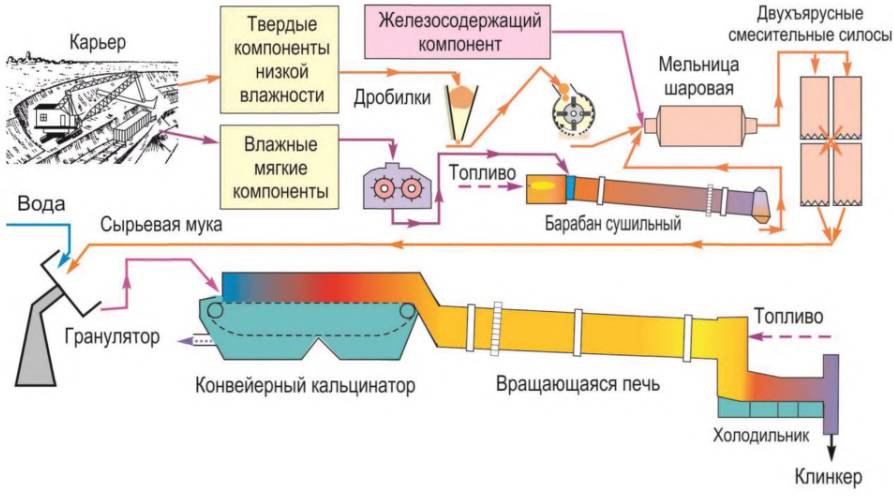


Рисунок 2.3 — Технологическая схема полусухого способа производства

Полученная сырьевая мука направлялась на гранулятор, куда впрыскивалась вода из расчета получения гранул с влажностью ≈8 %. Гранулы поступали на конвейерный кальцинатор, где осуществлялись процессы досушки, подогрева и декарбонизации гранулированной шихты, которая далее направлялась на обжиг во вращающуюся печь. Существенным недостатком полусухого способа являются высокие требования к получению достаточной прочности гранул, разрушение которых вызывает резкое увеличение пылевыбросов в атмосферу и ускорение выхода из строя кальцинатора.

2.1.3 Технологическая схема комбинированного способа

Сущность технологии комбинированного способа производства заключается в том, что процесс измельчения и гомогенизации сырья осуществляется аналогично технологии мокрого способа (см. рисунок 2.4). Подготовленный в соответствии с требуемыми физическими и химическими показателями шлам направляется в прессфильтр, где происходит частичное механическое обезвоживание шлама от влажности 40 % — 45 % до 18 % — 22 %. Агломерация полученного кека осуществляется в грануляторах или сушилках-дробилках, в которых при обработке кека обеспечивается придание ему размеров и формы для оптимизации процесса обжига.

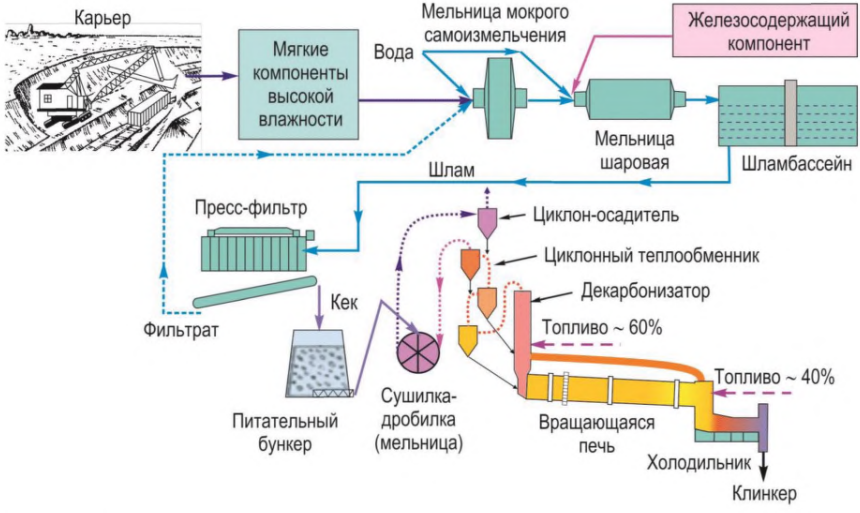


Рисунок 2.4 — Технологическая схема комбинированного способа производства

Такие технологические линии реализованы фирмами «Лафарж» на ОАО «Себряковцемент» и KHD Humboldt Wedag на ПАО «Мордовцемент».

2.1.4 Технологическая схема сухого способа производства цемента

Промышленная технология сухого способа производства цемента разработана в 1830-е годы. Основным преимуществом в данной технологии является более низкий расход топлива на производство клинкера по сравнению с другими технологиями и особенно с технологией мокрого способа. Так, при мокром способе затраты тепла на выпаривание влаги из шлама достигают 40 % — 50 % от общего расхода на обжиг

клинкера, в то время как при сухом способе при естественной влажности сырья 6 % — 25 % эти затраты составляют 10 % — 25 %.

До 1990-х годов широкое распространение сухого способа сдерживалось его недостатками в части повышенного пылевыделения, особенно в печах с конвейерными кальцинаторами, и более сложным процессом усреднения сырьевой шихты.

В конце XX века по мере разработки высокоэффективных агрегатов для помола сырья с одновременной сушкой, пылеулавливающих аппаратов, технологических линий мощностью до 4,0 млн т в год (для технологии мокрого способа максимальная мощность составляет 650 тыс. т в год) широкое распространение получил высокоэффективный сухой способ производства (см. рисунки 2.5–2.7).

В последние годы разработаны и внедрены несколько вариантов новых технологий сухого способа производства, учитывающих физико-химические свойства сырья.

На рисунке 2.5 представлена технологическая схема сухого способа производства при применении материалов высокой влажности.

Технологическая схема сухого способа производства при использовании материалов с низкой влажностью представлена на рисунке 2.6.

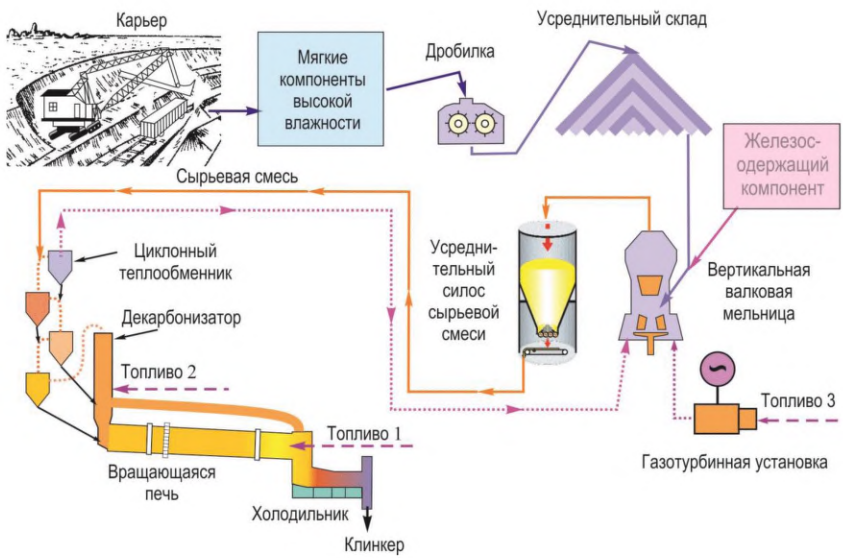


Рисунок 2.5 — Технологическая схема сухого способа при применении материалов высокой влажности

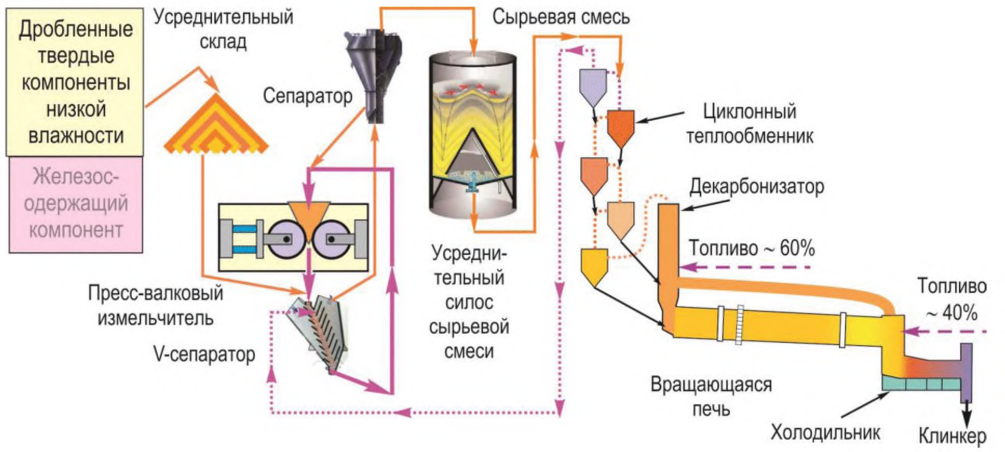


Рисунок 2.6 — Технологическая схема сухого способа при применении материалов низкой влажности

В России такой способ реализован фирмой KHD Humboldt Wedag на заводе ООО «ЮУГПК» в Новотроицке, который в качестве сырьевых компонентов применяет в основном техногенные отходы металлургического производства.

На рисунке 2.7 представлена технологическая схема сухого способа производства при применении мягких компонентов без твердых включений.

Такая технологическая схема реализована фирмой KHD Humboldt Wedag на Первомайском и фирмой FLSmidth на Верхнебаканском заводах Краснодарского края.

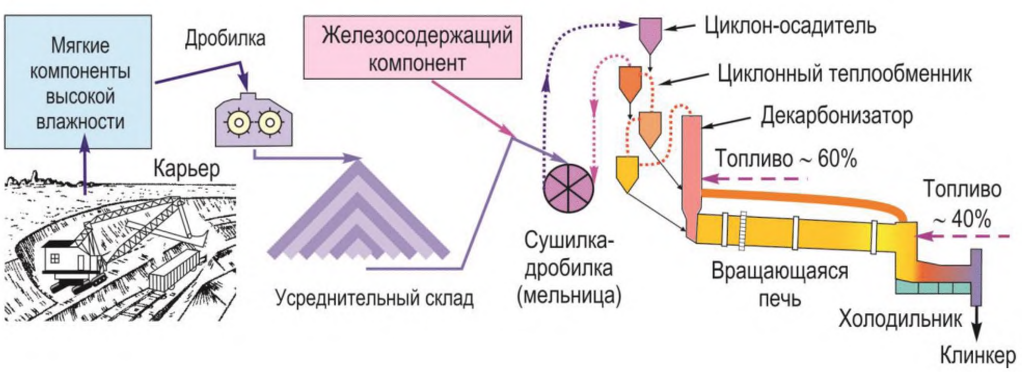


Рисунок 2.7 — Технологическая схема сухого способа при применении мягких компонентов без твердых включений

2.1.5 Преимущества и недостатки способов производства

У каждого способа есть свои достоинства и недостатки. Так, например, в присутствии воды облегчается измельчение материалов и проще достигается однородность смеси, но расход тепла на обжиг сырьевой смеси при мокром способе на 30 % — 40 % больше, чем при сухом. Кроме того, значительно возрастает необходимый объем печи при обжиге мокрой сырьевой смеси, так как значительная часть ее выполняет функции испарителя воды.

Выбор способов производства портландцементного клинкера определяется рядом факторов технологического и технико-экономического характера: свойствами сырья, его однородностью и влажностью, наличием достаточной топливной базы в районе строительства завода.

При природной влажности сырья более 18 % — 20 % и нестабильном химическом составе сырья предпочтительным является мокрый способ. Этот способ выгодно применять также при использовании двух мягких компонентов (глины и мела), так как измельчение их легко достигается разбалтыванием в воде. Тем не менее при современном уровне технического оснащения вышеуказанные факторы не являются серьезным препятствием для применения сухого способа производства.

Сухой способ рационально применять при однородном по составу сырье, если влажность его не превышает 18 % — 20 %. На практике имеются примеры успешного функционирования предприятий с использованием мела и мергеля с влажностью до 26 % (ОАО «Белорусский цементный завод» работает на таком сырье с конца прошлого века). Полусухой способ даст хорошие результаты при изготовлении клинкера из достаточно пластичных сырьевых материалов, когда при грануляции смеси образуются прочные и термостойкие гранулы. При хорошей фильтруемости сырьевых шламов предпочтение следует отдавать комбинированному способу.

При сухом способе производства известняк и глину после выхода из дробилки высушивают до влажности примерно 1 % и измельчают в сырьевую муку. После измельчения ее дозируют, усредняют и корректируют в специальных смесительных силосах и подают в циклонные теплообменники.

Главные преимущества сухого способа производства портландцементного клинкера:

- более высокий, чем при мокром способе производства, съем клинкера с 1 м^2 печного агрегата;

- экономичность способа (снижение расхода топлива, энергетических затрат, себестоимости 1 т цемента).

При технологии мокрого способа производства расход электроэнергии на измельчение сырьевой шихты, как правило, ниже по сравнению с другими способами, а такие компоненты, как мел и глина, диспергируются путем их размучивания. Расход электроэнергии при этом составляет около половины показателя при измельчении шихты, карбонатным компонентом которой являются твердые породы (известняк, мергель, мрамор).

При приготовлении сырьевого шлама необходимо дополнительно вводить 30 % — 50 % воды. В результате удельный расход топлива на обжиг при сухом способе составляет 100–125 кг у. т. на тонну клинкера, а при мокром — 185–230 кг у. т. на тонну клинкера, что обеспечивает снижение себестоимости продукции при сухом способе производства.

При сухом способе приготовления шихты сушка сырья производится перед измельчением или в процессе измельчения в дробилках или мельницах с одновременной сушкой. При мокром способе производства шлам перемещается гидротранспортом — самотеком или с помощью центробежных насосов, при сухом же способе применяют пневмотранспорт, конвейеры и элеваторы, что повышает загрязнение пылью воздуха в цехах и на территории завода и требует установки дополнительного оборудования для обеспыливания аспирационного воздуха.

Объем печных газов при сухом способе на 35 % — 40 % меньше, чем при мокром, при одинаковой производительности печей. В результате при сухом способе производства снижается стоимость обеспыливания печных газов, имеются более широкие возможности использования тепла отходящих из печи газов для сушки сырья, что позволяет снизить общий расход топлива на производство клинкера, но вызывает усложнение технологии производства.

Ниже приводятся ориентировочные показатели работы печей различных способов производства цемента (см. таблицу 2.2) [26].

Таблица 2.2 — Ориентировочные показатели различных способов производства цемента

№ п/п	Параметры	Размерность	Способ производства		
			Мокрый	Комбини-рованный	Сухой
1	Максимальная мощность печи:				
2	- в мире	т/сут	3000	6000	12000
3	- в России	т/сут	1800	2300	6000
4	Расход условного топлива	кг у. т./ т клинкера	215±15	140±10	120±8
5	Расход электроэнергии:				
6	- мягкое влажное сырье	кВт·ч/т·цемента	90±6	105±7	115±8
7	- твердое сырье низкой влажности	кВт·ч/т·цемента	120±8	—	110±7
8	Расход сырья, топлива и воздуха	т/т клинкера	5,0±0,35	3,5±0,25	3,1±0,2
9	Расход огнеупоров в зоне спекания	кг/т клинкера	1,0±0,07	0,5±0,04	0,3±0,02
10	Выход отходящих газов	т/т клинкера	4,0±0,3	2,5±0,18	2,1±0,15
11	Выход CO_2	кг/т клинкера	850±60	710±50	710±50
12	NO_x * в факеле при газовом топливе	мг/нм^3	1000±70	2000±140	2500±175
13	NO_x * в отходящих газах	мг/нм^3	1000±70	500±35	500±35
14		кг/т клинкера	3,5±0,25	1,1±0,01	0,9±0,06
15	Качество клинкера	%	100	105	90
16	Технология	—	Простая	Сложная	Сложная
17	Управление процессом	—	Сложное	Простое	Простое
18	Степень автоматизации	—	Низкая	Высокая	Высокая

* Здесь и далее NO_x - смесь оксидов азота NO и N_2O в пересчете на NO_2.

2.2 Сырьевые материалы — добыча, хранение и подготовка

2.2.1 Сырьевые материалы и их добыча

Современный цементный завод перерабатывает 5–20 тыс. т сырья в сутки. Основные сырьевые материалы — известняк, мел, мергель и сланец или глина — доставляются с карьера. В большинстве случаев карьер расположен близко к заводу.

Добыча всех природных сырьевых материалов включает горные и карьерные работы. Материалы чаще всего добывают открытым способом. Добыча включает следующие операции: бурение, взрывные работы, экскавация, транспортирование и дробление.

После первичного дробления сырьевые материалы транспортируются на цементный завод для создания буфера и дальнейшей переработки. Другие сырьевые материалы, такие как боксит, железная руда, доменный шлак или литейный (формовочный) песок, привозятся из других регионов или с других предприятий.

Сырьевые материалы должны иметь химический состав, который обеспечивал бы процесс обжига клинкера и его качество.

2.2.2 Характеристика сырьевых материалов

Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера состоит из карбонатного, алюмосиликатного и корректирующего компонентов.

Основными карбонатсодержащими компонентами являются мел, известняк, мергель, алюмосиликатными — глина, металлургические шлаки и золы. Корректирующим компонентом, как правило, являются железосодержащие добавки — шлаки сталеплавильные, пиритные огарки.

Наиболее распространенные материалы представлены в таблице 2.3.

Помимо «основных» оксидов (CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3, SiO_2), сырьевые материалы содержат примеси, концентрация которых составляет 0,05 % — 1,0 % (см. таблицу 2.4).

Таблица 2.3 — Химический состав компонентов, масс. %

Материалы	ППП	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SiO_2 / Al_2O_3
Компоненты — природные материалы							
1. Мел	39,8–43,9	0,4–3,9	0,3–1,3	0,2–0,8	50,3–55,5	0,1–0,6	2,6
2. Известняк	33,6–44,2	0,2–12,3	0,1–2,5	0,1–1,9	41,2–54,4	0,3–2,2	4,8
3. Мергель	22,2–36,2	6,2–39,7	0,3–8,2	0,1–3,8	19,7–51,8	0,8–10,1	2,7
4. Глина	2,5–17,2	53,2–73,1	11,2–17,8	4,6–7,5	1,0–8,2	0,8–2,6	4,4
Компоненты — техногенные материалы							
5. Огарки	0–8,8	4,8–19,7	2,8–9,5	65,2–80,1	2,8–9,5	0,3–5,2	2,0
6. Шлак доменный	—	20–44	5–23	0,2–1,0	29–53	0–18	2,3
7. Шлак мартенов.	—	18–22	6–10	3–8	35–42	5–20	2,5
8. Шлак ОЭМК [1)]	7,50	28	5	16	41	15	5,6
9. Шлам аглодом. "Тулачермет"	0	8,95	3,03	40,17	8,01	1,41	2,9
10. Шлак конверт. «Б», Липецк	0	7,4	1,51	64,25	7,73	2,64	4,9

[1)] Оскольский электрометаллургический комбинат.

Материалы	ППП	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SiO_2 / Al_2O_3
11. Шлак конвер. «А», Липецк	0	2,0	0,53	75,13	10,91	4,71	3,8
12. Шлак конвертер. «Северосталь», Череповец	0	3,6	0,46	75,98	10,7	4,7	7,9
13. Щебень шлаковый (доменный) ЮУГПК[1)]	4,67	36,38	9,23	8,10	33,21	5,05	3,9
14. Шлам аглодоменный	0	13,7	1,54	68,6	11,1	2,89	8,9
15. Нефелиновый шлам	2,42	30,5	2,98	2.03	58,2	2,0	10,0
16.ЗШО[2)] Рязанской ГРЭС	4,33	51,6	23.16	17,17	3,1	0,57	2,2

[1)] Южноуральская горноперерабатывающая компания.

[2)] ЗШО — золошлаковые отходы.

Материалы	ППП	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SiO_2 / Al_2O_3
17. ЗШО Губкинской ТЭС	9,93	47–53	23–27	7–12	1–2,5	1–1,5	2,0
18. ЗШО Воронежской ТЭС	0,1	49–52	17–21	10–15	2,6–4	1,5	2,6
19. ЗШО ТЭС Мосэнерго	20–24	57–58	21–22	9,5	4,5	2,5	2,6

Таблица 2.4 — Содержание примесей в компонентах в пересчете на оксиды, % масс.

Компоненты	K_2O	Na_2O	SO_3	Cl^-	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	MnO	BaO	SrO	ZrO_2	V_2O_5	ZnO	Σ
Известняк	0	0	0,01	0	0,01	0,01	0	0,04	0	0,01	0	0	0	0,08
Глина	2,10	1,13	0,42	0,18	0,69	0,11	0,05	0,10	0	0,03	0,01	0,02	0,01	4,85
Шлак домен.	0,46	0,30	1,04	0	0,64	0	0,05	0,13	0	0,04	0,02	0	0	0,88
Шлак мартен.	0,06	0,03	0,42	0	0,29	0,53	1,14	6,67	0	0,02	0	0,23	0	9,39
Шлак ОЭМК	0,10	0,33	0,15	—	0,35	—	0,70	1,40	—	—	—	—	—	2,68
Шлак ОЭМК	0,10	0,33	0,15	0,1	0,35	—	0,21	2,15	—	—	—	—	—	2,68
Огарки пирит.	0,26	0,28	10,5	—	0,46	—	—	—	—	—	—	—	—	1,15
Шлам аглод	0,18	0,1	0,79	0,1	0,5	—	0,003	—	—	—	—	—	—	1,67
Шлак «Б»	0,31	0,43	0,5	0,18	0,21	—	—	0,8	—	—	—	—	—	2,43
Шлак «А»	0,6	0,03	0,37	0,22	0,2	—	0,01	1,29	—	—	—	—	—	2,72
Шлак конверт.	0,54	0,8	0,71	0,43	0,78	0,3	0,06	0,94	—	0	0	—	—	4,56

Компоненты	K_2O	Na_2O	SO_3	Cl^-	TiO_2	P_2O_5	Cr_2O_3	MnO	BaO	SrO	ZrO_2	V_2O_5	ZnO	Σ
Щебень шлак.	0,43	0,32	1,14	0	0,47	0,05	0,37	0,46	0,04	0,03	0,01	0,02	0,02	3,36
Шлам нефел.	0,43	0,54	0,22		0,22	0,43	0,01	0,11	—	—	—	—	—	—
ЗШО Рязанской ГРЭС	0.52	0.35	0.09	0.001	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,961
ЗШО Губкинской ТЭС	0.3	1.9	0.4	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,61
ЗШО Воронеж. ТЭС	0.29	3.1	0.9	—		—	—	—	—	—	—	—	—	4,29
ЗШО ТЭС Мосэнерго	1	1.5	0.7	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,21

Карбонатный компонент оценивается по содержанию $CaCO_3$, которое должно быть не менее 76 %. В известняках и мелах $CaCO_3$ содержится от 95 % до 100 %; в мергелистых известняках — 90 % — 95 %; в известняковых мергелях — 75 % — 90 %; в мергелях — 40 % — 75 %.

Мергель, содержащий ≈76 % $CaCO_3$, является мергелем-натуралом, и при добавлении к нему Fe_2O_3 получается высокореакционная сырьевая смесь. Такая сырьевая смесь снижает температуру спекания клинкера на 50 °С — 100 °С, обеспечивает высокое качество клинкера, экономию топлива, огнеупоров и снижение выбросов в атмосферу отходящих из печи парниковых газов, CO_2 и NO_x.

Качество алюмосиликатного компонента оценивается по трем показателям:

- отношению SiO_2/Al_2O_3;
- наличию крупнокристаллического кварца (фракции более 80 мкм);
- наличию примесей.

Оптимальное отношение SiO_2/Al_2O_3 = 3,5–3,8. Если отношение SiO_2/Al_2O_3 > 4, то для приготовления оптимального состава в сырьевую смесь необходимо вводить алюмосодержащую добавку, а при отношении SiO_2/Al_2O_3 < 3 — кремнеземсодержащую. Оценка алюмосиликатного компонента по кварцу и примесям будет представлена в соответствующих разделах.

Железосодержащая добавка оценивается по отношению Fe_2O_3/SiO_2 и Fe_2O_3/Al_2O_3, которые должны быть не менее 0,4 и 2,0 соответственно.

Глины представлены кварцем, глинистыми минералами — каолинитом, монтмориллонитом, галлуазитом, бейделитом. Присутствуют (≈3 %) щелочесодержащие минералы — иллит, микроклин и альбит. Важным показателем качества глины является содержание в ней крупнокристаллического кварца, так как при превышении определенной величины необходима повышенная температура спекания клинкера, из-за чего повышаются расход топлива, объем отходящих из печи газов, включая CO_2, SO_x, NO_x, и, как следствие, выброс вредных веществ в атмосферу. Поэтому необходимо минимизировать содержание крупнокристаллического кварца в сырьевой смеси. Для «Осколцемента» это ограничение равно 1,5 %, для «Себряковцемента» — 4 %.

Доменный шлак представляет собой стекло. Закристаллизованный доменный шлак имеет мелилитовый состав и содержит немного α — $CaO{\cdot}SiO_2$ и MgO.

Мартеновский шлак в основном содержит FeO, Fe_3O_4, Fe_2O_3 и $FeO{\cdot}SiO_2$. Присутствуют также β — SiO_2, MgO, монтичеллит $CaO{\cdot}MgO{\cdot}SiO_2$ и диопсид $CaO{\cdot}MgO{\cdot}2SiO_2$.

Шлак ОЭМК содержит $2CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ (А), MgO, γ-C_2S, $7CaO \cdot MgO \cdot 4SiO_2$, $5CaO \cdot MgO \cdot 3SiO_2$, FeO и Fe_2O_3.

Так как шлаки содержат значительное количество CaO, то при их применении снижается содержание $CaCO_3$ в сырье, следовательно, затраты тепла на декарбонизацию и тепловой эффект клинкерообразования, что значительно снижает выброс в атмосферу продуктов горения и CO_2 из сырья. Поэтому чем больше некарбонатной извести в шлаке, тем больше будут экономический и экологический эффекты. Кроме того, при применении шлака решается еще одна экологическая проблема: снижается объем шлакохранилищ.

Значительный экологический эффект достигается также при применении в качестве кальцийсодержащего компонента отхода производства глинозема — белитового (нефелинового) шлама, что практически реализовано на ООО «Ачинский Цемент», ЗАО «Пикалевский цемент».

Отходы различных отраслей промышленности могут частично заменять природные сырьевые материалы. Относительно использования отходов в качестве сырьевых материалов см. 2.7.2.

Для производства белого цемента пригодны сырьевые материалы высокой чистоты, содержащие оксиды кальция, кремния и алюминия. Сырьевые материалы, например высокочистый известняк, белые глины, каолин, кварцевый песок, полевой шпат, диатомит, выбираются с малым количеством железа, марганца и титана. Оксиды металлов влияют на белизну продукта и являются одним из факторов, определяющих их выбор в качестве сырьевых компонентов. Чтобы повысить белизну клинкера белого цемента, иногда используют минерализаторы в небольшом количестве (0,5 % — 3 %).

Все приведенные свойства сырьевых компонентов оказывают значительное влияние на технологические процессы производства и качество клинкера, а также на состояние окружающей среды. При оптимальном составе сырьевой смеси, когда отношение SiO_2/Al_2O_3 составляет 3,5–3,8, ограничено содержание крупнокристаллического кварца, создаются благоприятные предпосылки для выпуска высококачественного цемента, высокой стойкости футеровки, следовательно, для экономии огнеупоров и топлива. Кроме того, при этом решается важнейшая экологическая задача по предотвращению клинкерного пыления и настылей в печных системах, что дополнительно приводит к экономии легированных колосников.

2.2.3 Влияние примесей в сырье на процессы обжига и качество клинкера

Примеси в основном присутствуют в алюмосиликатных компонентах. Многие из этих элементов в малых количествах являются минерализаторами, интенсифицируя процесс спекания и повышая качество клинкера. Отдельные примеси, такие как соединения S, K, Na, Cl, Cr, негативно влияют на технологию обжига и качество клинкера [27]–[29].

Содержание ***ангидрида серной кислоты SO_3*** в сырьевой смеси ограничивается до 0,8 %, поскольку сернистые соединения в высокотемпературной зоне улетучиваются, накапливаются в печных зонах, затем вновь конденсируются, постоянно циркулируя в пределах печной системы. Содержание этих соединений в обжигаемом материале может увеличиться примерно в два и более раз, особенно в присутствии щелочей. При концентрации кислорода в отходящих газах более 2 % — 2,5 % серосодержащие соединения при 1100 °С — 1300 °С временно образуют силикосульфат кальция $2C_2S{\cdot}CaSO_4$, при разложении которого образуется алит пониженной активности. При концентрации O_2 более 3 % — 4 % сера, окисляясь до SO_3, в значительной степени остается в клинкере, снижая его качество. При пониженной концентрации $O_2 < 1,5$ % в зоне горения повышается содержание более легколетучего SO_2, что снижает SO_3 в клинкере, повышает его качество, но повышается выброс оксидов серы в атмосферу и, следовательно, ухудшается состояние окружающей среды. Кроме того, SO_3 является одной из основных причин образования настылей в теплообменниках и колец в печи. Наличие повышенного количества SO_3 в клинкере может снижать прочность цемента в результате заведомого уменьшения необходимого количества вводимого гипса при помоле, так как SO_3 клинкера одновременно титруется на колонке при определении количества гипса в цементе.

Щелочи (K_2O и Na_2O) и хлор почти всегда содержатся во всех сырьевых материалах, переходя затем в клинкер. При обжиге сырьевой смеси щелочные, как сернистые и хлористые соединения, возгоняются и накапливаются в газовых и материальных потоках. Отрицательное влияние щелочесодержащие соединения при значительном их содержании оказывают и на обжиг клинкера, изменяя последовательность процесса минералообразования, значительно ускоряя образование белита, изменяя свойства клинкерного расплава, замедляя алитообразование. Летучесть хлора в высокотемпературных зонах печи, по данным фирмы KHD, составляет 99 %, K_2O — 50 %, Na_2O — 10 %.

Наличие в материале печи щелоче- и серосодержащих соединений нарушает процесс гранулообразования клинкера, приводит к клинкерному пылению и снижению активности клинкера. Изменение грануляции клинкера нарушает режим его охлаждения в колосниковом холодильнике, что приводит к снижению теплового КПД холодильника и повышению расхода топлива на обжиг клинкера.

Кроме того, присутствие щелочей в цементе нежелательно, так как они иногда являются причиной непостоянства сроков схватывания при гидратации цемента, образования выцветов на цементных изделиях и появления трещин в бетонах. Для выпуска высокопрочных цементов необходимо ограничить в сырьевой смеси содержание R_2O до не более чем 0,5 %.

При сухом способе производства накопление щелочей в совокупности с оксидом серы и особенно хлором приводит к настылеобразованию в системе запечных теплообменников, избавление от которого возможно с помощью байпасирования части отходящих из печи газов. Поэтому содержание хлора в сырьевой шихте ограничивается величиной 0,015 %, в других источниках — не более 0,012 %. По техническим требованиям [4], содержание хлора в сырьевой смеси можно повысить до 0,1 % без байпасирования части отходящих газов при условии содержания SO_3 менее 0,6 и суммы щелочных оксидов менее 0,2 %.

Оксид магния (MgO) может поступать в сырьевую смесь с известняком или с глиной в виде примеси в них доломита ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$) или магнезита ($MgCO_3$). В интервале температур 600 °С — 750 °С в процессе разложения магнезита (доломита) выделяется MgO, который частично растворяется в клинкерном расплаве, незначительно снижая его вязкость, частично в алите, белите и минералах плавнях. В основном MgO остается в свободном состоянии в виде кристаллического периклаза, который медленно гидратируется, когда раствор или бетон уже затвердели. В результате гидратации MgO происходит увеличение объема, которое нарушает прочность изделия и даже может вызвать его разрушение. Поэтому содержание MgO в сырьевой смеси ограничивается не более чем 3 %.

Присутствующие в сырьевой смеси совместно с оксидом магния оксиды SO_3 и R_2O взаимно нейтрализуют отрицательное действие друг друга, и в этом случае содержание MgO в сырьевой смеси может быть увеличено до 6 % [28].

MgO в сырьевую смесь может поступать и с доменным шлаком, используемым в качестве сырьевого компонента. Однако оксид магния (MgO) в шлаке находится в ос-

новном в различных шлаковых минералах, таких как диопсид ($CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$), акерманит ($2CaO \cdot 2MgO \cdot SiO_2$), мервинит ($3CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$), монтичеллит ($CaO \cdot MgO \cdot SiO_2$), стекле и лишь менее 1 % в виде периклаза MgO. При использовании шлака в качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси в клинкере оксид магния выделяется преимущественно в свободном состоянии в виде периклаза, равномерно распределяясь в поле шлифа в виде мельчайших зернышек размером от 1 до 7 мкм. При нагревании шлаковой сырьевой смеси выделение MgO из стекла или из шлаковых минералов происходит в процессе твердофазовых реакций при 1200 °С — 1350 °С, и вследствие более позднего появления MgO рекристаллизуется в меньшей степени и не успевает значительно увеличиться в размерах.

Оксиды марганца. Марганец присутствует в глинах и мергелях в виде родохрозита $MnCO_3$ или в доменных шлаках в виде алабандина (MnS), радонита ($MnO \cdot SiO_2$) и тефроита ($MnO_2 \cdot SiO_2$), но в заводских сырьевых смесях количество их весьма невелико. Оксид марганца (MnO) положительно влияет на процессы минералообразования, которые ускоряются в присутствии 0,5 % — 2,0 % MnO и завершаются на 50 °С — 100 °С ниже обычной температуры. В процессе обжига понижается вязкость расплава и улучшается кристаллизация алита.

Введение в сырьевую смесь 0,5 % — 1,0 % Mn_2O_3 способствует увеличению количества жидкой фазы и образованию призматических кристаллов алита размером 10–40 мкм. Одновременно увеличивается содержание в клинкере алита и алюмоферритной фазы и уменьшается количество C_3A и C_2S. Присутствие оксида марганца повышает гидратационную активность цемента в 28-суточном возрасте.

Фосфорный ангидрид (P_2O_5) может содержаться в сырьевых материалах лишь как случайная примесь и в самых ничтожных количествах. Содержание оксида фосфора в сырьевой смеси в количестве 0,2 % — 0,3 % оказывает положительное влияние, активизируя белитовую фазу. При повышенном содержании P_2O_5 в клинкере замедляется процесс твердения цементного камня.

Двуокись титана (TiO_2) всегда содержится в глинах и мергелях в количестве 0,01 % — 0,5 %, входя в состав чаще в виде минералов рутила (TiO_2), ильменита ($FeO \cdot TiO_2$), перовскита ($CaO \cdot TiO_2$) и затем попадает в клинкер. Наличие двуокиси титана в небольших количествах оказывается полезным, так как она содействует лучшей кристаллизации клинкерных минералов. В клинкере TiO_2 на 80 % — 90 % концентрируется в алюмоферритной фазе, через которую и оказывает влияние на фазовые соот-

ношения в клинкерной системе. Обычно содержание TiO_2 в сырьевой смеси должно составлять не более 0,3 %.

Оксид стронция (SrO) в природных условиях чаще всего встречается в виде минералов целестина ($SrSO_4$) и стронцианита ($SrCO_3$) как возможные примеси в известняке, доломите, мергеле и гипсоносных глинах. В сырьевых смесях оксид стронция в количестве 0,5 % ускоряет процесс клинкерообразования, снижает температуру образования клинкерного расплава и его вязкость, в количестве 0,25 % от массы клинкера обеспечивает рост гидратационной активности цемента. При повышении содержания оксида стронция прочность цемента снижается. Таким образом, присутствие SrO в количестве 0,2 % — 0,3 % в клинкере весьма желательно для повышения активности портландцемента.

Наиболее нежелательным оксидом в сырьевой смеси и клинкере является ***оксид хрома (Cr_2O_3)***. Европейским парламентом и Евросоюзом в 2003 году принята Директива 2003/53/ЕС об ограничении применения цемента с содержанием шестивалентного хрома (Cr (VI)) более 2 мг/кг, он является контактным аллергеном. Возможным источником хрома в клинкере являются глины, мергели, бокситы, пиритные огарки, а также хромсодержащие огнеупоры. Однако при устойчивой работе печи и наличии в зоне спекания обмазки сомнительно попадание в клинкер хрома из огнеупоров. Исследованиями влияния содержания Cr_2O_3 на свойства сырьевой смеси при нагревании установлено, что оксид хрома в количестве 0,1 % — 0,3 % положительно влияет на процессы минералообразования клинкера и способствует формированию оптимальной его кристаллической структуры. При 0,2 % — 0,3 % Cr_2O_3 обеспечивается повышение гидратационной активности цемента. Но при содержании свыше 0,3 % Cr_2O_3 снижается прочность цемента. Для снижения содержания Cr (VI) при помоле цемента применяются дехроматоры. Так на ЗАО «Осколцемент» использовались дехроматоры французской фирмы CHRYSO Reductis 50 и дехроматор «Сумыхимпрома».

2.2.4 Транспортировка сырья с карьера

Для транспортировки сырья применяют железнодорожный транспорт, автотранспорт, конвейерный и гидротранспорт. При расстоянии карьера от завода 1–8 км применяют ленточные транспортеры, которые являются наиболее экономичным видом транспорта. Такой вид транспорта в последние годы реализован фирмами KHD Huboldt Wedag на Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» и ПАО «Мордовцемент».

При применении ленточных транспортеров или гидротранспорта первичное измельчение производят на карьере.

При применении мягкого пластичного сырья при мокром или комбинированном способах производства экономичен гидротранспорт. В практике известны случаи перекачки сырья на расстояние до 40 км. Для перекачки применяют поршневые или центробежные насосы высокого давления. Такую систему перекачки на 7 км применяют на ЗАО «Осколцемент».

Гидротранспорт сырья является более предпочтительным в аспекте экологической безопасности. Все другие виды транспортировки сырья, а также выгрузка породы в отвалы сопровождаются поступлением пыли в окружающую среду, особенно при применении автотранспорта, когда происходит интенсивное разрушение дорожных покрытий во время движения по ним транспортных средств. На многих карьерах пылевыделения с дорог с щебеночным и гравийным покрытием составляют около 70 % — 90 % всех выделений.

2.2.5 Первичное измельчение сырья

Измельчение сырья производят в дробилках и мельницах. Традиционно на цементных заводах применяют дробилки со способом разрушения путем давления и удара. Дробилки с применением давления — щековые, конусные, валковые. Дробилки ударного действия — молотковые, ударно-отражательные, ударно-валковые.

Кроме того, применяют и мельницы самоизмельчения («Аэрофол» и «Гидрофол»).

Щековые и конусные дробилки из-за низкой кратности дробления эксплуатируются только на старых заводах, и для вновь строящихся заводов их не проектируют.

Валковые дробилки имеют широкое распространение для первичного измельчения мягких пород и применяют в настоящее время в России на заводах ОАО «Себряковцемент», ООО «Азия Цемент», Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» и др. (см. рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 — Роторы валковых дробилок для крупного, среднего и мелкого дробления фирмы Bedeschi

Преимущества валковой дробилки:

- возможность дробления липких высоковлажных материалов;
- простота конструкции;
- низкий удельный расход электроэнергии;
- малый износ дробящих элементов;

Недостатки:

- низкая кратность дробления;
- затруднения при дроблении твердых пород.

Мельницы самоизмельчения (см. рисунок 2.9) применяют для помола как мягких, так и твердых пород по мокрому и сухому способам на многих заводах России: ЗАО «Осколцемент», ЗАО «Белгородский цемент», ООО «Топкинский цемент», ОАО «Спасскцемент», ООО «Староцементный завод (Сухой Лог) и др. В этих мельницах материал измельчают без мелющих тел в барабане большого диаметра — 7 м. Однако при измельчении твердых пород необходимо производить доизмельчение материала.

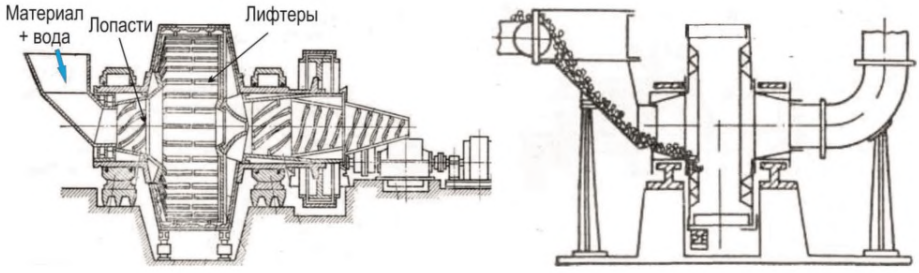


Рисунок 2.9 — Мельницы самоизмельчения мокрого и сухого способов производства

Преимущества:

- повышенная производительность;
- пониженный расход электроэнергии;
- отсутствие мелющих тел;
- исключена операция догрузки и перегрузки мельницы мелющими телами;
- может измельчать как мягкие, так и твердые материалы;
- может работать по мокрому и сухому способам;
- может измельчать материал большого размера (до 300–500 мм).

Недостаток:

- повышенная крупность измельченного материала, требующего домола.

Комбинированные двухроторные дробилки ударного действия (см. рисунок 2.10) получили широкое распространение за рубежом для первичного измельчения твердых пород. В России двухроторные дробилки в настоящее время не используются.

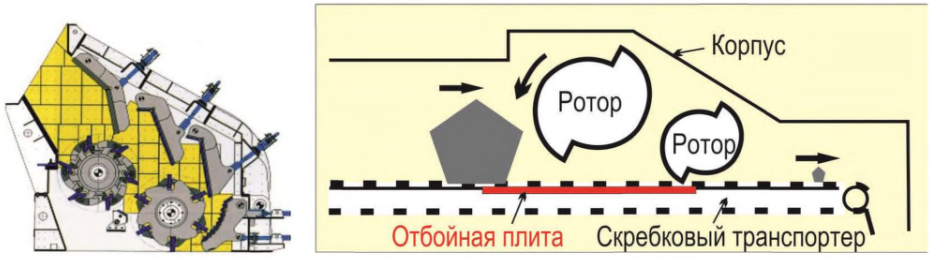


Рисунок 2.10 — Комбинированные двухроторные ударно- и валково-отражательные дробилки

Преимущества:

- высокая кратность измельчения (до 70 раз);
- пониженный расход электроэнергии;
- компактность и простота конструкции;
- возможность регулирования размера фракции дробимого материала в процессе работы;
- высокая степень автоматизации.

Недостатки:

- высокий износ дробящих элементов;
- повышенное пылевыделение.

Применяют также мобильные установки с дробилками, установленными на подвижной платформе. От такой установки дробленый материал подают на завод ленточными транспортерами.

Преимущества:

- дробилка максимально приближена к забою, что сокращает затраты на транспортировку исходного материала до дробилки;

- применение наиболее экономичного транспорта — ленточных транспортеров;

- отсутствие зданий и сооружений.

Недостаток:

- повышенная стоимость установки.

Мобильные установки с различными дробилками производят немецкие фирмы Thyssen Krupp, Hazemag и др. В цементной промышленности России их не применяют.

На стадии дробления сырья происходит выделение пыли на участках загрузки и выгрузки материалов из бункера, дробилки, а также при перегрузке с транспортера на транспортер. На этих участках необходимо устройство систем аспирации с очисткой запыленного воздуха в пылеулавливающем оборудовании.

2.2.6 Усреднение и хранение сырьевых компонентов

Для хранения сырьевых компонентов при мокром способе в России применяются закрытые и открытые склады с мостовыми грейферными кранами или кранами перегружателями.

При мокром способе производства сырье в карьерах или на промплощадках закладывается в бурты дробленного материала. Оттуда материал поступает в дробильное отделение и далее на тонкое измельчение.

При сухом способе, как правило, применяют крытые усреднительные склады с штабелеукладчиками и штабелеразборщиками. Первичное усреднение сырьевой смеси производят путем послойной укладки материала различного состава в штабели. Разборку штабеля производят разборщиком вертикально поперек слоев, в результате чего обеспечивается 2–3-кратное усреднение материала. Такие склады реализованы на ряде заводов России различными зарубежными фирмами (см. рисунок 2.11). Прямоугольные склады работают на заводах ПАО «Мордовцемент», ЗАО «Строительные материалы», ООО «ЮУГПК», в Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» и др., круглый — на ОАО «Сухоложскцемент».

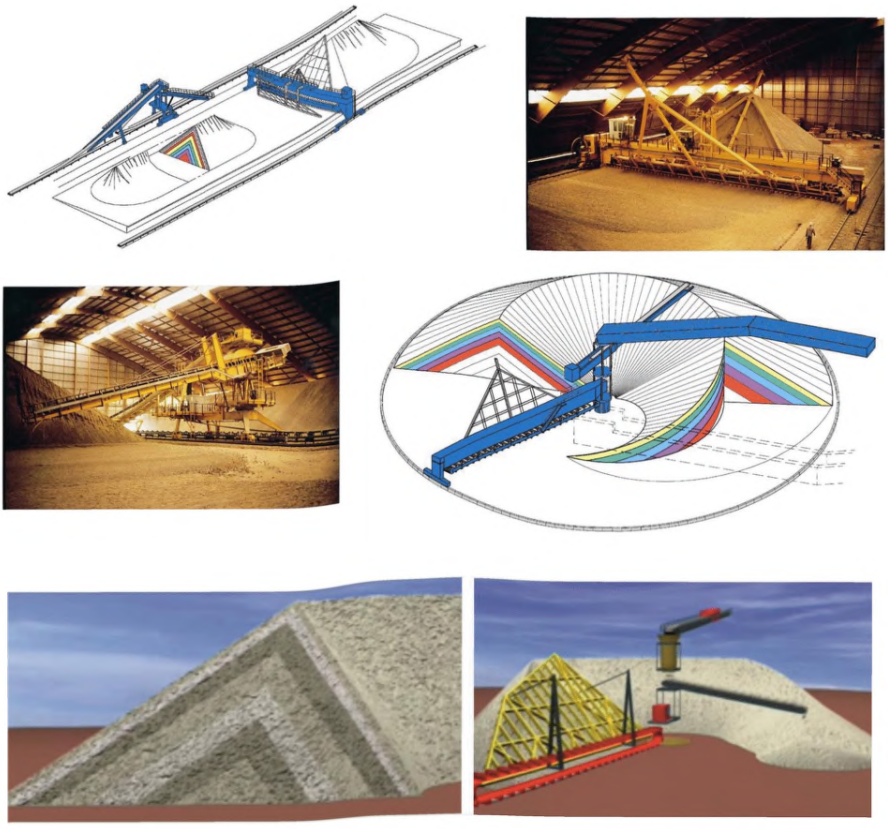


Рисунок 2.11— Усреднительный склад сырьевых компонентов фирмы Claudius Peters

Преимущество кругового усреднительного склада по сравнению с прямоугольным заключается в упрощенной схеме укладки и разборки штабеля, при прямоугольном складе необходимо поступательное перемещение укладчика и разборщика.

Процессы усреднения и хранения сырьевых компонентов сопровождаются выделением пыли, поэтому необходимо устройство укрытий очагов интенсивного пылевыделения и системы аспирации с очисткой запыленного воздуха в пылеулавливающем оборудовании.

2.3 Измельчение сырьевых материалов

Измельчение сырьевых материалов производят как по мокрому, так и по сухому способу.

2.3.1 Мокрый помол с получением сырьевого шлама

По мокрому способу помол производят в шаровых мельницах по традиционной распространенной в России технологии с добавлением воды, что способствует повышению эффективности этого процесса и улучшению экологической ситуации. Выделение пыли возможно при загрузке материалов в мельницу.

Эффективным способом экономии топлива является снижение влажности шлама, которое можно осуществить применением разжижителей. Эффективным разжижителем сырьевого шлама является органический разжижитель на основе лигносульфонатов. Введение разжижителя в количестве 0,1 % — 0,15 % позволило снизить влажность на ряде заводов, работающих на меловом и известняковом сырье, на 3,0 % — 3,5 %.

В последнее время на ряде цементных предприятий (ЗАО «Мальцовский портландцемент», ЗАО «Белгородский цементный завод», ЗАО «Михайловцемент», ЗАО «Ульяновскцемент», ОАО «Холсим (Рус)» (Вольск), ПАО «Мордовцемент») используют разжижители нового поколения «Литопласт М», расход которых в 2–3 раза ниже, чем расход технических лигносульфонатов. При применении разжижителей «Литопласт М» происходит снижение расхода топлива на обжиг клинкера на 10–25 кг (в пересчете на условное топливо) и повышение производительности вращающихся печей на 4 % — 5 %.

2.3.2 Помол сырья по сухому способу

При сухом способе в зависимости от твердости и влажности сырья предусматриваются различные схемы и оборудование.

2.3.2.1 Рациональная схема помола высоковлажного мягкого сырья без трудноразмалываемых включений

Технологическая схема помола, устройство и принцип работы системы представлены на рисунке 2.12. Измельчение и сушку сырьевой смеси производят в молот-

ковой сушилке-дробилке (мельнице), предназначенной для обработки мягких малоабразивных, высоковлажных и вязких сырьевых материалов, таких как мел, мергель и глина.

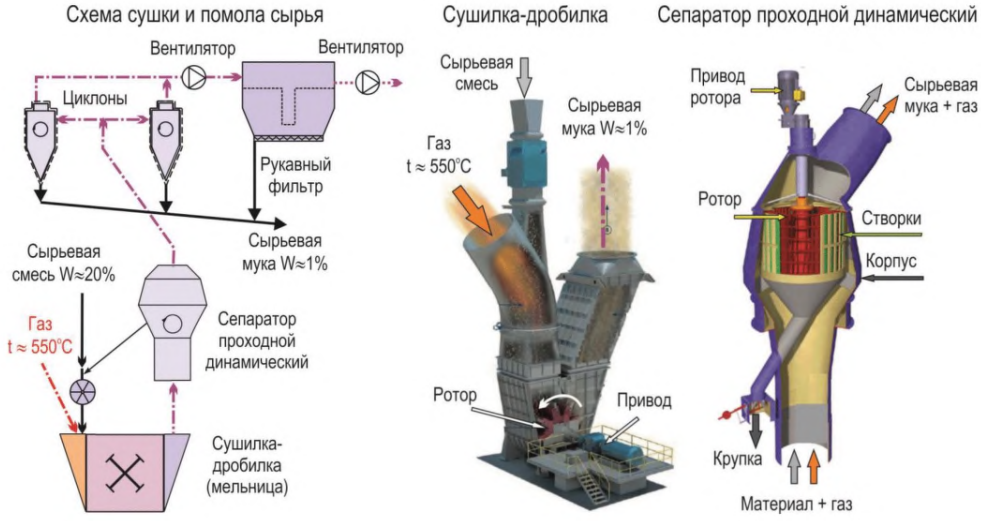


Рисунок 2.12 — Схема сушки и помола сырья в молотковой сушилке-дробилке (мельнице) фирмы FLSmidth

Преимущества:

- простота технологической схемы;
- практически отсутствие самостоятельного сырьевого цеха;
- возможность сушки сырья высокой влажности до 32 %;
- пониженный расход электроэнергии;
- высокая скорость помола, обеспечивающая более легкую автоматизацию процесса.

Недостаток:

- ограниченность применения — только для мягкого сырья без твердых трудноразмалываемых включений.

Приведенная схема реализована датской фирмой FLSmidth на Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», ОАО «Себряковцемент» и китайской фирмой «Хень Юань» на заводе ООО «Азия Цемент» для сырья с влажностью до 25 %.

2.3.2.2 Схема помола сырья «тандем» с трудноразмалываемыми включениями

В случаях, когда в сырьевой смеси имеются включения различной размалываемости, целесообразно применять совмещенную схему «тандем» (см. рисунок 2.13).

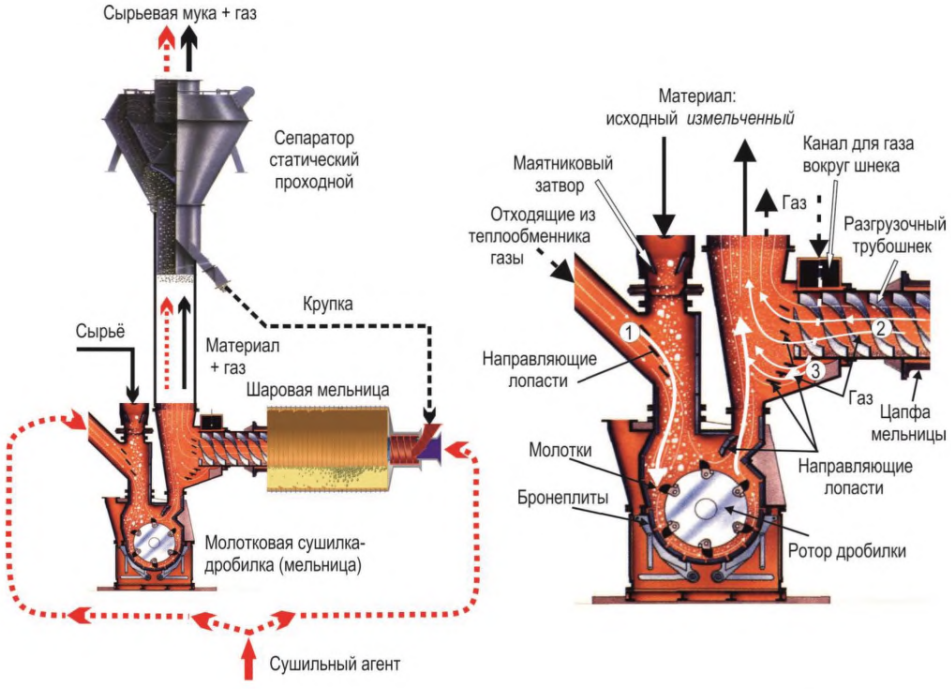


Рисунок 2.13 — Схема «тандем» для помола материала различной размалываемости и влажности

Преимущества:

- применимость схемы для помола сырья различной размалываемости и влажности;

- высокая скорость помола, обеспечивающая более легкую автоматизацию процесса;

- умеренный расход электроэнергии.

Недостатки:

- усложненная схема;

- необходимость применения шаровой мельницы.

Такая схема реализована фирмой KHD на цементном заводе ОАО «Сода» в Башкирии.

2.3.2.3 Помол трудноразмалываемого сырья в вертикальной тарельчато-валковой мельнице

В последние годы наибольшее распространение для помола сырья получили вертикальные тарельчато-валковые мельницы (ВТВМ) фирм Loesche, Gebr.Pfeiffer, Polysius (Германия), FLSmidth (Дания) [30]. Мельница представляет собой вращающийся размольный стол с приводом, мелющие валки, установленные на поворотных рычагах, соединенных посредством шарнирных тяг с силовым нажимным элементом (см. рисунок 2.14). Сушильный агент подают под размольный стол, и он поступает на сушку через зазор между корпусом и размольным столом.

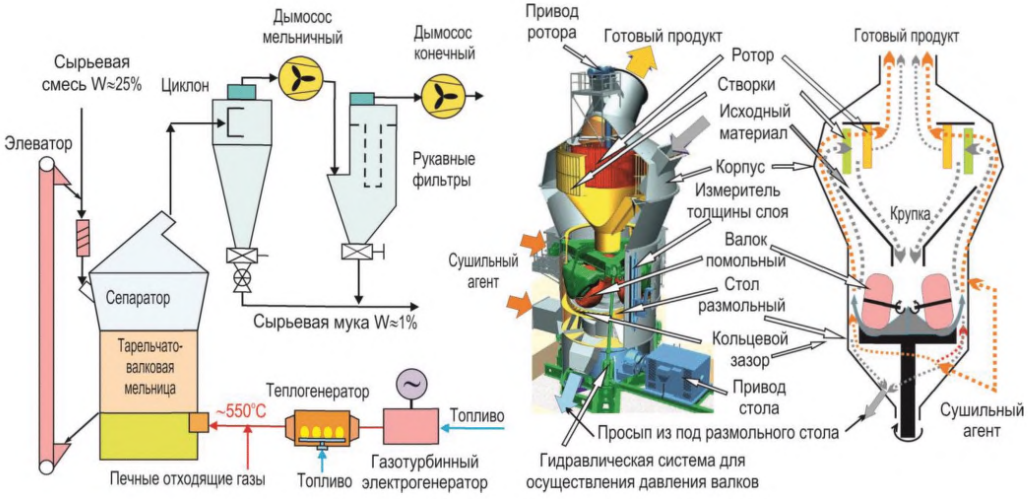


Рисунок 2.14 — Схема помола сырья с вертикальной тарельчато-валковой мельницей

Преимущества:

- возможность измельчения материала различной размалываемости и влажности с исходным размером до 80–100 мм — 98 % от общей массы и до 200–300 мм — 2 % от общей массы;

- компактность (сепаратор встроен в мельницу);

- пониженный расход электроэнергии только на помол сырья (5–7 кВт·ч/т);

- малые эксплуатационные расходы — отсутствуют операции перегрузки, загрузки, выгрузки мелющих тел;

- низкий уровень шума;

- высокая скорость помола, обеспечивающая более легкую автоматизацию процесса;

- малое пылевыделение;

- высокая производительность (до 1000 т/ч).

Недостатки:

- сложность конструкции и трудоемкость ремонта;

- повышенный расход электроэнергии на транспортирование размолотого материала восходящим газовым потоком;

- частая замена или восстановление размалывающих поверхностей при измельчении абразивных материалов.

Такая схема на мягком сырье высокой влажности реализована на ПАО «Мордовцемент» и на твердом сырье низкой влажности — на ОАО «Новоросцемент» (ц/з «Первомайский») в Краснодарском крае.

2.3.2.4 Вариант схемы помола трудноразмалываемого сырья

Наиболее экономичной схемой для помола и сушки твердого сырья низкой влажности является схема с пресс-валковым измельчителем (роллер-прессом) (см. рисунок 2.15). Особенность работы системы заключается в двухступенчатой классификации измельчаемого материала и транспортировке крупной фракции элеватором.

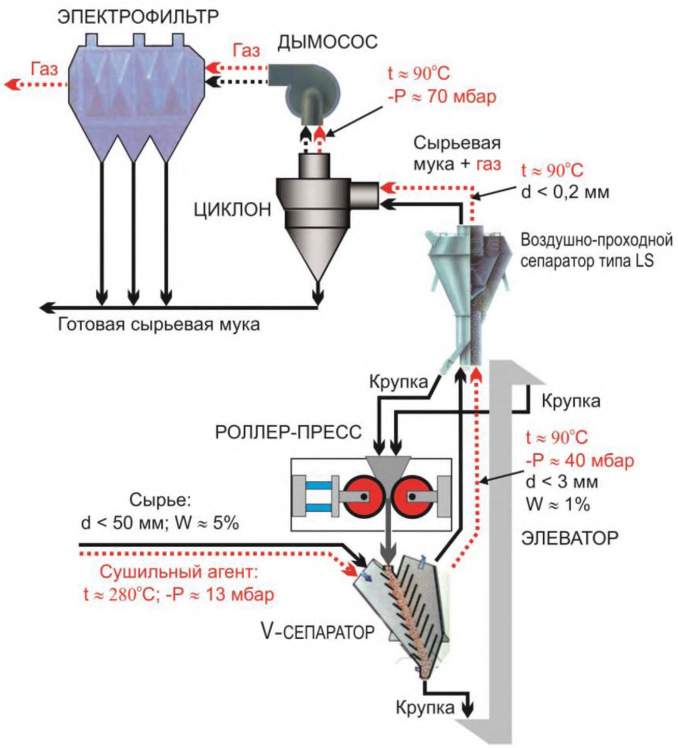


Рисунок 2.15 — Схема помола и сушки твердого сырья низкой влажности с роллер-прессом

Преимущества:

- низкий расход электроэнергии — примерно на 10 % ниже, чем на ВТВМ;

- относительная простота конструкция;

- малые эксплуатационные расходы — отсутствуют операции перегрузки, загрузки, выгрузки мелющих тел;

- сниженные ремонтные затраты;

- высокая скорость помола, обеспечивающая более легкую автоматизацию процесса;

- низкий уровень шума.

Недостаток:

- применимость только для твердых пород пониженной влажности.

Такая схема реализована фирмой KHD Humboldt Wedag на ООО «ЮУГПК», вследствие чего на этом заводе удельный расход электроэнергии составляет менее 110 кВт·ч/т цемента.

2.4 Корректировка и усреднение сырьевой смеси

Сырьевые смеси заданного химического состава производят из неоднородных сырьевых компонентов. Чтобы обеспечить оптимальный химический состав и избежать возможных отклонений, сырьевую смесь корректируют и усредняют. Состав и однородность сырьевой смеси определяют такие важнейшие показатели производства, как качество цемента, удельный расход топлива, огнеупоров и электроэнергии. На цементных заводах России применяются порционная и поточная системы корректирования.

В современных условиях с созданием непрерывного способа анализа с применением гамма-нейтронного анализатора (ПГНА) целесообразно корректировку и усреднение сырьевой смеси производить поточным способом. По сравнению с порционным этот способ имеет следующие преимущества:

- отсутствие промежуточных коррекционных емкостей;
- получение более однородного состава сырьевой смеси из-за смешения компонентов в процессе помола;
- снижение расхода сжатого воздуха на перемешивание смеси в емкостях.

Недостатки:

- необходимость непрерывного анализа смеси в потоке;
- необходимость гамма-нейтронного анализатора или системы получения усредненной пробы смеси для оперативного периодического анализа.

2.4.1 Корректировка и усреднение шлама при мокром способе

Основными способами корректировки шлама являются порционный, полупоточный и поточный. Схемы порционного и полупоточного корректирования с применением вертикальных и горизонтальных бассейнов приведены на рисунках 2.16 и 2.17.

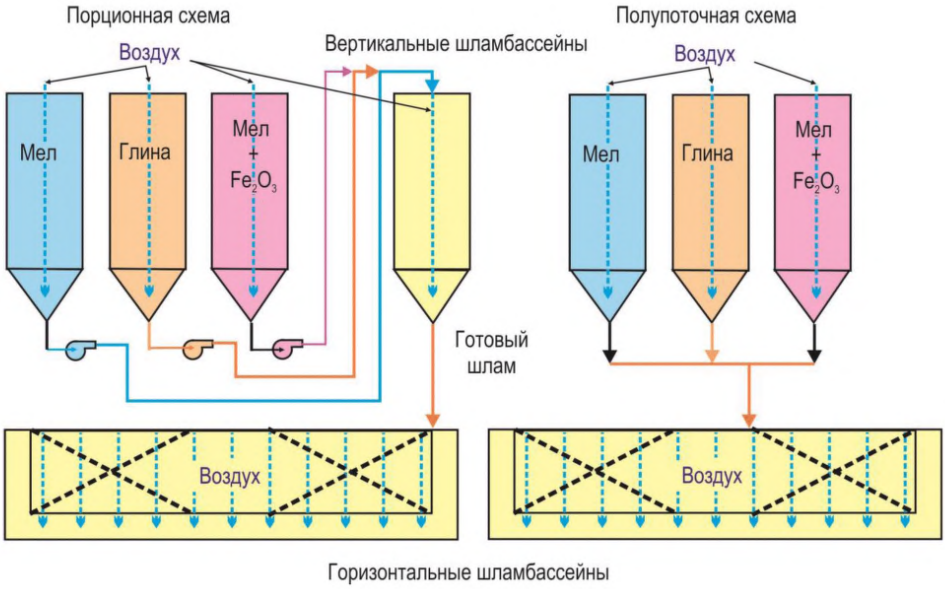


Рисунок 2.16 — Порционный и полупоточный способы корректирования шлама

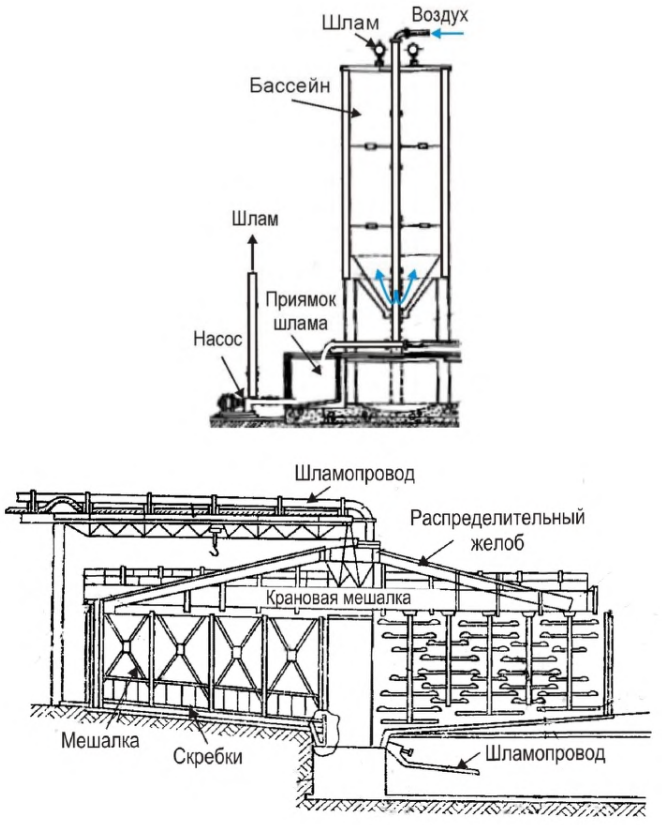


Рисунок 2.17 — Вертикальный и горизонтальный шламбассейны

После пневмоперемешивания шлама в вертикальных бассейнах определяется его химический состав на рентгеновском спектрометре, и согласно расчету соответствующее количество перекачивается в бассейны готового шлама: вертикальный или горизонтальный — емкостью 5000–8000 м^3.

Преимущество:

- обеспечение высокой стабильности химического состава шлама.

Недостатки:

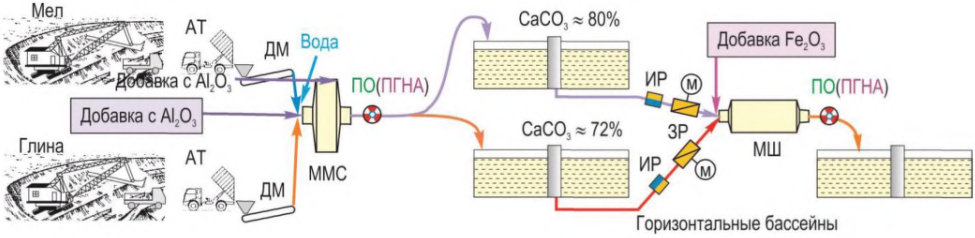
- необходимость значительного времени на приготовление шлама;
- необходимость использования большого количества емкостей.

Для лучшего перемешивания шлама его следует разливать по «зеркалу» бассейна, для чего над бассейном устанавливается распределительный желоб, вращаю-

щийся вместе с крановой мешалкой, и с воздушным перемешиванием - барботированием сжатым воздухом.

С увеличением производительности заводов и развитием автоматизации возникла поточная схема корректирования, когда смешивание различных по составу шламов производится непрерывно в потоке. Одним из необходимых элементов поточной схемы является оперативный анализ химического состава сырьевой смеси, точное измерение и дозирование количества материала и шлама в непрерывном режиме.

Для получения оперативного и достоверного анализа шлама необходимо получение представительной пробы и проведение экспресс-анализа. В настоящее время имеются технические возможности организации такого процесса в двух вариантах: дискретный анализ усредненной пробы и непрерывный анализ материалов непосредственно в потоке (см. рисунок 2.18). Дискретный анализ усредненной пробы по примеру ЗАО «Осколцемент» можно организовать путем отбора из потока шлама каждые 2–3 мин порции около 15–20 л, чтобы за час набрать 0,5 м^3 шлама, который одновременно измельчается в специальном агрегате, представляющем собой подобие молотковой дробилки с вертикальным ротором. Экспресс-анализ осуществляют на рентгеновском спектрометре за несколько минут.



АТ — автотранспорт; ДМ — дозатор массовый; ММС — мельница мокрого самоизмельчения; ПО — пробоотборник; ПГНА — поточный гамма-нейтронный анализатор; ИР — индукционный расходомер шлама; МШ — мельница шаровая; ЗР — задвижка регулируемая

Рисунок 2.18 — Поточная схема приготовления шлама

В последние годы разработан поточный нейтронный анализатор, который позволяет определять химический состав и влажность шлама непрерывно в потоке.

Дозирование твердых материалов рекомендуется осуществлять весовыми ленточными дозаторами. Для измерения объема шлама наиболее рациональным является индукционный расходомер.

При таком подходе достигается более однородный состав конечного шлама, так как при небольших отклонениях соотношения «высокого» и «низкого» шламов из-за их близкого состава отклонение химического состава конечного шлама не будет выходить за пределы нормативного. Если же смешивать исходные компоненты (мел и глину), то небольшие колебания в дозировании компонентов приводили бы к значительным отклонениям химического состава готового шлама.

2.4.2 Корректировка и усреднение сырьевой смеси при сухом способе

При сухом способе в России применяют две схемы корректирования сырьевой смеси: полупоточную и поточную. Полупоточная схема с двухъярусными силосами распространена на старых заводах, например на Спасском и Невьянском. В последние годы с применением экспрессных анализов в потоке большее распространение получили поточные схемы. Такие схемы реализованы в двух вариантах, при которых корректировка и усреднение сырьевой смеси производится до сушки и помола, т. е. кусковых влажных компонентов, или — после сушки и помола — сухих порошков. Ниже представлены варианты этих схем, реализованных на заводах России различными фирмами.

Возможности усреднения сырья на различных технологических переделах показаны на рисунке 2.19. Наибольшее, 10–15-кратное усреднение обеспечивают силосы новейшей конструкции.

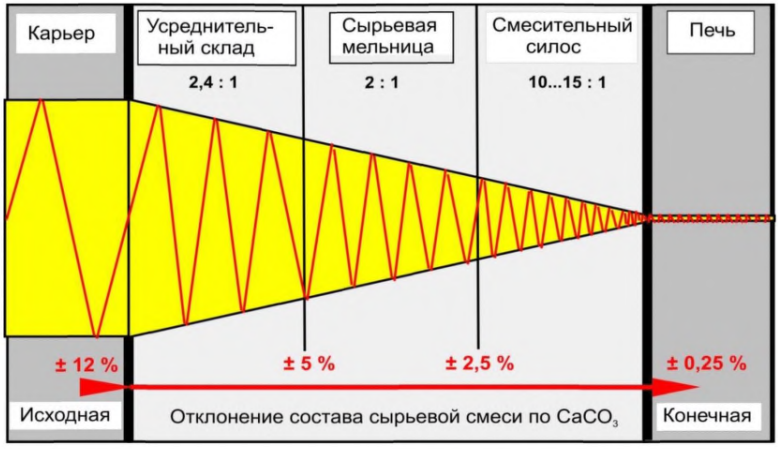


Рисунок 2.19 — Степень усреднения сырья на различных технологических переделах

Силос состоит из наружного железобетонного цилиндрического корпуса, распределительной многопоточной системы загрузки, внутреннего конуса, системой аэрации днища и усреднения сырьевой муки, разгрузочных аэрожелобов и бункера. Наклонное по всему диаметру днище силоса оснащено радиально расположенными аэроплитами.

Сжатый воздух с низким давлением снижает сцепление материала, и он начинает течь в псевдоожиженном слое под собственным весом. Аэрированный сыпучий материал поступает из основной емкости силоса через окна конуса по аэрожелобам в разгрузочный бункер, где он частично дезаэрируется и далее по аэрожелобу и элеватором подается в дозирующий блок и далее в циклонный теплообменник.

Усреднение смеси производится в силосе и под смесительным конусом. Процесс усреднения включает в себя три этапа (см. рисунок 2.20).

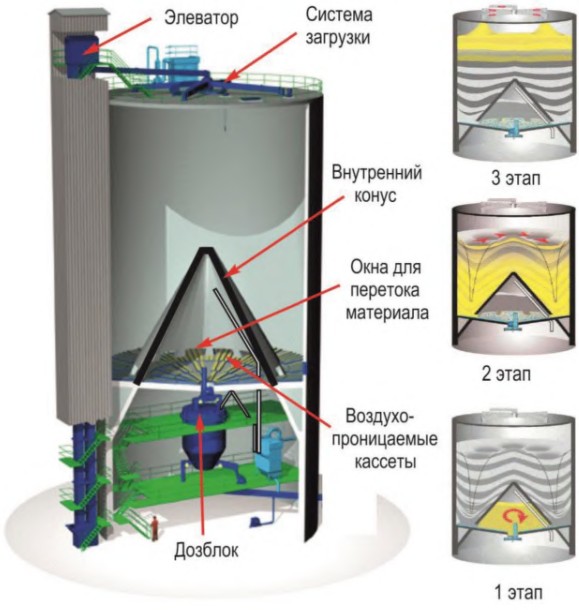


Рисунок 2.20 — Смесительный силос и этапы смешения фирмы Claudius Peters

1-й этап — многопоточная система загрузки. Через специальный распределитель на крыше силоса сырьевая мука равномерно загружается по всей поверхности силоса, образуя тонкие слои с возможно различным химическим составом сырья. Чем тоньше слой, тем выше эффективность смешивания.

2-й этап — гравитационное смешивание в основной емкости силоса. Благодаря локальной аэрации днища силоса сырье воронкой течет под воздействием силы тяжести вниз в основную емкость. При этом смешиваются различные слои, выравнивая естественную неоднородность сырья. Эффект смешивания достигается соприкосновением разных воронок, которые образуются в результате разгрузки материала из силоса по кругу.

3-й этап — пневматическое перемешивание в смесительной конусной камере. Наружное кольцо служит для разрыхления материала и обеспечения его текучести. Каждая секция имеет два окна во внутреннем конусе для транспортирования материала к внутренней камере. Внутреннее кольцо аэрирующих элементов обеспечивает гомогенизацию материала в конусе силоса и выгрузку материала из силоса. Для равно-

мерной гомогенизации материала поочередно по окружности включаются по одной секции наружного кольца через одну-две секции.

Таким образом создаются условия для формирования 12 воронок перемешивающих горизонтально расположенные слои.

Подобные схемы реализованы фирмой KHD Humbold Wedag с использованием оборудования фирмы Ibau на технологических линиях ООО «ЮУГПК» и фирмой Claudius Peters на технологической линии ЗАО «Строительные материалы».

Поточный способ корректирования сырьевой смеси до сушки и помола влажных кусковых компонентов реализован фирмой FLSmidth на Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» и ОАО «Себряковцемент» (см. рисунок 2.21).

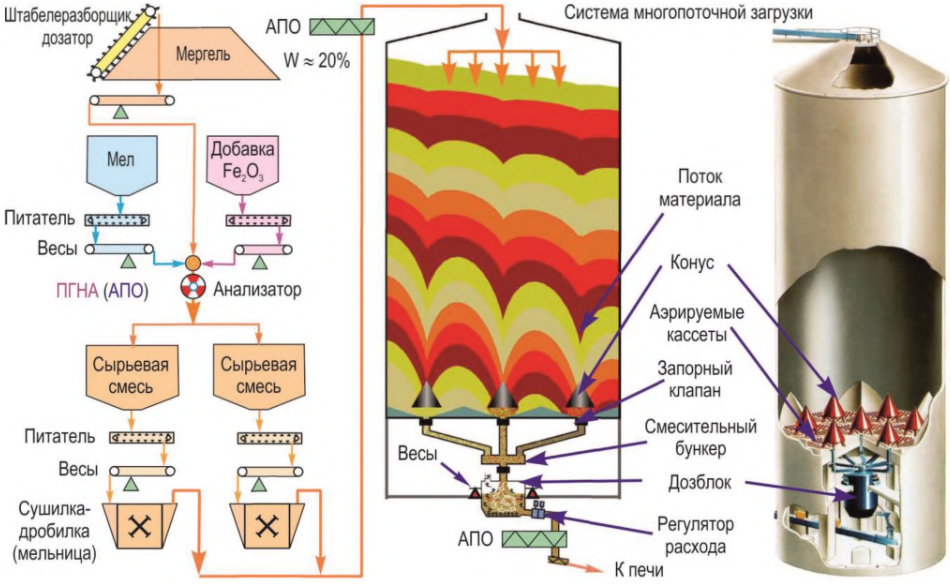


Рисунок 2.21 — Поточная схема корректирования сырьевой смеси до сушки и помола, реализованная фирмой FLSmidth на Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»

На заводе ООО «Азия Цемент» в Пензенской области китайской фирмой «Хень Юань» реализован полупоточный способ корректирования (см. рисунок 2.22).

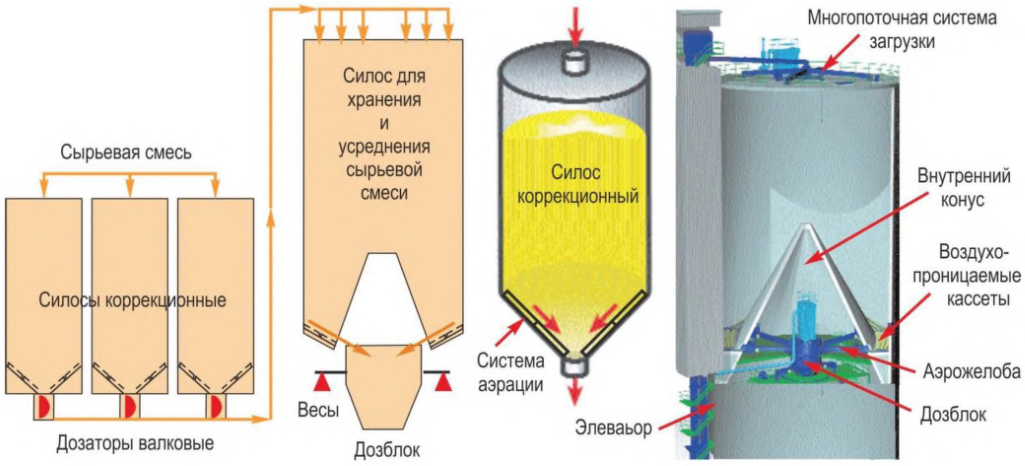


Рисунок 2.22 — Коррекционные силосы и силосы для хранения и усреднения сырьевой смеси фирмы «Хень Юань» на заводе ООО «Азия Цемент»

Когда применяют мягкие компоненты (мел, глину, мергель), имеющие тенденцию к агрегированию, возникают определенные затруднения при смешении порошков, и в таких случаях необходимо обеспечить усреднение смеси непосредственно в помольном агрегате с получением на выходе сырьевой смеси заданного состава. Для этого, как отмечено выше, целесообразно применять поточную схему корректирования с применением гамма-нейтронного анализатора непрерывного действия (см. рисунок 2.23).

Такая схема реализована фирмой FLSmidth и успешно реализована на ОАО «Себряковцемент».

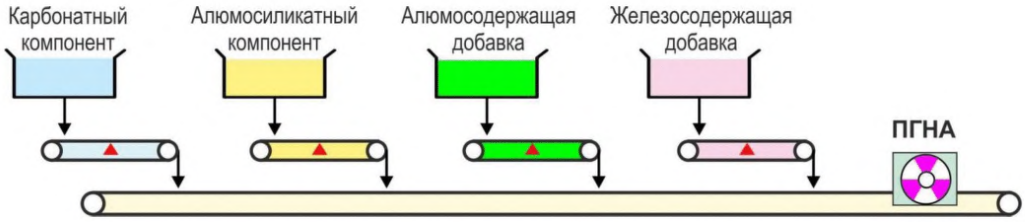


Рисунок 2.23 — Поточная схема корректирования с применением гамма-нейтронного анализатора непрерывного действия

2.5 Характеристика, подготовка и сжигание топлива

В цементной промышленности для обжига цементного клинкера, сушки сырья и добавок применяют твердое, жидкое и газообразное топливо. Кроме того, могут использоваться альтернативные виды топлива. Более подробная информация приведена в 2.7.3.

2.5.1 Характеристика топлива

Характеристика топлива включает следующие показатели: химический состав, теплоту сгорания, расход воздуха на горение, выход продуктов горения, жаропроизводительность (теоретическую температуру горения) и содержание в сухих продуктах горения $CO_2 + SO_2 = RO_2^{max}$ при отсутствии избытка воздуха.

2.5.1.1 Твердое топливо

К основным видам твердого топлива, применяемого в цементной промышленности, относятся каменные и бурые угли, горючие сланцы. В России в качестве твердого топлива применяют преимущественно каменный уголь (см. таблицу 2.5).

Таблица 2.5 — Параметры, характеризующие состав твердого топлива

Элементарный состав твердого топлива							
Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера орг.	Сера кол.	Зола	Влага
C	H	O	N	$S_{орг}$	$S_{колч}$	A	W
Рабочая масса — индекс C^p							
Сухая масса — индекс C^c							
Горючая масса — индекс C^r							
Органическая масса — индекс C^o							

В 1950–1960-е годы в России применяли преимущественно угольное топливо. Впоследствии (вплоть до конца XX века) практически все заводы перешли на газообразное топливо. В зарубежной цементной промышленности практически применяют только уголь. В настоящее время, по данным [31], наблюдается тенденция к возврату к угольному топливу и в России.

Каменный уголь — характеристика горючей массы:

а) состав:

- углерод — 75 % — 90 %;
- водород — 4 % — 6 %;
- кислород — 2 % — 15 %;
- сера — 0,5 % — 0,7 %;
- летучие — 10 % — 50 %;
- зольность — 10 % — 30 % [1] (сухой массы);
- влажность — 5 % — 15 % (природной рабочей массы);
- RO_2^{max} [2] — 18,0 % — 19,3 %;

б) теплота сгорания $Q_н^г$ — 31–35 МДж/кг [3];

в) жаропроизводительность t^{max} — 2200 °С;

г) теоретический расход воздуха на 1 кг у. т. — 7,63 $нм^3$;

д) выход продуктов горения на 1 кг у. т. — 7,92 $нм^3$;

е) нижний концентрационный предел воспламенения угольной пыли — 114 $г/м^3$;

ж) температура воспламенения — 470 °С.

2.5.1.2 Жидкое топливо

В качестве жидкого топлива для вращающихся печей может применяться в основном топочный мазут марок 40 и 100.

а) состав:

- углерод — 86,1 % — 86,3 %;
- водород — 9,6 % — 10,7 %;

---

[1] При использовании сланцев зольность топлива может достигать и 50 %. При этом сырьевая шихта корректируется с поправкой на присадку золы.

[2] $RO_2^{max} = CO_2 + SO_2$ в сухих продуктах сгорания при теоретическом расходе воздуха на горение.

[3] В системе СИ тепловой единицей является джоуль. Однако на практике широкое распространение имеют единицы «кал» и «кут» (килограмм условного топлива). Соотношение между ними — 1 кг у. т. = 7000 ккал = 29,31 МДж; 1 ккал = 4,19 кДж.

- сера — 0,5 % — 3,5 %;

- влажность — 0 % — 2 %;

- RO_2^{max} = 15,9 % — 16,2 %;

б) теплота сгорания $Q_н^r$ = 38,3–40,3 МДж/кг;

в) жаропроизводительность t^{max} = 2240 °С;

г) теоретический расход воздуха на 1 кг у. т. — 7,63 $нм^3$;

д) выход продуктов горения на 1 кг у. т. — 8,17 $нм^3$;

е) температура застывания — М 40 < +10 °С, М 100 < +25 °С;

ж) температура вспышки — М 40 > 90 °С, М 100 > 110 °С.

В последние годы из-за высокой стоимости мазут практически не применяют в цементной промышленности России, поэтому способы его подготовки и сжигания в цементной печи рассматриваться не будут.

2.5.1.3 Газообразное топливо

В настоящее время наиболее распространенным топливом в цементной промышленности России является природный газ, который в основном состоит из метана и незначительного количества высокомолекулярных углеводородов.

Характеристика природного газа:

а) состав:

- CH_4 — 81,7 % — 98,7 %;

- C_nH_m — 1,2 % — 9,5 %;

- CO_2 — 0,1 % — 0,4 %;

- N_2 — 0,5 % — 8,5 %;

- RO_2^{max} — 11,6 % — 12,0 %;

б) теплота сгорания:

- $Q_н^p$ — 36–38 МДж/$нм^3$;

- $Q_н^{ст}$ — 33–36 МДж/ст. $м^3$ [1)];

[1)] Ст.$м^3$ (стандартный $м^3$) — объем газа при давлении 760 мм рт. ст. и 20 °С, применяют при коммерческих расчетах в Российской Федерации (1 ст. $м^3$ = 0,932 $нм^3$; 1 $нм^3$ = 1,073 ст. $м^3$).

в) жаропроизводительность t^{max} — 2040 °С;

г) теоретический расход воздуха на 1 кг у. т. — 7,77 нм^3;

д) выход продуктов горения на 1 кг у. т. — 8,68 нм^3.

2.5.2 Складирование и безопасное хранение угля

Площадки для складирования угля должны быть спланированы так, чтобы исключить их затопление паводковыми или грунтовыми водами.

Запрещается:

- складировать уголь свежей добычи на старые отвалы угля, пролежавшие более одного месяца;

- принимать на склады уголь с явно выраженными очагами самовозгорания;

- перемещать горящий уголь транспортерными лентами и отгружать их в железнодорожный транспорт или бункера;

- располагать штабели угля над источниками тепла (паропроводами, трубопроводами горячей воды, каналами нагретого воздуха и т. п.), а также над проложенными электрокабелями и нефтепроводами;

- предусмотреть станцию инертизации с жидким или газообразным CO_2.

Неотъемлемой составной частью угольного отделения является центральная система пылеотсоса, которая должна обеспечить полное отсутствие или наличие минимального по толщине слоя пыли на полах и поверхностях агрегатов. В таком случае исключается возможность возникновения взрывоопасной атмосферы в результате поднятия пыли или возгорания слоя осевшей пыли.

Складской силос рассчитан на стойкость к давлению взрывной волны 2 бар (избыточному). На крышке установлен взрывной клапан для отвода взрывной волны и факела на случай взрыва, фильтр очистки воздуха, уровнемеры и термометр. Унос из фильтра составляет не более 10 мг/нм^3 [32].

В России для хранения угля применяются крытые (ОАО «Ангарскцемент», ООО «Красноярский цемент» и другие заводы) и открытый (ОАО «Спасскцемент») склады с мостовыми грейферными кранами.

2.5.3 Подготовка твердого топлива

2.5.3.1 Требования к форсуночному топливу

В качестве твердого топлива в цементном производстве России применяют каменный уголь, который для сжигания в печи необходимо подвергать определенной подготовке.

Во вращающейся печи производят факельное сжигание угля, который предварительно подвергают сушке и помолу до порошкообразного состояния.

Требования к форсуночному топливу:

- теплота сгорания низшая — $Q_н^р \geq 21$ МДж/кг;
- зольность — $A^Ф \leq 30$ % [1];
- влажность — $W^Ф$ ~1 % — 2 %;
- остаток на сите № 02 — R_{02}~1,5 % — 2,0 %; № 008 — R_{008}~10 % — 15 % [2].

2.5.3.2 Схемы подготовки форсуночного топлива

Подготовка топлива сводится к сушке и помолу угля. При этом применяют три принципиально различные схемы:

- объединенная с печью система, когда весь сушильный агент направляется в печь в качестве первичного воздуха для транспортирования угольного порошка (см. рисунок 2.24);

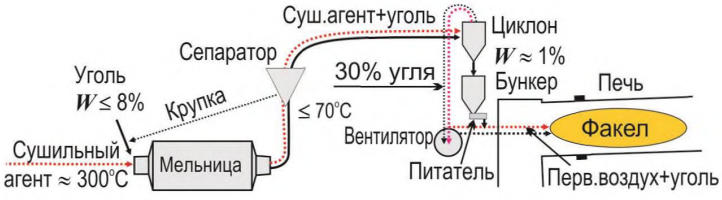


Рисунок 2.24 — Объединенная с печью система подготовки угля

---

[1] При использовании сланцев зольность топлива может достигать и 50 %. При этом сырьевая шихта корректируется с поправкой на присадку золы.

[2] Тонкость помола угольной шихты зависит от содержания в ней летучих веществ.

- разъединенная схема, когда применяется индивидуальная, независимая от печи сушильно-помольная система (см. рисунок 2.25);

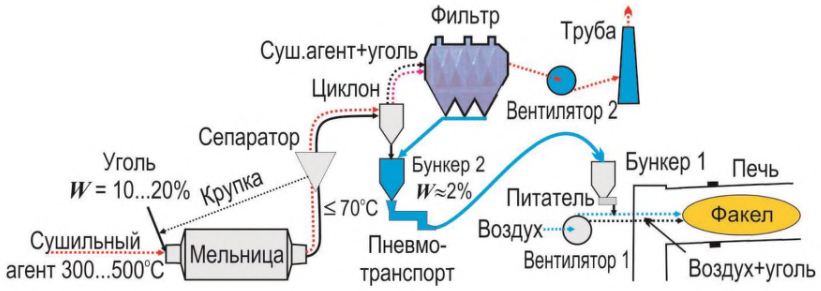


Рисунок 2.25 — Разъединенная с печью система подготовки угля

- система прямого вдувания угольного порошка из аэробильной мельницы в печь (см. рисунок 2.26).

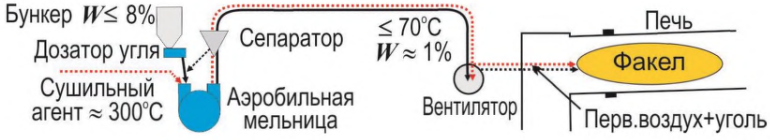


Рисунок 2.26 — Система прямого вдувания угольного порошка в печь[1)]

Особенности работы каждой схемы приведены ниже.

Объединенная с печью система (см. рисунок 2.24).

Преимущество:

- отсутствие выброса угольной пыли и газов в атмосферу, следовательно, схема более экологична.

Недостатки:

- большой объем (до 30 %) холодного первичного воздуха взамен горячего вторичного, что приводит к перерасходу топлива;

- ограничена влажность исходного угля (до 8 %);

[1)] Цветом на рисунках 2.25 и 2.26 показано вновь устанавливаемое оборудование.

- зависимость объема первичного воздуха от необходимого объема сушильного агента, т. е. работы печи от системы углеподготовки.

Разъединенная схема (см. рисунок 2.25) возникла именно в связи с необходимостью устранения этих недостатков. Это стало особенно актуально с появлением форсунок, позволяющих сжигать угольное топливо с небольшим (до 7 %) количеством первичного воздуха и смеси различных топлив, в том числе и техногенных материалов.

Преимущества:

- возможность независимо регулировать процесс сжигания топлива и подготовки угольного порошка;

- применение горячего вторичного воздуха вместо холодного первичного, что приводит к экономии топлива;

- возможность применения более современных форсунок, позволяющих сжигать горючие отходы.

Недостаток:

- необходимо дополнительное оборудование для очистки газов и транспорта угольного порошка в печь.

Система прямого вдувания (см. рисунок 2.26) угольного порошка из мельницы в печь имеет предельно малое количество оборудования. Такая схема особенно эффективна при сушке угля невысокой влажности.

Преимущества:

- отсутствие выброса угольной пыли газов в атмосферу, следовательно, схема более экологична;

- компактность, малое количество оборудования;

- пониженный расход электроэнергии;

- низкие капитальные затраты.

Недостатки:

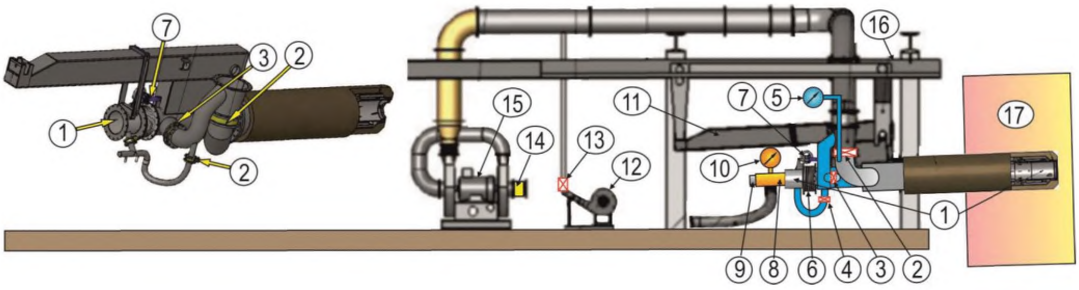
- повышенный объем холодного первичного воздуха;

- ограничена влажность исходного угля (до 8 %);

- зависимость работы печи от системы углеподготовки.

2.5.4 Система подачи газообразного топлива в печь

На рисунке 2.27 представлена система подачи газообразного топлива в печь.



1 — подвижный внутренний блок горелки; 2 — задвижка аксиального воздуха; 3 — задвижка завихряемого воздуха; 4 — задвижка охлаждающего воздуха; 5 — манометр на канале аксиального воздуха; 6 — гофрированная часть трубопровода; 7 — привод для перемещения внутреннего блока труб с газовой горелкой; 8 — внешняя труба газового канала; 9 — внутренняя труба для подачи альтернативного топлива или установки мазутной форсунки; 10 — манометр для определения давления газа в горелке; 11 — подвижная каретка; 12 — вентилятор для аварийного охлаждения горелки; 13 — задвижка на трубе аварийного воздуха; 14 — патрубок с шибером и расходомером воздуха; 15 — вентилятор первичного воздуха; 16 — направляющие рельсы; 17 — вращающаяся печь

Рисунок 2.27 — Система подачи газообразного топлива в печь

Газообразное топливо поступает на завод под повышенным давлением. Поэтому до подачи газа в печь необходимо снизить его давление (избыточное) до 2–3 бар и при опасности взрыва предусмотреть возможность быстрой отсечки газа. Для этого применяют редуктор и предохранительный запорный клапан. Система подачи газообразного топлива во вращающуюся печь состоит из горелки, вентилятора первичного воздуха, аварийного вентилятора охлаждающего воздуха, передвижной каретки, запорной и регулирующей расход газа и воздуха арматуры и контрольно-измерительных приборов. Первичный воздух от основного вентилятора задвижками разделяется на аксиальный и вихревой. Общий первичный воздушный поток затем истекает из воздушного сопла. Выходное сечение можно регулировать перемещением внутренней части горелки, которое контролируется по шкале на соответствующей рейке. Газ подается через шланг в соответствующий кольцевой канал горелки 1. Положение наконечника горелки в печи можно регулировать как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, а также в осевом направлении путем перемещения каретки.

2.6 Горелочные устройства для вращающихся печей

В России для обжига клинкера в основном применяют газообразное топливо и, следовательно, используют соответствующие горелки отечественного и зарубежного производства (см. рисунки 2.28–2.34).

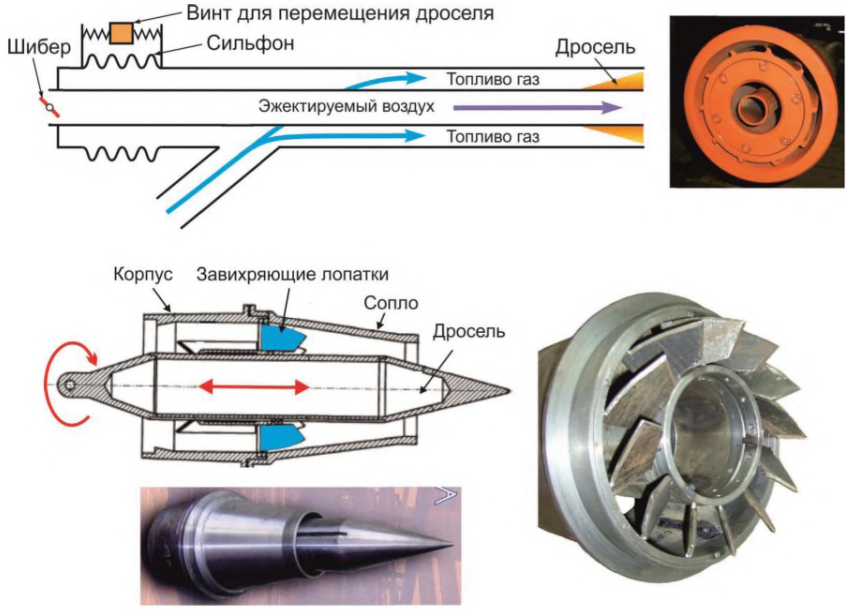


Рисунок 2.28 — Наиболее распространенные газовые горелки ГИД и ДВГ, применяемые в России

Принцип их работы и параметры, приведенные на рисунках, свидетельствуют, что со временем головная часть горелок оснащалась регулирующими элементами, которые позволяют изменять скорость вылета топлива из сопла горелок и обеспечить завихрение газовой струи. Наиболее эффективны следующие горелки: газовая инжекционная диффузионная (ГИД) и диффузионная вихревая горелка (ДВГ). Это обусловлено тем, что данные горелки сжигают газообразное топливо с минимальным количеством (до 2 %) или без первичного холодного воздуха. Вследствие этого увеличивается доля горячего вторичного воздуха, что приводит к экономии топлива. Кроме того, снижается расход электроэнергии на работу вентиляторов первичного воздуха. Например, на ПАО «Краматорский цементный завод — Пушка» (Украина), при замене горелок Уни-

терм на горелки ДВГ были снижены расход топлива на 10 % и электроэнергии на 4 кВт·ч/т клинкера.

Все горелки имеют широкий диапазон регулирования процесса горения топлива и длины факела.

Преимущества горелок ГИД и ДВГ [33], [34]:

- простота конструкции;

- отсутствие или наличие первичного воздуха (до 2 %);

- возможность регулирования формы и температуры факела изменением скорости вылета газа и завихрением газового потока.

Недостатки:

- применимы только для газообразного топлива;

- отсутствие защитной теплоизоляции;

- не приспособлены для сжигания альтернативного топлива.

Преимущества зарубежных горелок:

- возможность применения различных видов топлива;

- возможность сжигания альтернативного топлива;

- наличие защитной теплоизоляции;

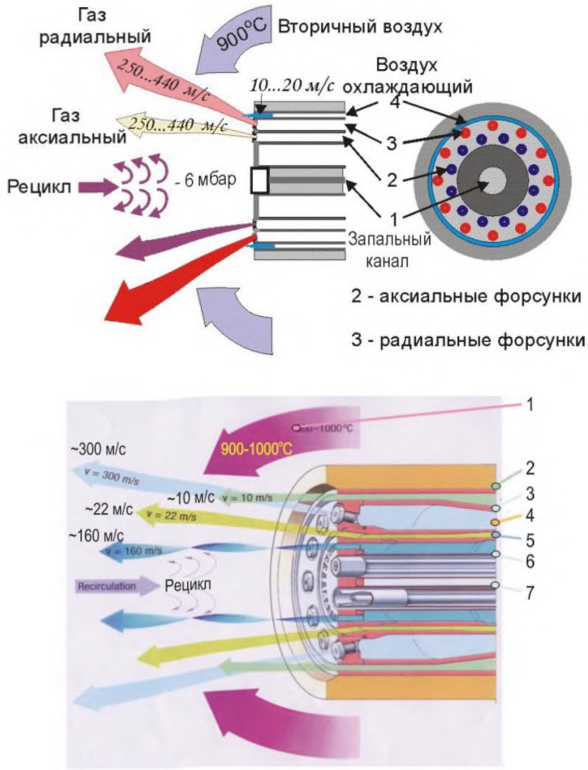
- возможность регулирования формы и температуры факела изменением скорости вылета и завихрением топливно-воздушного потока.

Недостатки:

- усложненная массивная конструкция;

- несколько завышен объем первичного воздуха.

За рубежом применяют преимущественно угольные форсунки. В Россию поставляют многоканальные форсунки для сжигания угля, кокса, мазута и природного газа и их смесей, а также альтернативного топлива. Горелки многоканального типа с радиальным и аксиальным газом оснащены двумя типами форсунок: для осевой подачи газа (аксиальный газ) и для тангенциальной подачи газа (радиальный газ). Управление формой факела осуществляется путем регулирования соотношения между подачей радиального и аксиального газа (см. рисунок 2.29).



1 — вторичный воздух ~93 %; 2 — охлаждающий воздух ~1 %; 3 — аксиальный воздух ~1,6 %; 4 — транспортирующий воздух для угольной пыли ~2 %; 5 — завихряющий воздух ~2,4 %; 6 — мазутная горелка; 7 — запальная горелка

Рисунок 2.29 — Горелка Pyro-Jet для сжигания смеси угля и мазута фирмы KHD Humboldt Wedag

Горелка Duoflex (см. рисунок 2.30) имеет различные способы регулирования пламени, может обеспечить следующие формы факела: короткий или длинный, острый или мягкий, широкий или узкий — и все промежуточные комбинации, необходимые для обеспечения рационального сжигания топлива.

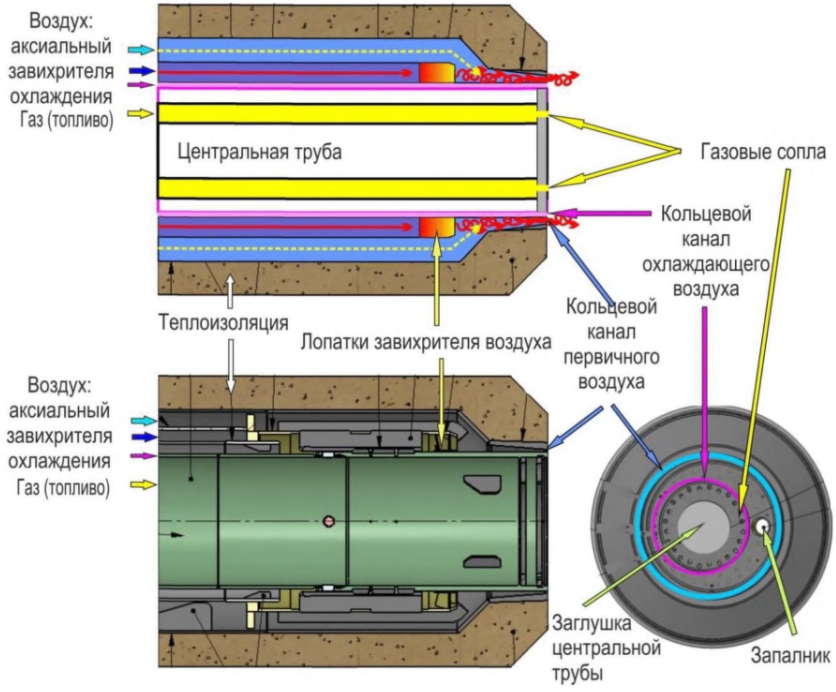


Рисунок 2.30 — Устройство и принцип работы горелки Duoflex фирмы FLSmidth

Горелки фирм KHD Humboldt Wedag и FLSmidth, эксплуатируемые на заводах ЗАО «Строительные материалы», ПАО «Мордовцемент», Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», ОАО «Новоросцемент» (ц/з «Первомайский») и др. (рисунки 2.29 и 2.30), требуют не более 7 % первичного воздуха и обеспечивают снижение объема отходящих газов и расхода топлива.

Горелка Unitherm (см. рисунок 2.31) предназначена для сжигания твердого, газообразного топлива, а также альтернативных видов топлива.

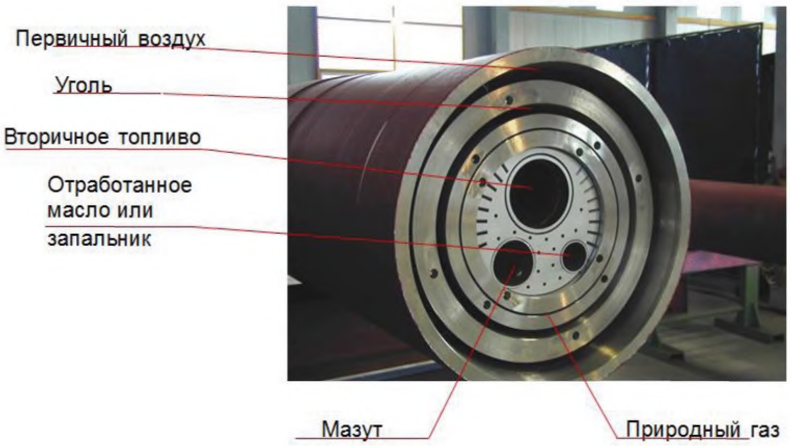


Рисунок 2.31 — Многоканальная горелка Unitherm компании Cemcon

Особенность конструкции горелки Unitherm является наличие системы гибких шлангов, встроенных в канал первичного воздуха, для настройки формы факела путем регулирования степени закрутки всего потока первичного воздуха (см. рисунок 2.32).





Рисунок 2.32 — Система гибких шлангов подачи первичного воздуха, обеспечивающих различную длину и форму факела

Горелка Unitherm обеспечивает сжигание топлива при минимальном количестве первичного воздуха — 5 % — 8 %, а также снижение концентрации NO_x вследствие развитой зоны рециркуляции внутри пламени и быстрого воспламенения топлива перед соплом горелки.

Данная горелка используется на ОАО «Сланцевский цементный завод «Цесла». В качестве основного вида топлива используется уголь, в качестве альтернативного — твердые бытовые отходы.

На ЗАО «Липецкцемент», работающем на газообразном топливе, газ на горение подается через систему гибких шлангов, а воздух, охлаждающий кожух горелки, поступает в печь в качестве первичного.

Многоканальная горелка Flexiflame компании GRECO (см. рисунок 2.33) позволяет сжигать нефтяной кокс/уголь, твердые бытовые отходы, отходы ГСМ, природный газ для разогрева и частично — в качестве резервного топлива.



Рисунок 2.33 — Многоканальная горелка Flexiflame компании GRECO

Преимущества горелки Flexiflame:

- возможность одновременного использования различных видов природного и альтернативного топлива (твердого, жидкого и газообразного);

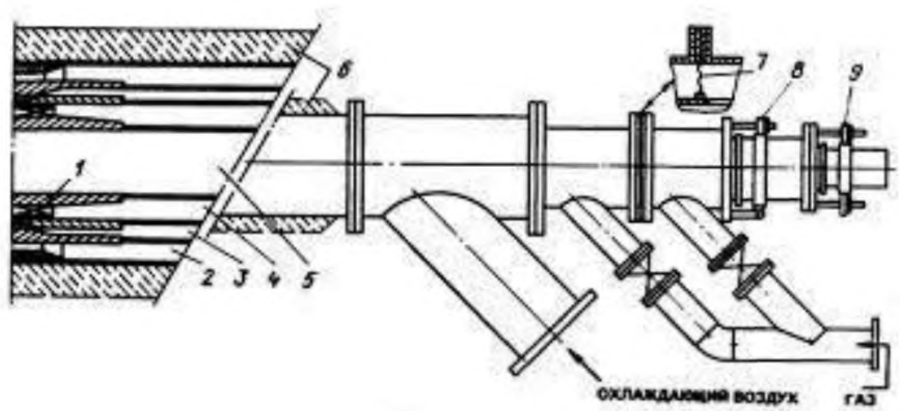
- низкое выделение NO_x при малом расходе первичного воздуха, но при повышенной скорости сгорания материала в горелке, что обеспечивается двумя каналами первичного воздуха;

- отсутствие движущихся частей — регулировка формы факела осуществляется с помощью воздушных вентилей, установленных на внутренних линиях подачи первичного воздуха.

Многоканальная горелка Pillard NovaFlam (см. рисунок 2.34) позволяет использовать самые разные виды топлива, в том числе альтернативные (пластмасса, ТБО, биотопливо и т. д.), при сохранении высокого уровня качества клинкера. Горелки просты в

эксплуатации, отличаются хорошей воспроизводимостью формы пламени. Простой принцип регулировки факела позволяет оптимизировать пламя в печи и снизить эксплуатационные риски. Подача первичного воздуха осуществляется через один канал одним вентилятором, благодаря чему снижаются энергопотребление и расходы на техобслуживание.

Особенностью конструкции горелок Pillard является возможность работы их в различных режимах: I — сжигание только газообразного топлива; II — сжигание только жидкого топлива (мазута); III — сжигание смеси газообразного и жидкого топлива в различных соотношениях от 0 % до 100 %.



1 — завихритесь; 2 — канал ввода мазутной форсунки; 3 — канал завихряемого потока газа; 4 — канал аксиального истечения газа; 5 — канал охлаждающего воздуха; 6 — жаростойкая изоляция; 7 — мембрана; 8 — узел регулирования щели аксиального канала; 9 — узел регулирования положения завихрителя

Рисунок 2.34— Многоканальная горелка Pillard NovaFlam

Горелки фирмы Pillard используют два технических решения для уменьшения NO_x: внутреннюю рециркуляцию дымовых газов благодаря инжекторам, использующим энергию струй природного газа, и раздробление общего факела в центральную часть и основную часть, распределенную по внешнему периметру горелки. При этом без внешней рециркуляции дымовых газов уровень NO_x составляет от 105 до 115 мг/нм^3. При слабой внешней рециркуляции дымовых газов уровень NO_x становится 54–79 мг/нм^3, что намного ниже гарантируемой величины.

Данные горелки эксплуатируются на ПАО «Мордовцемент» и ООО «Сенгелеевский цементный завод».

2.7 Использование отходов

2.7.1 Общие аспекты

Различные типы отходов могут заменять природные сырьевые материалы и ископаемое топливо в производстве цемента и будут способствовать, с одной стороны, сохранению природных источников, а с другой — снижению материало- и энергозатрат [35]–[41]. Наиболее важные показатели процесса для использования (утилизации) отходов могут быть обобщены следующим образом:

- максимальные температуры — приблизительно 2000 °С (основная горелка, температура пламени) во вращающихся печах;

- время пребывания газов при температуре около 1200 °С во вращающейся печах — не менее 8 с;

- температура материала — около 1450 °С в зоне спекания вращающейся печи;

- окислительная газовая атмосфера во вращающейся печи;

- время пребывания газов во вторичной обжиговой системе — более 2 с при температуре выше 850 °С; в декарбонизаторе время пребывания газов еще больше и температура выше;

- постоянная температура 850 °С во вторичной обжиговой системе или декарбонизаторе;

- постоянство условий сжигания и отсутствие колебаний вследствие высокой температуры и достаточно длительного времени пребывания;

- разложение органических загрязнителей под воздействием высокой температуры и длительного времени пребывания;

- адсорбция газовых компонентов, таких как HF, HCl, SO_2, на щелочных реагентах;

- высокая емкость связывания тяжелых металлов;

- короткое время пребывания отходящих газов в температурном интервале, способствующем синтезу полихлорированных дибензодиоксинов и фуранов;

- полная утилизация топливной золы в составе клинкера и, следовательно, повторное использование материала в качестве сырьевого компонента и дополнительная экономия энергии;

- химико-минералогическое связывание тяжелых металлов в клинкерную матрицу;

- введенные отходы полностью связываются в минералы портландцементного клинкера; при повышении концентрации нежелательных элементов байпасная пыль удаляется из системы.

Поскольку в качестве сырьевых материалов и (или) топлива могут применяться различные типы отходов, то перед принятием решения об их применении должны быть рассмотрены основные принципы их использования, такие как предварительная сортировка и анализ технологических процессов по их подготовке. Чтобы сохранить стандартное качество клинкера, должны быть проведены предварительные исследования по влиянию отходов на процессы клинкерообразования, поскольку зола, образующаяся при сжигании топлива, полностью встраивается в клинкерную матрицу и изменяет фазовый состав клинкера. Окончательное решение о том, какой тип отходов будет принят к использованию на конкретном заводе, не может быть однотипным.

Рассмотрение и принятие решения должно быть основано на процессе производства клинкера, режимах обжига, составе сырьевых материалов и топлива, способах подачи отходов в производство, применяемой технологии очистки отходящих газов, данных по проблемам менеджмента отходов.

Как правило, для отходов, принятых в качестве топлива и (или) сырьевых материалов для цементной печи, необходимо учитывать калорийность отходов и количество минеральной части в отходах. Кроме того, должны учитываться объемы и категории отходов, а также их физический и химический состав, характеристики и загрязняющие примеси. Топливные отходы, используемые цементной промышленностью, являются частью, специально отобранной из отходов, которые обычно предварительно перерабатываются, например дробятся, перемешиваются, измельчаются, гомогенизируются и приводятся в материал соответствующего качества. Подготовка отходов обычно выполняется на специальных заводах по предварительной переработке отходов.

Отходы, используемые в качестве сырьевых материалов, обычно подаются в печь в том же месте, где производится подача обычных сырьевых материалов, например по месту подачи сырьевой смеси.

Как описано в разделах 2.5–2.6, для ввода топлива в цементную печь могут быть использованы различные точки питания. Эти точки также могут быть использованы для подачи топливных отходов. Следует отметить, что способ питания печи топливом является очень важным, поскольку он может оказать влияние на выбросы. При подаче топлива через главную горелку при прохождении через высокотемпературную зону печи происходит разложение отходов. Относительно других точек подачи топлива можно отметить, что в этих случаях температура и время пребывания зависят от конструкции печи и ее эксплуатации.

Отходы, которые подаются через главную горелку, будут разлагаться в первичной зоне горения при высокой температуре, достигающей 2000 °С. Отходы, подаваемые во вторичную горелку, подогреватель или декарбонизатор, будут сжигаться при низкой температуре, которая не всегда достаточна для разложения хлорсодержащих органических веществ. Летучие компоненты в материале, который подается в холодный конец печи или отдельный участок печи, могут улетучиваться. Эти компоненты не проходят через первичную зону горения и не могут быть разложены или связаны в цементный клинкер. Поэтому использование отходов, содержащих летучие металлы (ртуть, таллий) или летучие органические компоненты, может приводить к увеличению выбросов указанных соединений, когда используются неправильные точки ввода отходов. Чтобы избежать увеличения выбросов, такие отходы, содержащие летучие при низкой температуре компоненты (например, углеводороды), должны подаваться в высокотемпературную зону печи.

Информация о воздействии отходов на состояние выбросов представлена подв разделах 3.3.1 и 3.4.1.

Контроль параметров и выбросов при использовании отходов в качестве топлива и (или) сырьевых материалов представлен в 5.1 и 5.2.

2.7.2 Использование отходов в качестве сырьевых материалов

Химическая пригодность отходов как сырьевых материалов является важным фактором: они должны обеспечивать требуемый химический и фазовый состав производимого клинкера. Первичными необходимыми химическими соединениями являются

материалы, содержащие известь, кремний, алюминий и железо, а также серу, щелочи и другие элементы, которые должны быть классифицированы по группам в соответствии с их химическим составом. При использовании отходов оксиды, содержащиеся в них, связываются в процессе обжига в клинкер, как и в случае обжига сырьевых материалов. Они содержат, как и сырьевые материалы, оксиды кальция (CaO), кремния (SiO_2), алюминия (Al_2O_3) и железа (Fe_2O_3). Зола электростанций (зола-унос), доменный и другие шлаки, белитовый шлам и другие материалы могут частично заменять природные сырьевые материалы.

Зола-унос может применяться как сырьевой материал при получении клинкера (в основном как компонент, содержащий оксид алюминия) и как добавка при измельчении при производстве цемента. Она может заменять до 50 % портландцементного клинкера. Более того, современные побочные продукты производства гипса пригодны сами по себе для использования в качестве сульфатного компонента. В таблице 2.6 показаны отходы, применяемые как сырьевой материал, распределенные по различным группам в соответствии с их химическим составом.

Таблица 2.6 — Список отходов, классифицированных по их химическому составу, которые могут быть использованы в качестве сырьевых материалов в цементных печах (по [41])

Группа сырьевых материалов	Отходы, применяемые в качестве сырьевых материалов
Ca — группа	Промышленная известь (отходы известняка) Известковый шлам Шлам карбида кальция Осадок очистки питьевой воды
Si — группа	Формовочный литейный песок Песок
Fe — группа	Доменный и конверторный шлак Пиритные огарки Синтетический гематит Красные шламы
Al — группа	Промышленные шламы
Si-Al-Ca — группа	Зола-унос Шлаки Мелкие отсевы дробления, земля (грунт)

Группа сырьевых материалов	Отходы, применяемые в качестве сырьевых материалов
S — группа	Промышленные гипсовые отходы
F — группа	CaF_2, шламы после фильтрации

Характеристика отдельных техногенных материалов, применяемых в России, и эффективность их применения приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 — Эффективность применения техногенных материалов

Материал	Содержание, %					Ввод, %	Ограничение по	Экономия топлива, кг у. т./т клинкера
	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	ГВ [1]			
Белитовый (нефелиновый)	56	30	3	3	—	75 (в шлам)	SiO_2	80
Шлак доменный 1	47	36	8	0,4	—	60 (в печь)	SiO_2	100
Шлак доменный 2	37	37	15	0,4	—	40 (в печь)	Al_2O_3	80
Шлак ОЭМК [2]	39	21	5	14	—	30 (в печь)	Fe_2O_3	66
Зола	5	61	23	7	3–5	35 (в шлам)	SiO_2	25
Углеотходы	4	45	16	7	~22	20 (в шлам)	ГВ	45

Портландцементный клинкер характеризуется определенным составом, который предопределяет гидравлические свойства цемента. Это означает, что все сырьевые материалы и зола топлива должны быть тщательно подобраны по минеральному составу и скорости подачи для получения заданного состава клинкера.

Отходы, используемые как сырьевые материалы, поступают в обжиговую печь или кальцинатор с сырьевой смесью. В период нагревания в подогревателе органиче-

[1] ГВ — горючее вещество.

[2] ОЭМК — Оскольский электрометаллургический комбинат.

ские компоненты могут высвобождаться из печного питания при низкой температуре, которая не всегда достаточна для разложения галогенсодержащих органических веществ. При переработке отходов они должны быть проверены на потенциальную возможность выделения органических соединений, и, соответственно, должно быть выбрано место подачи материала в печь. Особенность мокрого и сухого способов производства клинкера применительно к применению минеральных и горючих отходов обусловлена двумя отличительными аспектами: мокрым и сухим помолом сырья и теплообменом в подготовительных зонах: через поверхность материала и в пылегазовом потоке. Различия в подготовке сырья связаны с тем, что многие минеральные техногенные материалы, например шлаки, при мокром помоле активизируются, гидратируются и твердеют, в результате чего зарастают трубопроводы и образуются осадки в бассейнах. Поэтому шлак нельзя вводить в мельницу при помоле шлама, а целесообразно подавать непосредственно в печь, предварительно смешав его со шламом (см. рисунок 2.35). Это исключает избирательный пылеунос и снижает его величину. При сухом же способе минеральные отходы являются компонентом и размалываются с другими составляющими сырьевой смеси.

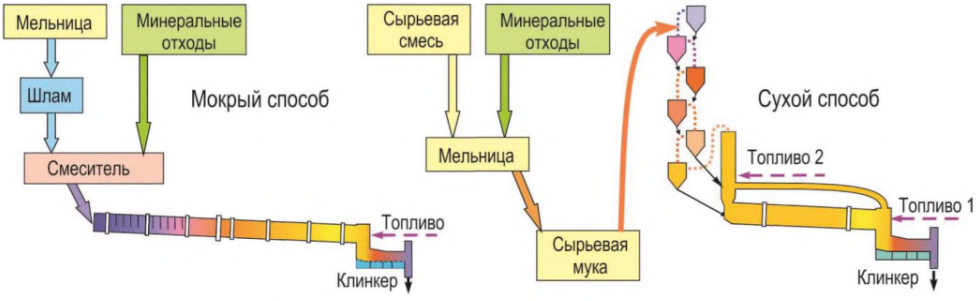


Рисунок 2.35 — Рациональные схемы применения минеральных отходов при различных способах производства клинкера

При применении техногенных материалов с невысоким содержанием горючего вещества при их подаче в печную систему возникает проблема стабилизации химического состава клинкера. Поэтому при высоком содержании минеральной составляющей применяется специальная технологическая схема с реактором для предварительного сжигания горючего вещества и выделением минеральной части, подаваемой в сырьевую мельницу (см. рисунок 2.36).

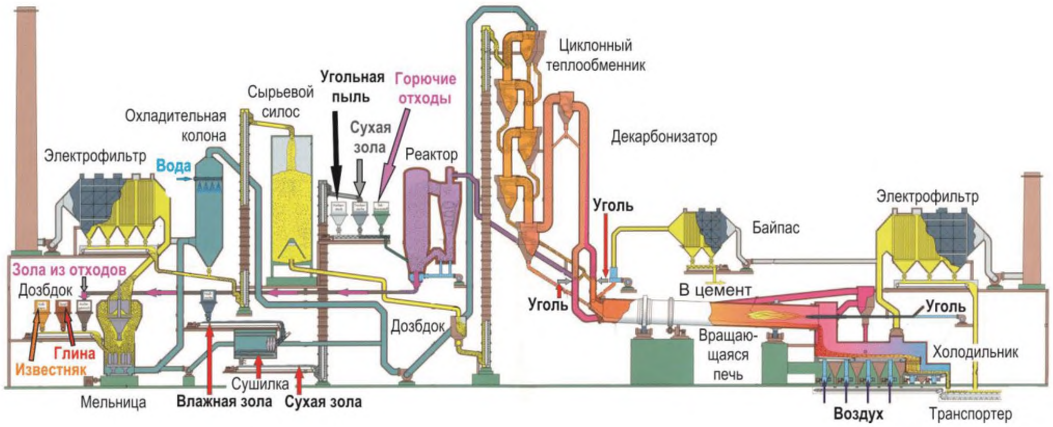


Рисунок 2.36 — Технологическая линия получения портландцементного клинкера со специальным реактором для сжигания различных горючих отходов

Подобная схема реализована фирмой KHD Humboldt Wedag на заводе Rüdersdorf, где для сжигания различных топливосодержащих отходов, в частности золы, установлен специальный реактор взвешенного слоя.

При применении горючих материалов с невысоким содержанием минерального вещества целесообразно отходы подавать непосредственно в декарбонизатор (см. 2.8.3).

На заводе комбинированного способа в Lägerdorf (Германия) применяется более 60 % альтернативного топлива и более 10 % минеральных отходов (см. рисунок 2.37).



Синий цвет — альтернативное сырье, красный — альтернативное топливо

Рисунок 2.37 — Альтернативные материалы, применяемые на заводе комбинированного способа в Lägerdorf (Германия)

При мокром способе производства наиболее рациональный вариант применения материалов, содержащих горючие вещества, — совместный помол техногенного продукта с традиционными сырьевыми компонентами [42]. В этих условиях достигается заданный стабильный химический состав шлама, так как при совместном помоле сырьевых компонентов и топливосодержащих техногенных материалов корректировка производится традиционным способом.

Теплотехнические расчеты и испытания, проведенные на ОАО «Уралцемент», ЗАО «Осколцемент», ЗАО «Белгородский цемент» и ЗАО «Углегорск-цемент», показали, что каждый процент введенной в шлам горючей массы обеспечивает экономию около 8,5 кг у. т./т клинкера, что определяется характеристиками используемой горючей массы [43]. При введении выгорающих добавок в шлам необходимо повысить коэффициент избытка воздуха в факельном пространстве, что приводит к снижению температуры горения. Теплотехнические расчеты и промышленные испытания свидетельствуют, что для обеспечения необходимой температуры факела для спекания клинкера в сырьевую смесь можно вводить до 3 % выгорающей добавки. Это позволит заменить до 45 кг у. т./т клинкера ценного форсуночного топлива на горючие отходы.

Одновременно при этом дополнительно обеспечивается еще три положительных эффекта. Органическая составляющая техногенных материалов, как правило, является разжижителем и интенсификатором помола шлама, что приводит к снижению его влажности и повышению производительности сырьевых мельниц и, следовательно, к экономии топлива и электроэнергии. Выгорание горючей составляющей интенсифицирует подготовку материала до зоны спекания, что способствует предотвращению образования клинкерной пыли и, следовательно, снижению загрязнения окружающей среды. Кроме того, клинкер, полученный из сырьевой смеси с выгорающими добавками, более пористый и имеет повышенную размолоспособность, из-за чего повышается производительность цементных мельниц, что приводит к дополнительной экономии электроэнергии.

При выборе и применении отходов в качестве сырьевого материала следует принимать во внимание следующие факторы:

- изначально отходы состоят из тех же оксидов, что и клинкер;

- низкая концентрация тяжелых металлов, однако необходимо учитывать присутствие ртути, таллия и аналогичных металлов;

- регулярный контроль материалов с отбором и анализом используемых отходов.

2.7.3 Использование отходов в качестве топлива

Обычное ископаемое топливо может быть частично заменено альтернативным топливом (АТ), то есть остатками после сортировки отходов, содержащих твердые или жидкие горючие остатки топлива и (или) биомассы. В состав АТ входят высококалорийные компоненты отходов, такие как пластик, бумага, картон, текстиль, резина, кожа, дерево и проч.

Альтернативное топливо имеет калорийность в среднем 20 ± 2 МДж/кг, что сопоставимо с калорийностью углей и газа. К примеру: 1,7 кг АТ замещают 1м^3 природного газа.

Величина зерна АТ составляет ~20–25 мм.

Содержание опасных составляющих в топливе строго контролируется и не превышает допустимых норм.

Средний цементный завод может потреблять от 40 до 100 тыс. т альтернативного топлива в год при замещении до 30 % основного топлива.

В странах Европейского союза (ЕС) существует целое законодательно оформленное направление в утилизации отходов — производство АТ. Следует отметить, что сегодня в ЕС существуют предприятия, использование альтернативных видов топлива различной природы на которых достигает 100 % от общего потребления топлива. Так, на цементном заводе Dückerhoff в г. Ленгерих (Германия) доля альтернативного топлива составляет примерно 60 % от общего расхода топлива, на цементном заводе Rüdersdorf (Германия) — до 70 %, на цементном заводе Wietersdorf (Австрия) — более 50 %, а на цементном заводе Zementwerke Rrogbeumker (Германия) — 100 %.

Природный газ в европейской цементной промышленности используется только как резервное или как вспомогательное топливо — для поддержки горения трудно сгораемого топлива, углеродсодержащих отходов и розжига печей.

В США есть опыт обеспечения АТ цементного завода мощностью 1,6 млн т цемента в год с помощью мусороперерабатывающей установки, окупаемость которой составляет до 3 лет. Цементные заводы в Европе получают горючие отходы даже с доплатой за их утилизацию, так как использование печей цементных заводов для этой цели обходится как местным властям, так и предприятиям дешевле, чем вывоз мусора на свалку или утилизация в специальных установках с дорогостоящей технологией и значительными капитальными затратами на строительство.

Различные типы альтернативного топлива, замещая ископаемые виды топлива, тем самым решают две важнейшие задачи: сохранность (экономия) природных ресурсов и утилизация части образующихся в процессе потребления и использования товаров и услуг отходов, что совпадает с основными принципами экономического регулирования в области обращения с отходами [44].

В настоящее время в Российской Федерации, кроме проблем законодательства по обращению с отходами и экологического законодательства, недостатка экономических стимулов в обращении с отходами, отсутствует ясное представление о круге вопросов, которые необходимо решить для снижения объемов отходов, подлежащих захоронению.

Получение необходимых для идентификации и паспортизации характеристик отходов (в целом) и продуктов, получаемых из них, по морфологическому и химическому составам, физико-химическим свойствам позволят разработать технические условия (ТУ) на способ переработки отходов (в целом) и продуктов, получаемых из них, произвести сертификацию продуктов, получаемых из отходов, и найти потребителя на эти

продукты. Данные характеристики также служат основанием для оценки воздействия и разработки мер защиты окружающей среды при их производстве и дальнейшем использовании, а также для организации выходного и входного контроля продукции.

В частности, АТ, произведенное из отходов, должно иметь сертификат соответствия и ТУ, разработанные в соответствии с требованиями потребителя топлива.

В настоящее время используется большое количество видов различных типов отходов, включая уловленные золы. Отходы могут быть твердыми, жидкими или пастообразными в зависимости от источника их образования, например промышленные, сельскохозяйственные, городские. Соответственно, для производства (извлечения) из них АТ требуется предварительная обработка, часто довольно серьезная: сепарация, измельчение, смешивание, сушка и т. п., дающая в итоге гарантии постоянства его состава и качества.

Решение проблемы организации переработки горючей части отходов для снижения доли захоронения и получения альтернативного топлива для сжигания на цементном заводе предполагало выполнение нескольких основных требований:

- должны быть сохранены существующее качество продукции и экологическая обстановка на цементном заводе, а также соблюдены нормы существующего экологического законодательства при работе цементного завода на альтернативном топливе;

- цементный завод должен быть освобожден от работы с отходами, как от непрофильного бизнеса; альтернативное топливо должно поступать на завод как товар, в сопровождении необходимых документов (сертификат соответствия), отвечать требованиям и характеристикам, необходимым для замещения минерального топлива;

- должны быть соблюдены экономические целесообразность и взаимовыгодный интерес цементников и мусороперерабочиков.

Как отмечено в разделе 2.7.2, необходимо применять различные технологические способы использования горючих отходов при мокром и сухом способах производства. Это связано со следующими обстоятельствами. В подготовительных зонах вышеприведенных печных систем проявляются различные условия теплообмена (см. рисунок 2.38).

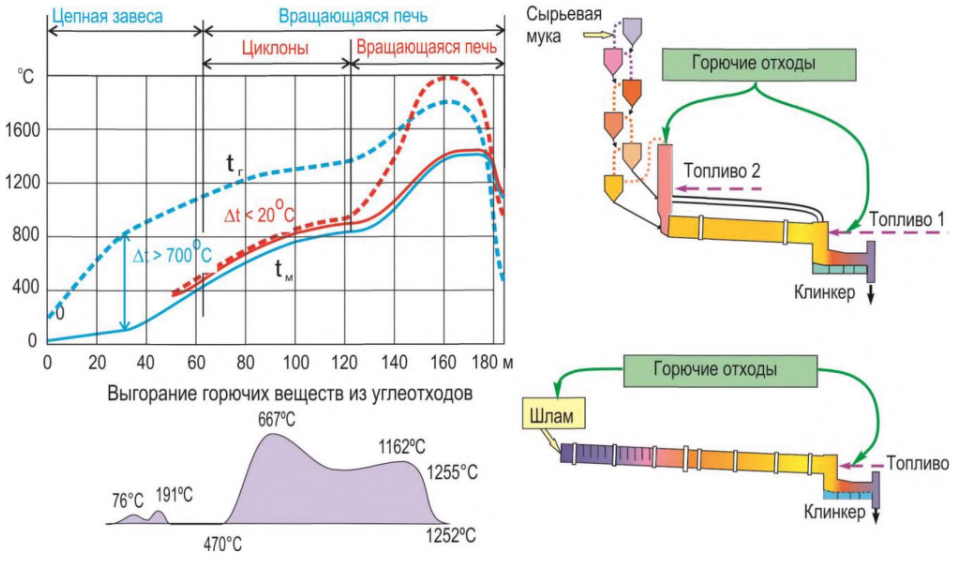


Рисунок 2.38 — Рациональный способ подачи горючих отходов при сухом и мокром способах производства

В печи мокрого способа в зонах сушки, подогрева и декарбонизации тепло во вращающейся печи передается через поверхностный слой, и поэтому температура газового потока превышает температуру материала более чем на 700 °С. Учитывая, что при нагревании многих горючих материалов выход летучих веществ происходит при 150 °С — 500 °С до воспламенения топлива (~650 °С), то при мокром способе, где температура газа в этой области выше 900 °С, и, следовательно, обеспечится воспламенение и сгорание летучих. Поэтому горючие вещества при мокром способе можно подавать в сырьевую мельницу при приготовлении шлама.

При сухом же способе теплообмен в подготовительных зонах в циклонах и декарбонизаторе, где материал в пылевидном состоянии распределен в газовом потоке, происходит за доли секунды. Поэтому температура материала и газа практически выравнивается, и если подавать материал в сырьевую смесь, то в первом циклоне при ~350 °С будет происходить выход летучих без их выгорания, что приведет к безвозвратной потере тепла, к возможному взрыву в электрофильтре и загрязнению окружающей среды. Поэтому при сухом способе выгорающие отходы нельзя подавать в сырьевую смесь.

Если при применении минеральных техногенных материалов снижается удельный расход тепла на обжиг клинкера и, следовательно, пропорционально повышается производительность печи, то при применении горючих добавок один вид топлива заменяют на другой, и поэтому производительность печи остается неизменной.

Эффективность применения минеральных и топливосодержащих техногенных материалов приведена на рисунке 2.39 и свидетельствует, что при их совместном применении можно в пределе снизить удельный расход технологического ценного форсуночного топлива ниже 100 кг у. т./т клинкера, т. е. приблизиться к расходу по сухому способу.

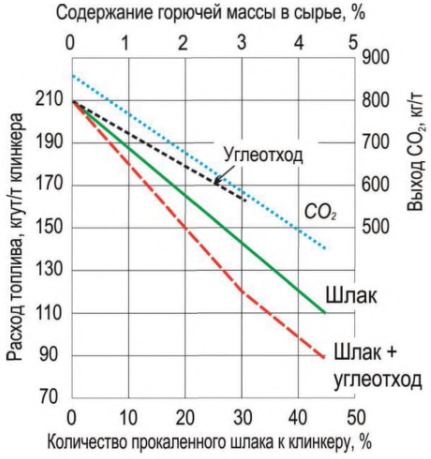


Рисунок 2.39 — Эффективность применения минеральных и горючих техногенных материалов

Если даже только частично реализовать данное направление с введением до 25 % шлака и 2,5 % горючего вещества, можно достичь величины ~130 кг у. т./т клинкера и снизить выброс CO_2 в атмосферу на 200 кг/т клинкера.

Еще одним направлением является сжигание отработанных автомобильных шин. При мокром способе их необходимо подавать через шлюзовый затвор в зону декарбонизации. Такой способ был успешно осуществлен на ЗАО «Кавказцемент» и в настоящее время применяется в Республике Беларусь на цементно-шиферном комбинате. Ввод шин обеспечивает экономию до 10 % основного топлива.

На ПАО «Мордовцемент» с 2008 года функционирует линия по подаче в печь автомобильных покрышек производительностью 14 т/ч.

При сухом способе сжигание горючих отходов в печных системах происходит путем подачи их в зону горения вращающейся печи и в декарбонизатор.

В случаях когда применяют горючие материалы с невысоким содержанием минерального вещества, целесообразно подавать такие отходы непосредственно в декарбонизатор. Для обеспечения в нем полного сжигания отходов фирма KHD Humboldt Wedag применяет систему PYROTOP, которая повышает время пребывания крупных горючих веществ в декарбонизаторе из-за завихрения газового потока в камере PYROTOP и обеспечивает их полное сгорание. Такая система для сжигания дробленых автомобильных шин реализована на ПАО «Мордовцемент» (см. рисунок 2.40). В настоящее время на ПАО «Мордовцемент» осваивается способ подачи древесной щепы в факельное пространство с горячего конца печи.

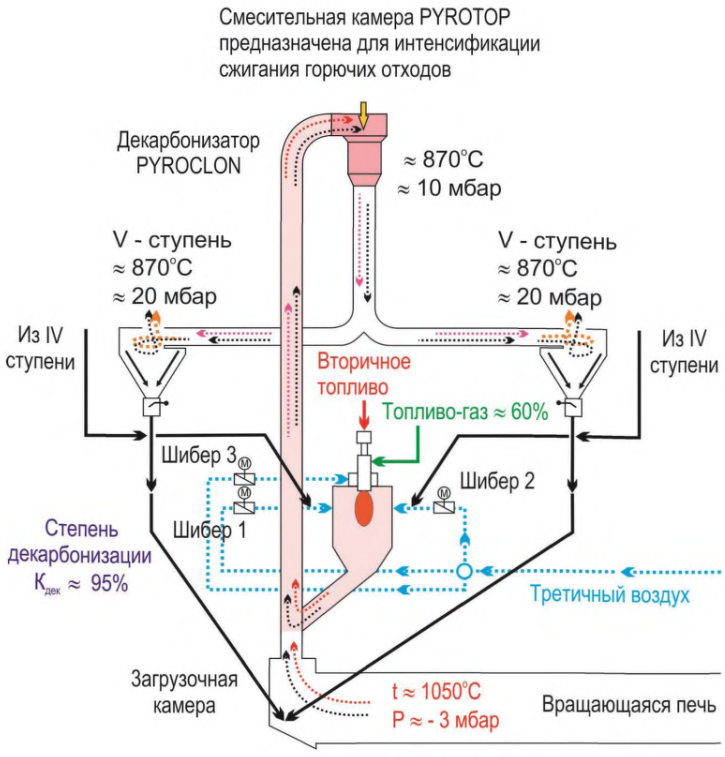


Рисунок 2.40 — Система с вихревой камерой PYROTOP, обеспечивающая полное сгорание горючих отходов

В 2011 году на ОАО «Сланцевский цементный завод «Цесла» был проведен промышленный эксперимент по подаче АТ в печь с замещением до 15 % основного топлива. На цементном заводе «Сланцы ЛСР групп» 50 % сырьевых материалов и 50 % природного топлива заменено отходами. Альтернативное топливо используется на заводах группы OSC Lafarge Cement, заводах группы HeidelbergCement RUS LLC, ОАО «Красноярский цементный завод», ООО «Цементная северная компания» (ООО «Воркутацемент») и многих других.

2.7.3.1 Типы топливных отходов

В соответствии со статьей 4 Федерального закона № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [44] все отходы в зависимости от степени негативного воздей-

ствия на окружающую среду (при непосредственном или опосредованном воздействии опасного отхода на нее) подразделяются в соответствии с критериями [45], установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды, на пять классов опасности:

- I класс — чрезвычайно опасные отходы;
- II класс — высокоопасные отходы;
- III класс — умеренно опасные отходы;
- IV класс — малоопасные отходы;
- V класс — практически неопасные отходы.

В соответствии со статьей 14 Федерального закона «Об отходах производства и потребления» [44], на отходы I–IV класса опасности должен быть составлен паспорт. Паспорт отходов I–IV класса опасности составляется на основании данных о составе и свойствах этих отходов, оценки их опасности.

Существует государственный кадастр отходов, который включает в себя федеральный классификационный каталог отходов [46], государственный реестр объектов размещения отходов, а также банк данных об отходах и о технологиях утилизации и обезвреживания отходов различных видов.

Поскольку процесс обжига клинкера характеризуется благоприятными условиями для использования отходов, топливные отходы используются для замены части обычного топлива. Как показано в таблице 2.8, в цементных печах в качестве топлива могут использоваться различные типы отходов, которые классифицируются на опасные и неопасные отходы.

Отходы с высокой калорийностью могут заменять первичное топливо в цементных печах, поэтому постоянство качества отходов является обязательным (например, достаточная теплотворная способность, низкое содержание тяжелых металлов, хлора, золы, способность к горению, горючесть).

Таблица 2.8 — Различные типы отходов, которые могут использоваться как топливо для вращающихся печей [41]

№ п/п	Тип отходов	Наименование отходов
1	Неопасные	Дерево, бумага, картон
2		Текстиль

№ п/п	Тип отходов	Наименование отходов
3		Пластмассы
4		Продукты перегонки
5		Шины/резина,
6		Промышленные шламы
7		Городские сточные воды
8		Отходы животноводства
9		Уголь/отходы, содержащие углерод
10		Сельскохозяйственные отходы
11	Опасные	Твердые отходы (насыщенные древесные опилки)
12		Растворители и соответствующие отходы
13		Нефть и нефтяные отходы,
14		Другие

Наряду с влажностью и зольностью важными характеристиками и параметрами топлива из отходов являются его теплотворная способность (см. таблицу 2.9), содержание серы, хлора и тяжелых металлов (особенно ртути, кадмия и таллия). Кроме того, необходимо, чтобы топливо обладало определенными геометрическими характеристиками, определяемыми транспортной системой подачи АТ на горелку и размером сопел самой горелки. Оценка пригодности топлив из отходов, как правило, базируется на максимально допустимых концентрациях вредных веществ в отходах.

Таблица 2.9 — Характеристики теплотворной способности и зольности видов топлива из опасных и не опасных отходов

Видов топлива из отходов (опасных и неопасных)	Значения теплотворной способности (МДж/кг)	Зольность, %
Древесина (отходы пилорам, ДСП, ж/д-шпалы) при влажности 25 %	Приблизительно 16	До 1,5
Бумага, картон	3–16	До 8
Текстиль	До 40	Не определена
Пластики (первичная переработка)	17–40	До 2
Топливо из ТБО (RDF)	18–20	10–22
Резина/шины	Приблизительно 26	7

Видов топлива из отходов (опасных и неопасных)	Значения теплотворной способности (МДж/кг)	Зольность, %
Промышленный шлам	8–14	До 30
Костная мука и жиры животных	14–18, 27–32	Не определена
Мука туши животного	14–21,5	Не определена
Сельскохозяйственные отходы	12–16	До 10
Растворители, масла, отходы ЛКМ и др	20–36	Не определена
Шлам сточных вод (влажность > 10 %)	3–8	До 40
Шлам сточных вод (влажность < 10 % до 0)	8–13	До 40

2.7.3.2 Твердые топливные отходы

Не каждые способные к горению отходы пригодны в качестве топлива при получении клинкера.

Твердые отходы могут быть однородными или неоднородными смесями разнообразных компонентов, таких как:

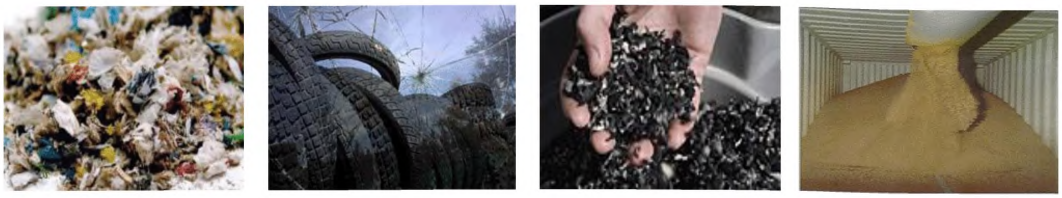
- частиц с разной способностью к горению, например бумага, картон, пластмасса, резина, обломки (остатки обработки) дерева;

- смесями с различным количеством инертных материалов, содержащих органические фракции, например песка, камня, керамики, железистые и нежелезистые металлы, органические влажные материалы;

- вредных, например, шины, смолы, пропитанные древесные отходы или неопасных материалов.

На рисунке 2.41 показаны некоторые виды топливных отходов.

Отходы, смешанные городские отходы, смешанные коммунальные отходы или отходы разрушения конструкций должны пройти предварительное испытание с выделением высококалорийных фракций. Объем предварительной переработки отходов — сортировка, дробление, подготовка окатышей — зависит от области применения топливных отходов.



а) б) в) г)



д) е) ж) з)

Рисунок 2.41 — Виды отходов, которые могут быть использованы в качестве альтернативного топлива: а) — твердые бытовые отходы; б) — шины; в) — измельченная резана, каучук; г) — кормовая мука; д) — осадки сточных вод; е) — древесная щепа; ж) — пропитанные маслами древесные опилки; з) — специально подготовленные топливные отходы на основе бумаги, пластика и текстиля

Технологии подготовки твердого топлива в большой степени зависят от типа отходов и требований цементной промышленности. Одним из основных требований, проистекающих из способа транспортировки материала и типа используемой горелки, является подача отходов топлива в печь:

- в главной обжиговой системе (на головке печи или выходном отверстии, вдувание топлива через форсунку): высокая абразивность отходов — высушенного шлама — и необычная форма частиц и их размеры могут привести к проблемам эксплуатации. Когда используется пневматическая система транспортировки чтобы подать твердые топливные отходы в печь, можно избежать повреждения и заклинивания вращающихся частей (пневматическая система всецело функционирует без движущихся частей). Количество подаваемого воздуха, инжектируемого в печь с отходами, ничтожно в общем

объеме, необходимом по стехиометрии для горения. Крупные частицы вызывают необходимость применения более мощных пневматических конвейерных линий и вентиляторов. Поэтому важным шагом процесса является снижение размера и дезагломерация топливных отходов (обычно размер окатышей не должен превышать 25 мм). Среднее уплотнение при слабой агломерации окатышей способствует улучшению текучести топливных отходов и их дозировки.

- вторичная обжиговая система (топливо подается в печь через впускное отверстие между печью и нижним циклоном или кальцинатором); ограничение размера для твердых топливных отходов не важно для вторичной обжиговой системы. Даже целая покрышка может быть введена через впускное отверстие. Кроме того, могут использоваться отходы с высоким содержанием золы.

- в последние годы фирмами FLSmidth и Thyssen Krupp предложены камеры сгорания HOTDISC и PREPOL, позволяющие сжигать низкосортные и крупнокусковые (размером до 1,2 м) альтернативные виды топлива (см. 2.7.3.4).

2.7.3.3 Жидкие топливные отходы

Жидкие топливные отходы обычно приготавливаются смешением различных отходов использованных растворителей, красок или нефтяных отходов с подходящей величиной теплотворной способности с использованием специальных средств менеджмента.

Жидкие топливные отходы в большинстве опасные отходы. Это необходимо учитывать при обращении с ними, например при складировании, подаче материала, чтобы предотвратить выбросы органических соединений. Существуют некоторые технологии, например, испарители, которые используются где это необходимо. Система испарения эксплуатируется таким образом, чтобы обеспечить выход органических веществ только при согласовании с работой системы испарения и не выпускает пары органических веществ в воздух при нормальной работе, что необходимо с точки зрения безопасности.

2.7.3.4 Подача отходов в печь — камеры сгорания HOTDISC и PREPOL

Камера сгорания HOTDISC фирмы FLSmidth представляет собой объемную, подвижную подовую печь, совмещенную с теплообменником и декарбонизатором, предназначенную для сжигания альтернативных видов топлива и замены от 20 % до 80 % (в среднем около 50 %) топлива, подаваемого в декарбонизатор (см. рисунок 2.42). Каме-

ра сгорания позволяет сжигать разнообразные твердые отходы размером до 1,2 м, начиная от шлама и гранул и заканчивая цельными автомобильными покрышками. Это избавляет от необходимости дорогостоящей процедуры измельчения разнородных отходов и делает производство более экологически чистым.

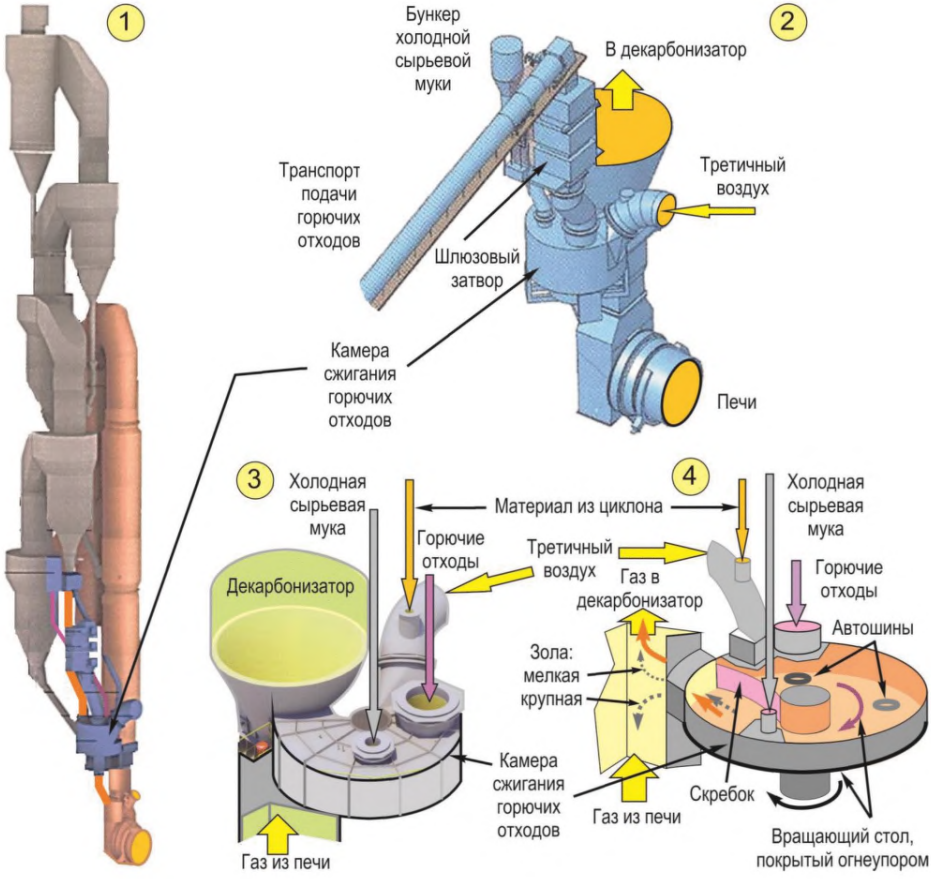


Рисунок 2.42 — Камера сгорания HOTDISC фирмы FLSmidth

Камера сгорания встраивается в систему печи, в которой декарбонизатор расположен непосредственно над загрузочным отсеком (см. рисунок 2.42 — 1).

Камера сгорания состоит из:

- камеры кольцевого типа со слоем огнеупора, стационарным кожухом, крышей и центральным валом. Нижняя часть камеры сгорания выполнена из горизонтального вращающегося диска (стола) с огнеупорным слоем;

- стенки, на которой устанавливаются компоненты скребка. Стенка делит кольцевую камеру сгорания на отсеки загрузки топливных материалов и выхода зольных остатков;

- опорно-поворотного кольца, опирающегося на крепление и несущего вращающийся диск. Опорно-поворотное кольцо имеет внутренний ряд зубьев и приводится в движение двумя двигателями с частотно-регулируемыми приводами.

Скорость вращения стола варьируется от 1 до 22 об/ч.

Производительность камеры сгорания составляет 3–30 т/ч.

В камеру сгорания по транспортеру подают твердые горючие отходы через шлюзовой затвор (см. рисунок 2.42 — 2). Сюда же подают третичный воздух и часть сырьевой смеси из предпоследнего циклона циклонного теплообменника.

Альтернативные виды топлива подают на медленно вращающийся стол, где они начинают сгорать в окислительной среде при взаимодействии с третичным воздухом (см. рисунок 2.42 — 3, 4). Время пребывания топлива регулируют с помощью скорости вращения стола. Горящие отходы перемещаются на столе примерно на 270° до места установки скребка, где зольные остатки и частично декарбонизированный материал поступают в вертикальный газоход печи. Тяжелые остаточные продукты сгорания падают в загрузочное отверстие печи, более легкие частицы и отходящие газы движутся вверх в декарбонизатор.

На случай аварийной ситуации для прекращения процесса горения в камере сгорания предусмотрена подача холодной сырьевой муки из дополнительного бункера (см. рисунок 2.42 — 3, 4).

Ступенчатая камера сгорания PREPOL фирмы Thyssen Krupp позволяет сжигать низкосортные и крупнокусковые альтернативные виды топлива (см. рисунок 2.43).

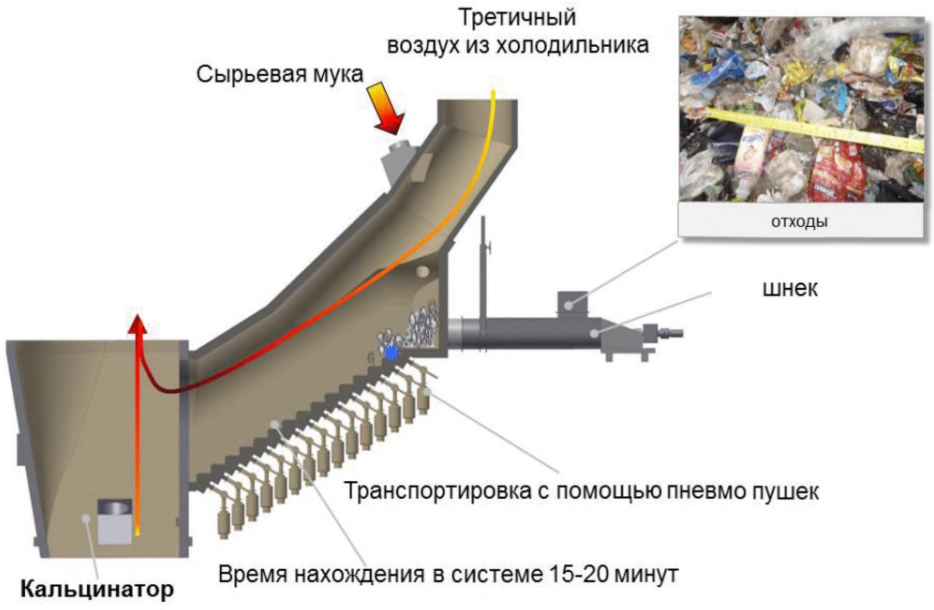


Рисунок 2.43 — Ступенчатая камера сгорания PREPOL

Применение камеры сгорания не оказывает негативного воздействия на окружающую среду и на процесс обжига клинкера:

- выбросы CO после теплообменника находятся в пределах 0,08 % ± 0,04 %;
- стабильное содержание SO_3 в горячей муке;
- постоянная температура на выходе из декарбонизатора;
- отсутствует образование настылей;
- снижаются выбросы NO_x.

2.7.3.5 Требования по качеству отходов и входной контроль

Отходы, используемые как сырьевые материалы и (или) как топливо в цементных печах, должны обладать стандартным качеством, поскольку топливные золы полностью связываются с образованием клинкера, минимальным негативным действием на состав клинкера и не давать дополнительных выбросов в атмосферу. Кроме того, необходимо стабильное качество отходов. Чтобы гарантировать характеристики топливных отходов, требуется система менеджмента качества. Кроме того, должны учи-

тываться требования существующих нормативных документов. Основная роль требований качества заключается в признании отходов как топлива и (или) сырьевых материалов, если они обеспечивают дополнительно следующее:

- калорийность за счет органической части;

- увеличение материала за счет минеральной части.

Высокая калорийность отходов может быть использована для замены первичного топлива в цементной печи. Следует отметить, что величина калорийности отходов колеблется в широких пределах (см. 2.7.3.2).

Подготовка различных типов горючих отходов или отходов, содержащих фракции с высокой калорийностью, обычно выполняют вне цементного завода. Такие отходы обычно подготавливаются поставщиком или специальными организациями предварительной обработки отходов, использующих специальные устройства и оборудование для получения продукта, пригодного для использования в цементных печах без дополнительной подготовки на цементном заводе. Однако до их использования в цементных печах отходы регулярно проверяются и анализируются персоналом цементного завода. Используется специальное лабораторное оборудование для проверки различных качественных характеристик материала.

Технологии подготовки и смешения отходов определенного качества зависят от характеристик вводимого материала и требований потребителя. Даже однотипные отходы специального производства до их применения обрабатываются и смешиваются в установках, предназначенных для отходов, чтобы обеспечить однородность смеси и постоянство качества: термических свойств и химического состава. Только в некоторых случаях можно использовать отходы без предварительной их обработки, например шины и отработанные масла. Любые неоднородные отходы, похожие на смесь твердых отходов различных источников или отобранную фракцию из смешанных городских отходов, требуют повышенного контроля для обеспечения надежного качества с постоянным малым вводом загрязнителя.

Важными характеристиками и параметрами топливных отходов являются величина калорийности, а также содержание воды, серы, хлора, тяжелых металлов (особенно ртути и таллия) и золы. Дополнительной важной характеристикой является способность к горению (горючесть). Хлор может оказывать негативное действие на процесс производства. Поэтому приемлемая концентрация хлора зависит от индивидуальной ситуации на агрегате (установке, аппарате). Однако эта концентрация должна под-

держиваться на минимальном уровне, чтобы предотвратить эксплуатационные проблемы печной системы, например, замазывание теплообменника. При повышенном количестве хлора необходима байпасная система, чтобы предотвратить замазывание, остановку и т. д. (см. раздел 5). Обычно концентрация хлора в топливных отходах не превышает 0,5 % — 2 %.

Традиционно топливные отходы накапливаются в значительном количестве. При выборе топливных отходов первым шагом является снижение доли материала, который может причинить проблемы в производственном процессе цемента или в его качестве.

При выборе топлива (обычного или отхода) также необходимо учитывать требования к качеству материала. Поэтому для производства цемента пригоден только ограниченный круг и количество топливных отходов. Имеются соответствующие ограничения по типам и количеству топливных отходов, пригодных для производства цемента, которые зависят от специфичных обстоятельств.

2.7.3.6 Концентрация металлов в отходах

Концентрация металлов изменяется в зависимости от происхождения отходов. Во многих Европейских странах законодатели и (или) промышленность выпустили список с максимально допустимой величиной концентрации металлов для выбора отходов, которые будут использованы в качестве топлива или сырьевых материалов. Примеры типичных концентраций металлов и типичные критерии, относящиеся к различным веществам для определения пригодности топливных отходов, представлены в 3.3.1 и 3.4.1. Такие критерии включают:

- значимость влияния цементной промышленности на окружающую среду в контексте с региональным развитием промышленности;
- усилия, направленные на гармонизацию региональных законов и стандартов по охране окружающей среды;
- уровень загрязнителей в традиционных сырьевых материалах и отходах;
- условия производства и выбросы;
- альтернативные методы обезвреживания отходов;
- необходимую минимальную величину калорийности;
- требования к качеству цемента.

2.7.3.7 Складирование и транспортировка отходов

Топливные отходы обычно подготавливаются на специальных обслуживающих предприятиях. Подаваемые подготовленные отходы необходимо только складировать на цементном заводе и затем в отмеренном количестве подавать в цементную печь. Отходы из разных партий могут отличаться по составу. Поэтому благоразумно проектировать многоцелевые склады/заводы по подготовке отходов.

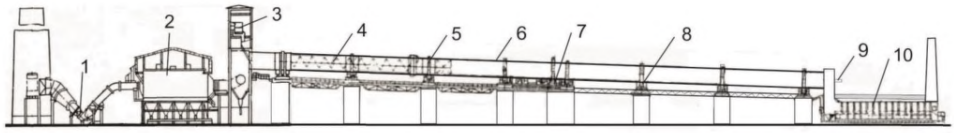
Жидкие топливные отходы в большинстве случаев являются опасными отходами. Это необходимо учитывать при их доставке, складировании, подаче в производство. Кроме того, для потенциально самовозгорающихся материалов должны быть предусмотрены специальные меры, особенно когда используются отходы, доставленные с предприятий по подготовке и сортировке отходов на фракции.

2.8 Обжиг цементного клинкера

В настоящее время обжиг клинкера осуществляют в печных системах мокрого, сухого и комбинированного способов производства (см. 2.1, рисунки 2.2–2.7). Типоразмеры печей представлены в разделе 1.

2.8.1 Печи мокрого способа производства

Обжиг цементного клинкера по мокрому способу производится в длинных вращающихся печах с отношением длины к диаметру L/D ≈ 37 (см. рисунок 2.44).



1 — дымосос, 2 — электрофильтр, 3 — шлампитатель, 4 — теплообменные устройства (цепная завеса), 5 — бандаж, 6 — корпус печи, 7 — привод печи, 8 — роликоопора, 9 — горелка, 10 — клинкерный холодильник

Рисунок 2.44 — Вращающаяся печь мокрого способа производства:

Наибольшее распространение в последние десятилетия получили печи 5 × 185 м с колосниковым холодильником «Волга 75» производительностью 1800 т/сут при среднегодовом удельном расходе условного топлива ~201 кг/т клинкера.

Печной агрегат мокрого способа производства включает длинную вращающуюся печь с внутренними теплообменниками, шламовый питатель, горелку для сжигания топлива, дымосос, клинкерный холодильник, систему очистки отходящих из печи газов. Вращающаяся печь представляет собой стальной барабан, который опирается через бандажи на роликоопоры и вращается с частотой 1–1,5 об/мин. Печь для обеспечения продвижения материала к разгрузочному концу имеет небольшой уклон (3,5 % — 4,0 %). Корпус печи изнутри отфутерован огнеупорным кирпичом. Виды огнеупоров и способы футеровки изложены в разделе 2.8.4. Печь работает по принципу противотока. Шлам через шламовую трубу подается в холодную часть печи. Навстречу материалу с выгрузочного конца печи движутся горячие топочные и выделяющиеся из материала газы.

Материал, продвигаясь по печи, нагревается до температуры спекания клинкера ~1450 °С, а газовый поток, движущийся к холодному концу, снижает свою температуру от ~1800 °С в факеле до ~200 °С на выходе печи. Отходящие из печи газы после очистки в электрофильтре выбрасываются в атмосферу через дымовую трубу. Готовый клинкер из вращающейся печи поступает в холодильник, где осуществляется его охлаждение от ~1200 °С до ~100 °С. Принцип работы различных клинкерных холодильников изложен в разделе 2.9. Избыточный воздух из холодильника с температурой ~120 °С после очистки в пылеулавливателе удаляется вентилятором и выбрасывается в атмосферу.

Дымосос служит для отсасывания из печи топочных газов и выделяющихся из материала водяного пара и углекислого газа.

Для снижения расхода топлива используется комплекс теплообменных устройств.

Комплекс теплообменных устройств для вращающейся печи мокрого способа производства обычно состоит из цепных завес и зацепных периферийных теплообменников, которые расположены в области температур материала до 500 °С и выполнены в виде цепных ковриков, а при более высоких температурах — в виде керамических теплообменников.

Цепные теплообменники располагаются обычно на участке 25 % — 35 % длины печи и вместе с керамическими теплообменниками могут распространяться до 50 % ее длины. Существуют различные способы навески цепей: свободновисящая и гирляндная. Выбор вида навески определяется свойствами сырья. Если шлам способен создавать гранулы и сохранять их по всей печи, то рекомендуется гирляндная завеса.

При подборе схемы цепную завесу в зависимости от свойств материала целесообразно разделить на участки: текучего (I), вязко-пластичного (II) и сыпучего (III–IV) состояния. Варианты распространенных цепных завес приведены на рисунке 2.45.

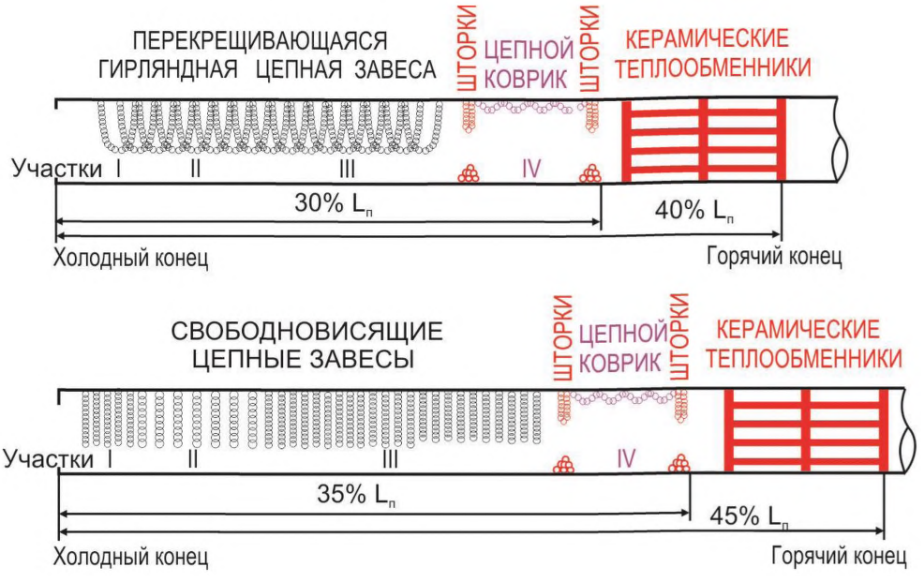


Рисунок 2.45 — Схемы навески трехзаходной гирляндной и свободновисящей цепных завес в печи 5 × 185 м

За цепной завесой устанавливаются периферийные керамические теплообменники, которые выполняются в виде перемешивающих полок, что увеличивает теплообмен в два раза.

Наиболее распространенный способ питания печи шламом приведен на рисунке 2.46.

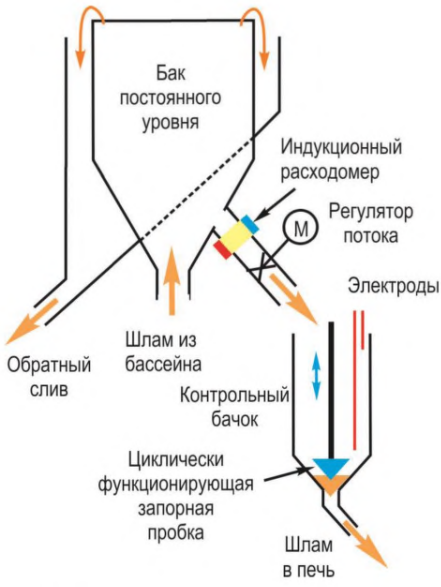


Рисунок 2.46 — Самоочищающийся питатель шлама

В связи с тем, что стабильная работа печи в значительной степени зависит от стабильного питания шламом, то данный способ имеет следующие преимущества:

- обеспечивается стабильное питание вследствие двух уровней контроля — индукционным расходомером и контрольным бачком;

- отсутствуют непрерывно работающие подвижные детали;

- не образуется осадок в системе, в связи с чем отпадает необходимость периодической очистки питателя шлама и обеспечивается более стабильное питание печи шламом;

- не требуется персонал для обслуживания питателя.

Недостаток:

- наличие обратного слива шлама, приводящего к дополнительному расходу электроэнергии.

Печи вследствие высоких энергетических и материальных затрат на обжиг клинкера выбрасывают значительное количество газов в окружающую среду. Так, с отхо-

дящими газами, на тонну клинкера выбрасывается более 4 т запыленных отходящих газов, содержащих ~850 кг CO_2, и около 1,5 т избыточного воздуха из холодильника на т клинкера. Для очистки этих газов устанавливаются электрофильтры, обеспечивающие после очистки концентрацию пыли до 20 мг/нм^3.

2.8.2 Печные системы с циклонным теплообменником

В печах с циклонными теплообменниками процесс обжига разделяют на два этапа: подогрев и частичная декарбонизация сырьевой муки осуществляется в циклонном теплообменнике и декарбонизаторе (при наличии), а обжиг — в укороченной вращающейся печи.

При сухом способе производства в России фирмами KHD и FLSmidth реализованы два варианта питания с проходным лотковым и с циклически работающими массорасходомерами (см. рисунок 2.47).

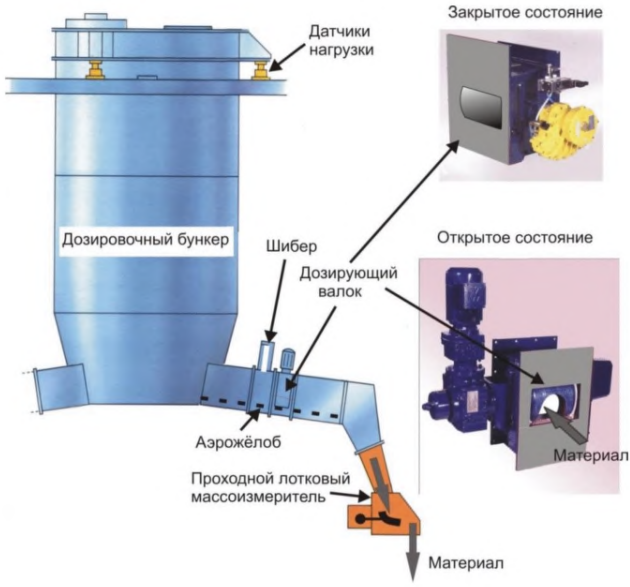


Рисунок 2.47 — Система питания печной системы сырьевой смесью с лотковым измерителем

Точное дозирование сырьевой муки для подачи в печную систему производится с использованием комплекса оборудования. Дозирующий блок состоит из взвешивае-

мого бункера, питающего узла и проходного лоткового массоизмерителя. Бункер опирается на три датчика нагрузки, которые определяют текущую массу муки в бункере. Питающий узел представляет собой аэрожелоб, в котором установлен дозирующий валок, принцип работы которого заключается в изменении проходного сечения валка при его повороте. Расход сырьевой смеси контролируется проходным лотковым массоизмерителем.

Втора я система FLSmidth состоит из усреднительного силоса, загрузочного, разгрузочного и дозирующих устройств (см. рисунок 2.48).

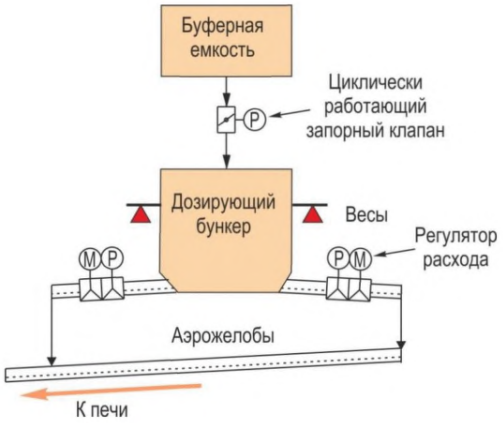


Рисунок 2.48 — Система питания печной системы материалом с дозирующим бункером

Из буферной емкости сырьевая смесь поступает в дозирующий бункер, установленный на весах. Регулирование количества подаваемого материала в печь основано на следующем принципе. Расходный бункер заполняется и опорожняется периодически. Когда сырьевая мука не поступает в бункер, определяется массовый расход материала за определенное время, который используется для расчета фактического питания печи. Этот показатель управляет положением регулятора расхода, которое затем остается неизменным во время заполнения расходного бункера материалом. Подобная операция повторяется при каждом цикле.

Параметры работы печи и движение газового потока и материала показаны на рисунке 2.49.

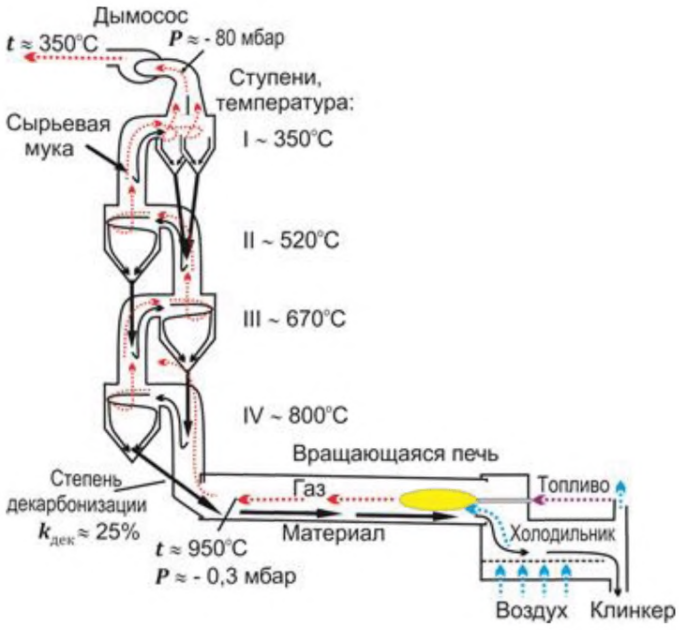


Рисунок 2.49 — Параметры газового и материального потоков в печной системе

Наиболее рациональными современными печами сухого и комбинированного способов являются обжиговые агрегаты выносными декарбонизаторами. Поэтому ниже будут рассмотрены только такие системы.

2.8.3 Печные системы с циклонным теплообменником и декарбонизатором

Наиболее рациональными современными печами сухого и комбинированного способов являются обжиговые агрегаты с выносным декарбонизатором. Принцип работы заключается в том, что при сухом способе самую теплоемкую зону — зону декарбонизации, потребляющую до 60 % тепла, выносят из вращающейся печи в суспензионный теплообменник, где скорость теплообмена на несколько порядков выше, чем во вращающейся печи (см. рисунок 2.50). Это позволило уменьшить размеры вращающейся печи, создать установки с единичной мощностью до 12 тыс. т клинкера в сутки.

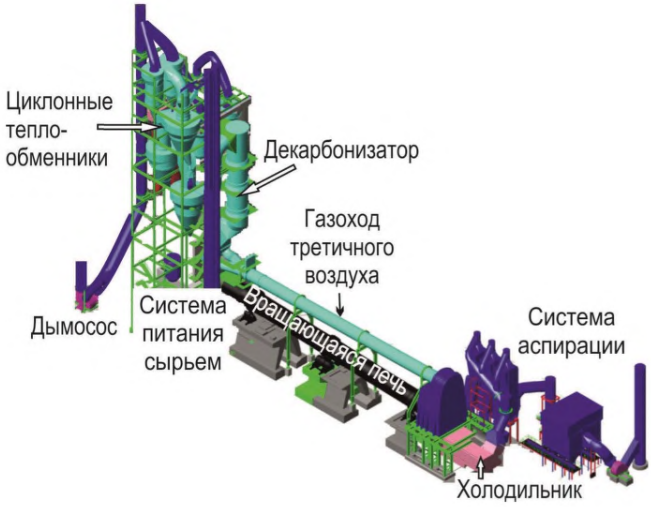


Рисунок 2.50 — Современная печная система с декарбонизатором

В настоящее время имеются десятки различных систем декарбонизаторов. В России применяются три: фирм KHD, Японии и FLSmilth, приведенные на рисунке 2.51.

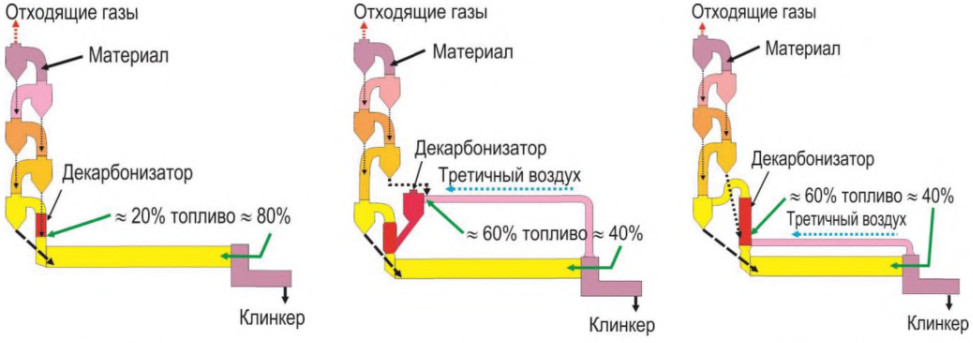


Рисунок 2.51 — Применяемые в России системы печей с декарбонизаторами

Система PYROCLON-S без третичного воздуха с дополнительным сжиганием топлива в запечном теплообменнике не имеет широкого распространения, так как поз-

воляет повысить производительность печи всего на 20 % — 25 %. В России реализована одна такая линия на ОАО «Себряковцемент».

Система RSP с декарбонизатором камерно-циклонного типа впервые реализована в Японии в 1967 году. Степень декарбонизации достигает 95 %. Такая линия реализована в России на ЗАО «Невьянский цементный завод».

Декарбонизатор (в системе PYROCLON-R) с восходящим вертикальным газоходом и третичным воздухом высотой ~80 м получил в последние годы наибольшее распространение. В России за последнее десятилетие зарубежными фирмами KHD Humboldt, FLSmidth и китайскими компаниями реализовано 17 технологических линий сухого способа на ПАО «Мордовцемент», ОАО «Себряковцемент», в Республике Башкортостан, Оренбургской, Ленинградской, Московской, Тульской, Ульяновской, Калужской областях и Краснодарском крае.

Преимущество систем с декарбонизатором:

- высокая единичная мощность (до 12 тыс. т в сутки);
- малые габариты печей, малое количество опор;
- высокая стойкость футеровки;
- пониженный расход топлива;
- пониженный выброс в атмосферу парниковых газов, CO_2 и NO_x;
- высокая степень автоматизации;
- высокая производительность труда.

Недостатки:

- усложненность оборудования;
- затруднения в получении сырьевой смеси стабильного состава;
- затруднения в получении высококачественного клинкера стабильного минералогического состава.

2.8.4 Футеровка вращающихся печей

Внутренняя часть печи покрыта слоем огнеупора (футеровкой), который служит для защиты корпуса печи от воздействия высоких температур и снижения теплопотерь через корпус. На различных участках вращающейся печи (см. рисунок 2.52) используют огнеупорные материалы.

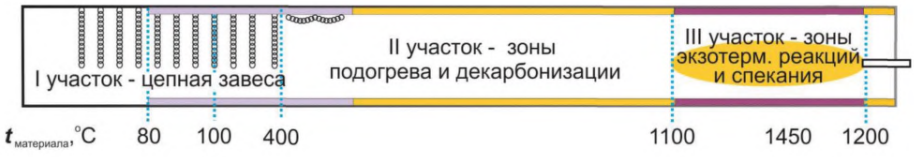


Рисунок 2.52 — Футеровка вращающейся печи мокрого способа производства

I участок печи — область теплообменных устройств (зоны сушки и частично подогрева). Первая половина холодной части цепной завесы не футеруется. Вторая половина зоны сушки при температуре материала до 100 °С футеруется бетоном на портландцементной связке и для противодействия истиранию армируется. При плохой грануляции материала температура порошкообразной смеси в горячей части цепной завесы может достигать ~400 °С, тогда эта часть футеруется огнеупорным бетоном на основе жидкого стекла или глиноземистого цемента. Для предотвращения истирания бетон рекомендуется покрывать жаростойкими металлическими бронеплитами. Участок цепного коврика следует футеровать шамотным кирпичом.

II участок — подготовительные зоны (часть зоны подогрева и декарбонизации) — футеруется шамотным огнеупором на связке или без нее. В качестве связки может применяться портландцементная суспензия или специальный мертель.

III участок — высокотемпературные зоны (экзотермических реакций и спекания).

Зона спекания — самый ответственный участок печи, так как здесь на футеровку воздействуют высокая температура и клинкерный расплав. Наибольшее распространение в настоящее время имеют огнеупоры на основе MgO.

Футеровка вращающейся печи сухого способа производства осуществляется такими же огнеупорными материалами, как и в печи мокрого способа: подготовительные зоны — шамотным огнеупором, а спекания — кирпичом на основе MgO.

При футеровке циклонных теплообменников используется многослойная футеровка, состоящая из теплоизолирующего и защищающего от износа огнеупорного слоя. Теплоизолирующий слой выполняется панелями из силиката кальция или легковесных огнеупорных кирпичей. При футеровке теплообменника широко используется огнеупорный бетон.

2.9 Клинкерные холодильники

В настоящее время в основном применяют следующие клинкерные холодильники: рекуператорные (планетарные), барабанные и колосниковые.

2.9.1 Рекуператорные (планетарные) и барабанные холодильники

Рекуператорные холодильники представляют собой барабаны, расположенные вокруг выгрузочного конца печи.

Преимущества рекуператорного холодильника:

- простота конструкции;
- отсутствие привода;
- отсутствие вентиляторов;
- низкий расход электроэнергии на охлаждение клинкера.

Недостатки:

- повышенная температура охлажденного клинкера;
- невозможность применения для печей с декарбонизатором;
- невысокий тепловой КПД.

Вследствие наличия вышеуказанных недостатков на вновь строящихся заводах такие холодильники больше не устанавливают.

В настоящее время в России рекуператорные холодильники выведены из эксплуатации (ОАО «Уралцемент», ПАО «Мордовцемент», ЗАО «Белгородский цемент», ОАО «Себряковцемент» и др.) и сохранились только на старых печах низкой производительности.

Барабанные холодильники в основном имеют те же недостатки, что и рекуператорные, и на цементных заводах России не эксплуатируются.

2.9.2 Колосниковый клинкерный холодильник

В настоящее время наибольшее распространение получили холодильники, в которых охлаждение клинкера происходит в слое при тесном взаимодействии проходящего через него воздуха. Такой непосредственный контакт воздуха с поверхностью клинкерных гранул обеспечивает высокую интенсивность теплообмена и поэтому позволяет повысить тепловой КПД холодильника и снизить его габариты и выброс горячего воздуха в атмосферу. Этот эффективный процесс реализован в колосниковых холо-

дильниках различных конструкций. Распространение получили в основном две принципиально отличающиеся разновидности: с провальной и беспровальной решетками. Каждый вид имеет несколько модификаций. В России на высокопроизводительных печах мокрого способа преимущественно установлены отечественные колосниковые переталкивающие холодильники с провальной решеткой типа «Волга» (см. рисунок 2.53).

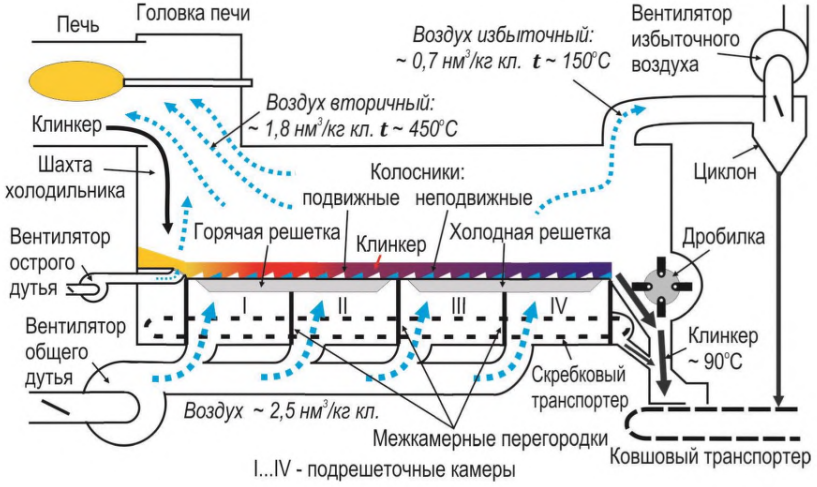


Рисунок 2.53 — Устройство и принцип работы колосникового переталкивающего холодильника «Волга 75»

Для повышения эффективности работы холодильника и, следовательно, снижения расхода топлива и выброса парниковых газов и пыли в окружающую среду необходимо снижать расход воздуха на охлаждение клинкера, что можно компенсировать повышением времени охлаждения путем повышения высоты слоя и снижением размера клинкерных гранул [47].

В последнее время распространение получил новый тип холодильника с беспровальной решеткой фирм FLSmidth (см. рисунок 2.54) [48], Claudius Peters (см. рисунок 2.55), Polysius и KHD Humboldt Wedag (см. рисунок 2.57). В России используются перечисленные холодильники.

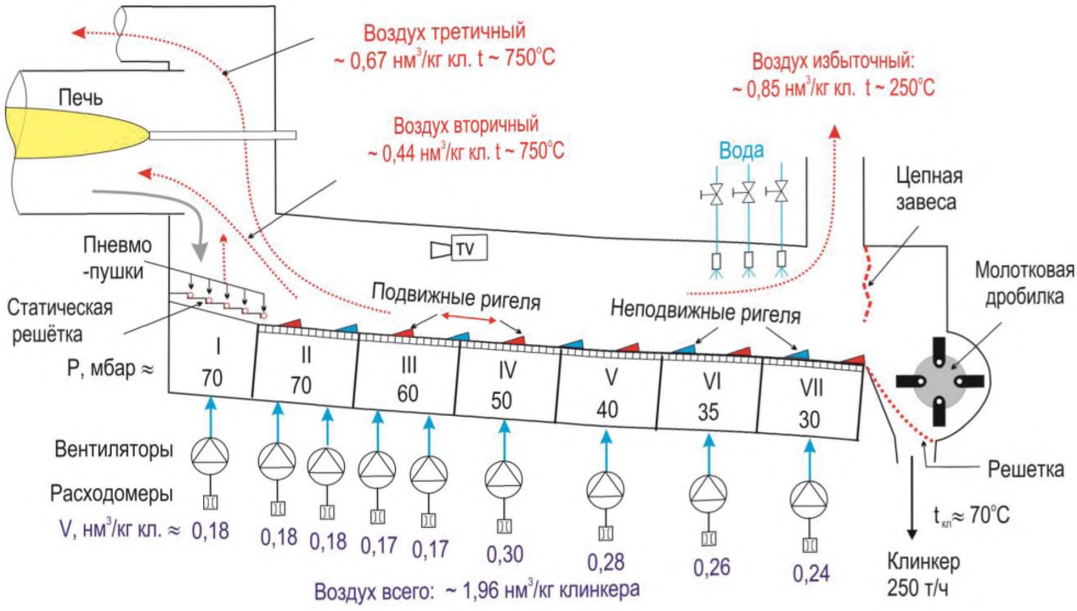


Рисунок 2.54 — Клинкерный ригельный холодильник фирмы FLSmidth

Проект переталкивающего колосникового холодильника реализован фирмой Claudius Peters на заводе ОАО «Сода» (см. рисунок 2.55).

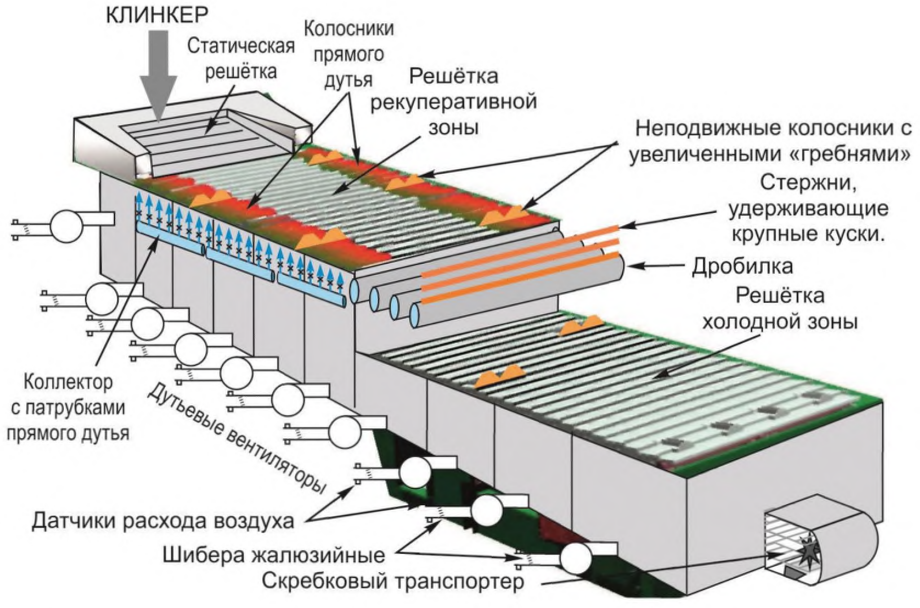


Рисунок 2.55 — Схема и устройство переталкивающего колосникового холодильника фирмы Claudius Peters

Между горячей и холодными решетками расположена валковая дробилка для клинкера с гидроприводом (см. рисунок 2.56).



а)



б)

Рисунок 2.56 — Валковая дробилка для клинкера (а) с элементами зубчатого валка (б)

Промежуточное дробление осуществляется с целью окончательного, как можно более полного, охлаждения всего клинкера на второй решетке до температуры <95 °С. Преимущества валковой дробилки по сравнению с молотковой при дроблении клинкера приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 — Эффективность использования валковой дробилки для клинкера

№ п/п	Наименование параметров	Значения для дробилок	
		молотковая	валковая
1	Тип привода	Механический	Гидравлический
2	Размер максимального исходного куска	~500 мм	~1000 мм
3	Возможность реверса при заклинивании дробилки	Нет	Да

№ п/п	Наименование параметров	Значения для дробилок	
		молотковая	валковая
4	Размер дробленого клинкера	≤ 35 мм	≤ 35 мм
5	Допустимая температура клинкера	350 °С	800 °С
6	Частота вращения	367 об/мин	4 об/мин
7	Окружная скорость	25 м/с	0,07 м/с
8	Расход дробящих элементов	300 г/т	4 г/т
9	Расход электроэнергии	0,9 кВт·ч/т	0,3 кВт·ч/т
10	Межремонтный период	100 %	> 300 %
11	Выделение пыли	Высокое	Низкое

На ПАО «Мордовцемент» и других заводах установлено оборудование фирмы KHD — холодильники типа PYROFLOOR. Холодильник состоит из ограждающего корпуса, колосниковой решетки, по которой передвигается клинкер, вентиляторов, продувающих воздух через слой клинкера, и аспирационного вентилятора, удаляющего после очистки избыточный воздух в атмосферу (см. рисунок 2.57). Колосниковая решетка состоит из возвратно-поступательно движущихся дорожек.

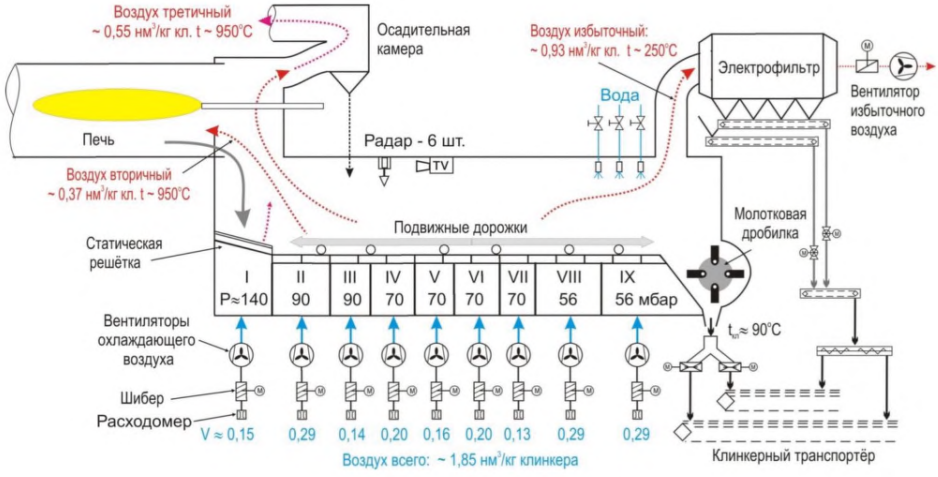


Рисунок 2.57 — Принципиальная схема клинкерного холодильника PYROFLOOR

Для создания возвратно-поступательного движения средних дорожек применяются гидроприводы (см. рисунок 2.58, позиция 2). Транспортировка клинкера осуществляется одновременным движением вперед всех дорожек. Непрерывность перемещения достигается поэтапным возвратом дорожек в исходное положение (к загрузке). При движении вперед весь клинкерный слой движется к выходу. При движении назад группы дорожек (от 1 до 3, не расположенных рядом), возврат клинкера на них тормозится соседними слоями и поэтому дорожки при обратном движении проскальзывают под слоем клинкера без значительного его смещения назад.

При такой совокупности движений вперед и назад осуществляется транспортировка клинкера к выходу.

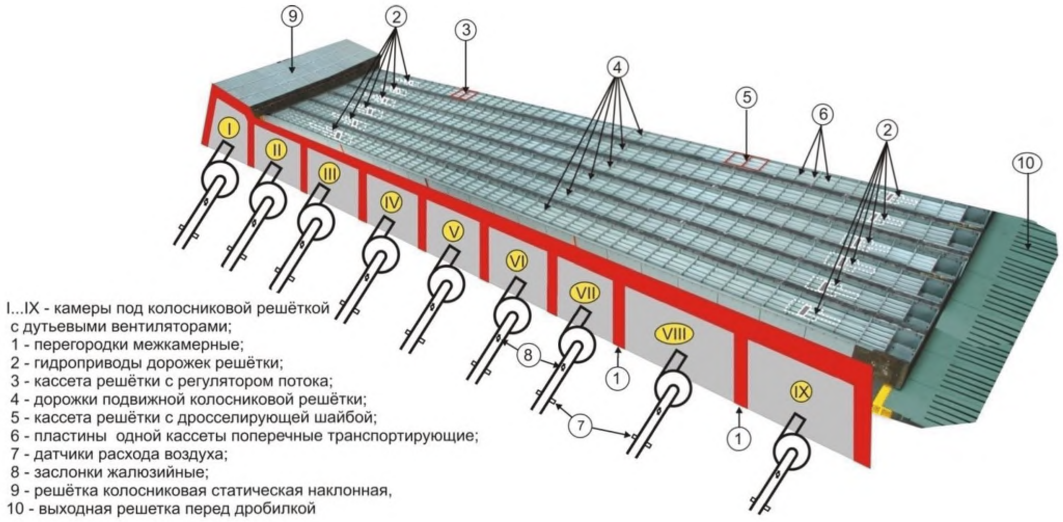


Рисунок 2.58 — Схема колосниковой решетки холодильника PYROFLOOR

Преимущества колосникового холодильника с беспровальной решеткой:

- повышенный тепловой КПД;
- отсутствие просыпи мелкого клинкера через решетку;
- пониженный объем дутьевого и избыточного воздуха;
- отсутствие скребкового транспортера под решеткой;
- пониженный износ колосников;
- возможность индивидуального регулирования потока воздуха через слой клинкера.

Недостатки:

- повышенный расход электроэнергии на работу вентиляторов;

- некоторое усложнение конструкции.

Избыточный воздух из холодильника подвергается очистке от пыли преимущественно в электрофильтре, а аспирационный воздух от узлов перегрузки клинкера — в рукавных фильтрах [49], [50].

2.10 Складирование клинкера и помол цемента

2.10.1 Складирование клинкера

Для хранения клинкера в России используют открытые склады и силосы. С открытого склада клинкер загружают на конвейер для подачи в мельницу с помощью грейферного крана.

Преимущество открытого склада заключается в возможности одновременного использования клинкера с разных печей для подачи в одну мельницу, недостаток — в загрязнении пылью окружающей воздушной среды и территории завода.

Открытый склад используют на ООО «Топкинский цемент», ЗАО «Липецкцемент», ОАО «Воскресенский цементный завод», ЗАО «Осколцемент», ОАО «Себряковцемент» и др.

Силосы применяют для хранения кондиционного и некондиционного клинкера (см. рисунок 2.59).

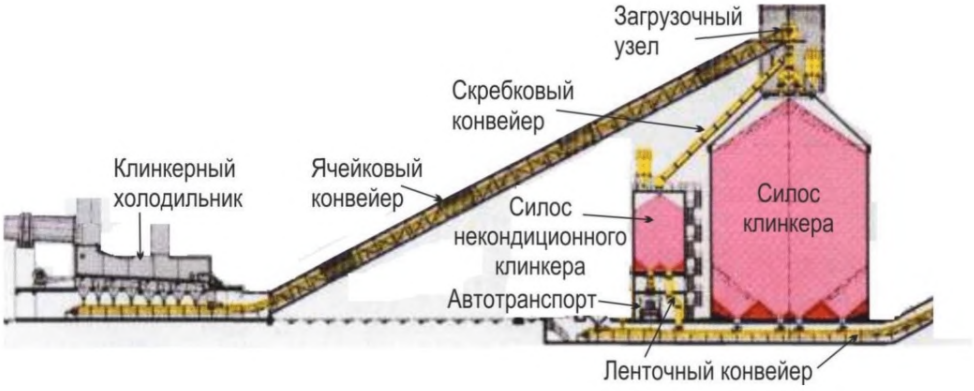


Рисунок 2.59 — Силос для хранения кондиционного и некондиционного клинкера фирмы Aumund

Для хранения кондиционного клинкера имеет распространение круговой силос с механизированными системами разгрузки. Так, на ПАО «Мордовцемент» для хранения кондиционного клинкера предусмотрен шатровый склад, для некондиции — силос. Кроме того, предусмотрена возможность отвала клинкера на открытую площадку. Выгрузка кондиционного клинкера из склада осуществляется через 16 разгрузочных узлов, из которых 12 — с механизированным приводом, а 4 — с ручным. Разгрузочные узлы оборудованы штанговыми и прижимными шиберами. Далее клинкер подают ковшовыми транспортерами в соответствующий бункер цементной мельницы.

Система разгрузки клинкера из силоса может включать стержневые и секторные затворы, что реализовано практически на всех заводах сухого способа России, построенных в последних годы (см. рисунок 2.60).

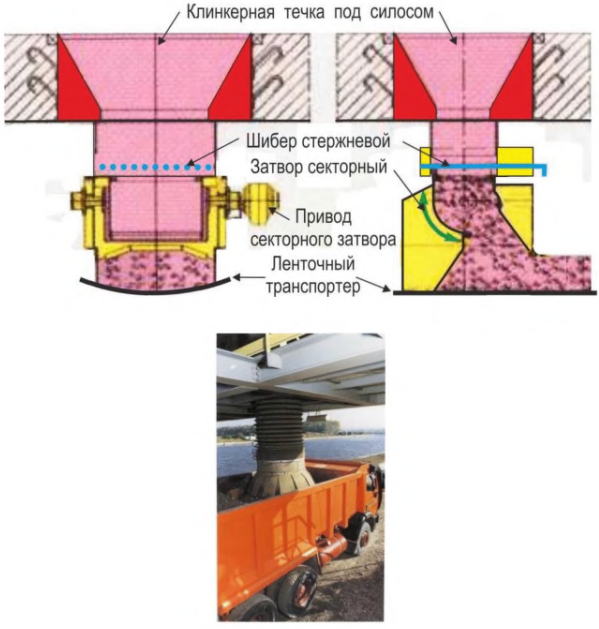


Рисунок 2.60 — Система разгрузки силоса клинкера с стержневыми и секторными затворами и погрузка в автотранспорт

2.10.2 Помол цемента

Помол цементного клинкера является важной и в то же время последней технологической операцией в процессе производства цемента. От этой операции в значительной степени зависит качество цемента. Технология помола цемента ставит своей задачей получение высокопрочного вяжущего материала стабильного качества, минимизацию затрат электроэнергии и повышение экологической безопасности этого процесса. Цемент производят измельчением клинкера и добавок до дисперсности, обеспечивающей необходимое качество цемента. Для помола применяют различные агрегаты, но наиболее распространенным пока остается шаровая мельница, устройство и принцип работы которой, а также способы интенсификации процессов в ней приведены ниже.

2.10.2.1 Помол цемента в шаровой мельнице

Шаровая мельница имеет невероятно низкий КПД, который находится на уровне 3 % — 5 % (см. рисунок 2.61). Способы снижения энергозатрат приведены в таблице 2.11.

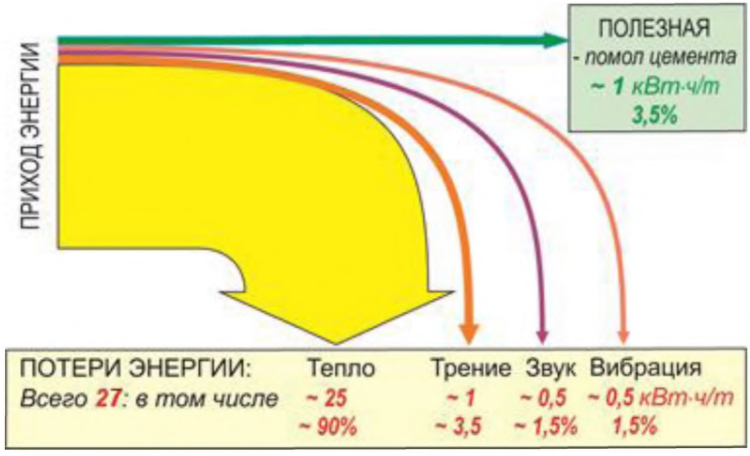


Рисунок 2.61 — Затраты энергии на отдельные процессы при помоле цемента в шаровой мельнице по данным фирмы Christian Pfeiffer

Таблица 2.11 — Способы снижения энергозатрат на помол цемента в шаровой мельнице

№	Мероприятия	Эффект, %
1	Квалифицированная эксплуатация	До 10
2	Применение ПАВ	До 10
3	Новая внутренняя оснастка	До 20
4	Установка сепаратора	До 25
5	Предизмельчение	До 30
6	Применение минеральных добавок	До 30

Основная энергия расходуется на нагрев цемента, что негативно сказывается на процессе помола, качестве цемента и окружающей среде. Поэтому применение эффективных способов снижения энергозатрат на помол цемента является важнейшей задачей. Они включают совершенствование внутримельничных устройств и подбор ас-

сортимента мелющих тел, применение химических интенсификаторов помола, применение замкнутых схем помола с сепараторами, а также новых помольных агрегатов.

2.10.2.2 Применение интенсификаторов помола

В качестве интенсификаторов помола широко применяют поверхностно-активные вещества — ПАВ. Согласно [51], механизм действия интенсификаторов помола основан на адсорбции молекул ПАВ на поверхности цементных частиц, что позволяет:

- снять электростатические заряды с поверхности частиц, что предотвращает агрегирование мелких частиц, устраняет проблему налипания материала на шары и бронефутеровку мельниц;

- снизить твердость измельчаемых продуктов, тем самым снизить энергозатраты на помол;

- изменить коэффициент сцепления между мелющими телами, бронефутеровкой и материалом, тем самым повысив силу удара и истирающего воздействия;

- повысить скорость продвижения материала по мельнице и циркуляцию в поперечном сечении.

Технико-технологическая эффективность применения интенсификаторов помола:

- повышение производительности помольных агрегатов при заданной тонкости помола, что позволяет снизить удельные затраты электроэнергии на помол на 2–10 кВт·ч/т цемента, затраты на обслуживание процесса помола;

- повышение гарантированной прочности при повышении тонкости помола при заданной производительности мельницы;

- изменение гранулометрического состава цемента, что может способствовать изменению таких свойств как водоотделение, сроки схватывания, ускорение набора ранней прочности;

- повышение эффективности работы сепараторов в замкнутом цикле из-за снижения содержания агрегированных частиц;

- повышение текучести цемента, что важно при транспортировке цемента по аэрожелобам, выгрузке цемента из силосов.

2.10.2.3 Модернизация внутримельничных устройств

Развитие в последние годы новых внутримельничных устройств позволяет производить модернизацию мельниц, один из вариантов которой приведен на рисунке 2.62 (цветом показаны измененные узлы).

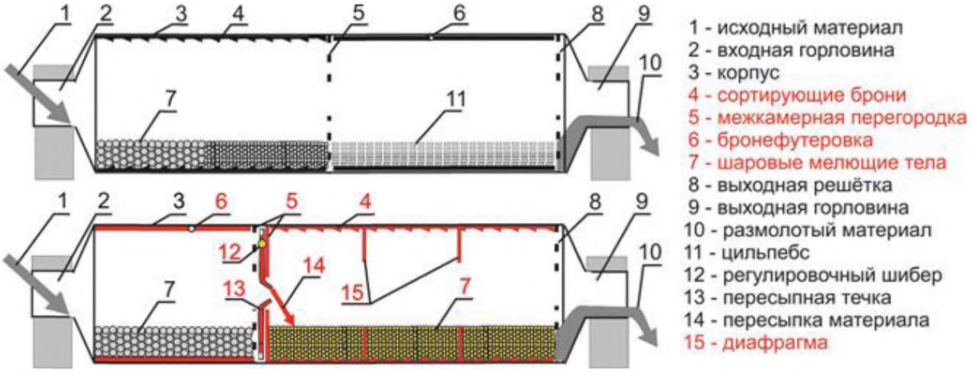


Рисунок 2.62 — Модернизация шаровой мельницы

Модернизация сводится к следующим технологическим и конструктивным решениям:

- длина первой камеры сокращается с ~1/2 до ~1/3 общей длины мельницы;
- сортирующие бронеплиты первой камеры заменяют на волнистые;
- гладкие бронеплиты второй камеры заменяют на сортирующие;
- одинарную межкамерную перегородку меняют на двойную;
- во второй камере устанавливают диафрагмы;
- во второй камере цильпебсную загрузку заменяют на мелкие шары, в основном размером 17 мм.

В результате модернизации производительность мельницы повышается на 15 % — 20 %, и пропорционально снижается удельный расход электроэнергии. В России модернизация шаровой мельницы произведена бельгийской фирмой «Магото» на ОАО «Себряковцемент».

2.10.2.4 Интенсификация помола цемента путем применения сепаратора

Наиболее эффективным способом интенсификации помола цемента является перевод шаровой мельницы на замкнутый цикл с применением сепаратора (см. рисунок 2.63).

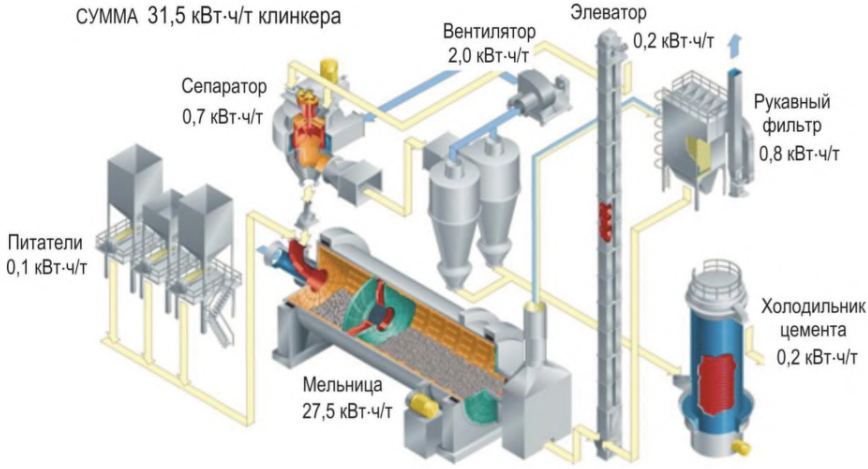


Рисунок 2.63 — Расход электроэнергии по отдельным агрегатам при замкнутой схеме помола цемента по данным фирмы Christian Pfeiffer

Преимущества:

- повышенная производительность мельницы;
- снижение электроэнергии на помол материалов;
- возможность получения тонкомолотого высокомарочного цемента;
- повышенная эффективность при помоле смешанных цементов;
- предотвращение перегрева цемента за счет охлаждения в сепараторе;
- снижение расхода мелющих тел;
- повышение срока службы бронефутеровки.

Недостатки:

- усложнение схемы помола материала;
- установка дополнительного оборудования.

Ниже представлен пример эффективности модернизации цементной мельницы (см. таблицу 2.12).

Таблица 2.12 — Эффективность установки сепаратора и замены внутренней оснастки мельницы 2,6 × 13 м по данным фирмы Christian Pfeiffer

Параметры	Размерность	Значения от реконструкции		Эффект
		До	После	
Удельная поверхность	$м^2/кг$	290	300–320	+ 20
Производительность	т/час	23	35	+ 52 %
Расход электроэнергии	кВт·ч/т	41,3	29,3	- 29 %
Температура цемента	°С	120–130	70–80	- 50 °С

2.10.2.5 Новые современные агрегаты для помола цемента

В последнее время шаровые трубные мельницы частично вытесняются более экономичными помольными агрегатами: вертикальными тарельчато-валковыми мельницами и пресс-валковыми измельчителями. Устройство и принцип работы этих агрегатов изложены в разделах 2.6.2.3 и 2.6.2.4. Преимущество их заключается в высокой производительности и пониженном расходе электроэнергии. Эффективность вертикальной валковой мельницы значительно возрастает с повышением тонкости помола материалов, особенно трудноразмалываемых, таких как шлак (см. рисунок 2.64).

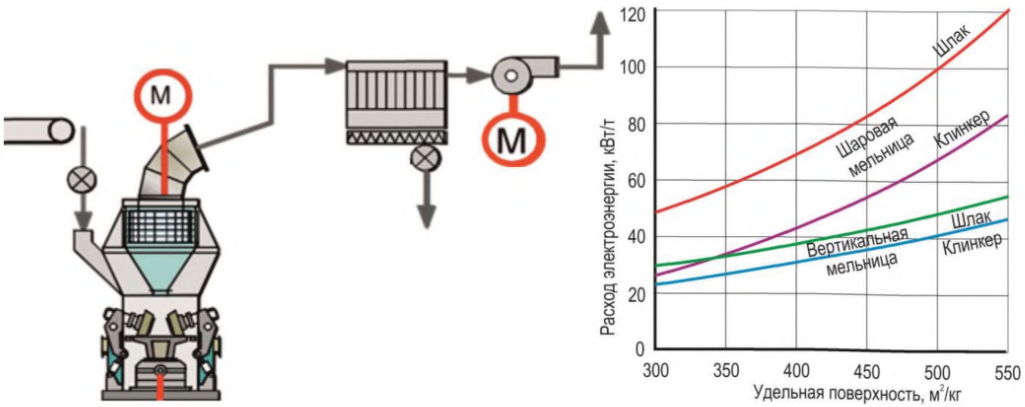


Рисунок 2.64 — Эффективность вертикальной валковой мельницы в сравнение с шаровой по данным фирмы Loesche

При помоле клинкера до удельной поверхности 300 $м^2/кг$ расход электроэнергии составляет на шаровой мельнице 32, а на вертикальной — 28 кВт·ч/т, следовательно,

экономия составляет около 12 %, а при 500 $м^2$/кг эти значения равны соответственно 68 и 41 кВт·ч/т, и экономия будет уже 40 %. Следовательно, вертикальные мельницы целесообразно применять для тонкого измельчения клинкера и особенно шлака, при помоле которого эффект еще выше. Пока остается не совсем понятным вопрос качества цемента. Согласно некоторым данным, из-за изменения принципа измельчения с ударного на раздавливание изменяется форма частиц цемента, что приводит к повышенной водопотребности цемента и, следовательно, к снижению качества бетона.

Эффективность применения пресс-валкового измельчителя при помоле цемента по различным схемам представлена на рисунке 2.65. При применении схемы помола с пресс-валковым измельчителем в сравнении с шаровой мельницей экономия электроэнергии составляет по данным фирмы KHD Humboldt Wedag от 12 % до 54 %, по данным же фирмы Polysius — не менее 30 %. Наибольшая экономия достигается, если полностью исключить из схемы шаровую мельницу. Однако при помоле только в пресс-валковом измельчителе возникают те же проблемы, что и при помоле в вертикальной мельнице. В связи с этим в настоящее время применяют схемы 2 и 3 с домолом цемента в шаровой мельнице.

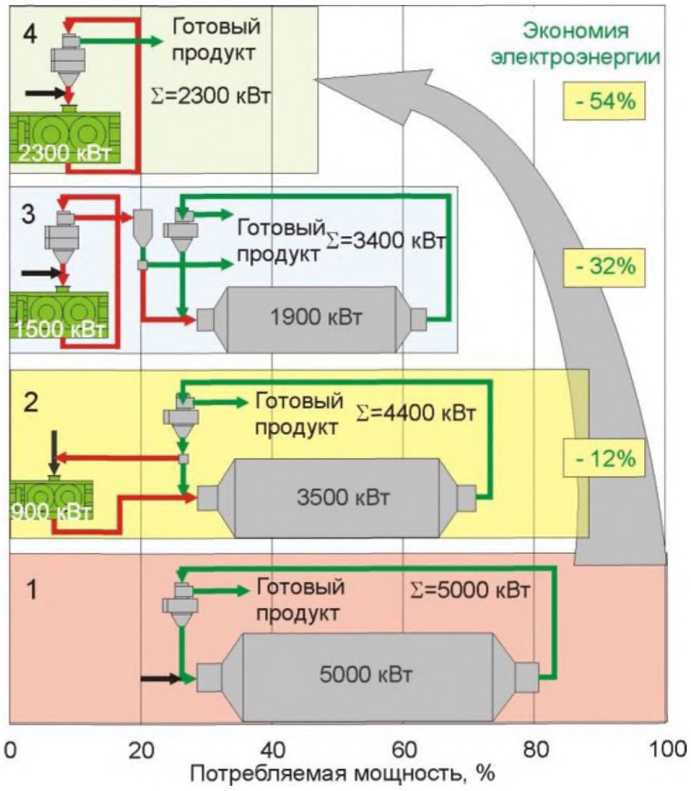


Рисунок 2.65 — Эффективность применения пресс-валкового измельчителя

Преимущества новых агрегатов:

- пониженный расход электроэнергии на помол;

- высокая скорость процесса, создающая благоприятные условия для автоматизации;

- пониженный уровень шума;

- пониженный объем ремонтных работ;

- отсутствие работ по догрузке и перегрузке мелющих тел.

Недостатки:

- усложненность оборудования;

- повышенная стоимость.

Пресс-валковые измельчители эксплуатируются на ООО «Азия Цемент» и Первомайском цементном заводе.

2.11 Сушилки

В производстве цемента необходимо производить сушку различных материалов: сырья, добавок, топлива. Сушка при помоле сырья была рассмотрена в разделе 2.6. Поэтому в данном разделе будет представлен только процесс сушки. До недавнего времени имели распространение преимущественно барабанные сушилки. Преимущество их заключалось в универсальности, так как в них можно сушить любые материалы, независимо от размера кусков и влажности. Недостатки — в больших размерах, низкой производительности, КПД и скорости процесса. В настоящее время в основном применяют сушилки с более интенсивной и скоростной сушкой. Во всех случаях для сушки необходим сушильный агент — горячие газы, для получения которых применяют топки. Раньше преимущественно применяли камерные топки больших размеров. Сейчас большее распространение имеют компактные топки с холодными стенками (см. рисунок 2.66). Особенность такой топки заключается в том, через кольцевой канал между высокотемпературной камерой сгорания и корпусом в смесительную область поступает вторичный воздух, что исключает потери тепла в окружающую среду.

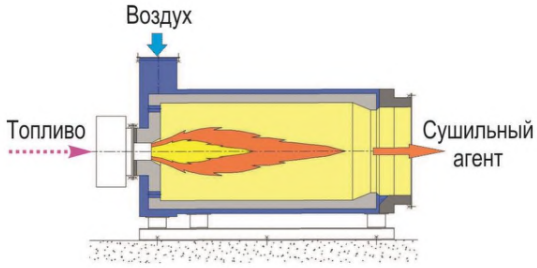


Рисунок 2.66 — Топка с холодными стенками по данным фирмы Loesche

В сравнении с камерной, представленная топка имеет следующие преимущества:

- малые габариты;
- высокая производительность;
- отсутствие потерь тепла через корпус
- высокая скорость процесса и оперативность при регулировании, позволяющие легко автоматизировать процесс.

Недостатки:

- работа системы под давлением;

- необходимость герметизации системы.

Для однородного материала мелкой фракции, каким является гранулированный шлак, целесообразно применять сушилку взвешенного слоя (см. рисунок 2.67).

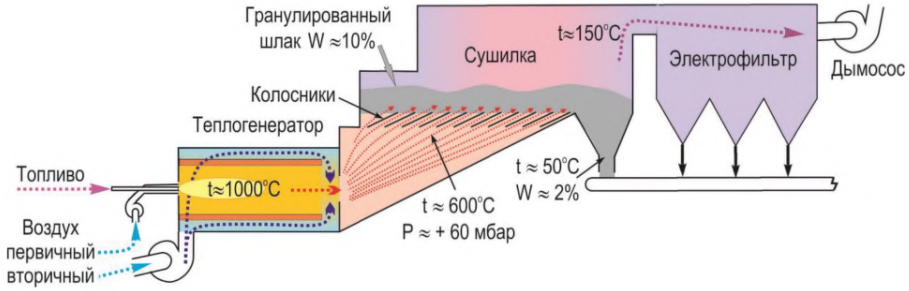


Рисунок 2.67 — Сушилка взвешенного слоя

Особенность сушилки заключается в высокой скорости теплообмена между сушильным агентом и материалом при их тесном контакте в слое.

Преимущества:

- повышенная производительность;

- высокие скорость процесса и степень автоматизации;

- отсутствие подвижных деталей в сушилке;

- низкие затраты на ремонт и эксплуатацию;

- малые габариты, компактность.

Недостатки:

- ограниченность применения — только для сыпучего материала небольших размеров;

- работа топки под давлением, необходимость герметизации;

- повышенный расход электроэнергии на работу вентиляторов.

Такую сушилку отечественного производства применяют для сушки шлака на ЗАО «Липецкцемент» и др. заводах.

Высокоскоростная сушилка фирмы HAZEMAG представлена на рисунке 2.68. Сушилка предназначена для сушки пластичных высоковлажных до 30 % материалов

таких, как глина. Помимо сушки установка производит дезагломерацию материала, тем самым облегчая дальнейшую его переработку.

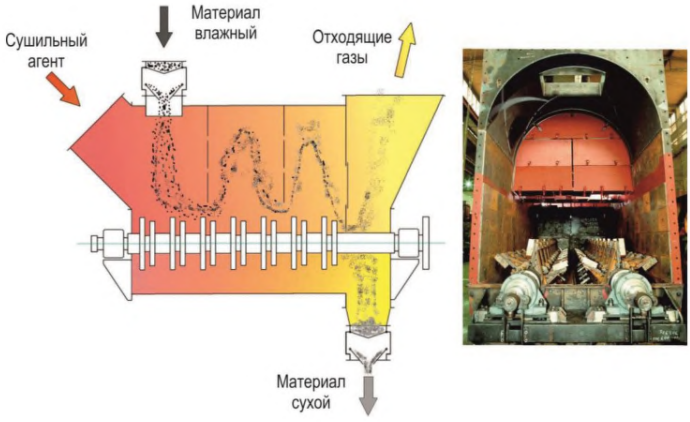


Рисунок 2.68 — Высокоскоростная сушилка фирмы HAZEMAG

Преимущества:

- высокая скорость процесса, и, следовательно, возможность автоматизации;
- возможность сушки пластичных материалов высокой влажности;
- простота обслуживания и ремонта.

Недостатки:

- нежелательность сушки твердых абразивных материалов, приводящих к быстрому износу роторов.

Взамен громоздких барабанных сушилок в последнее время созданы более компактные и эффективные трехходовые барабанные сушилки (см. рисунок 2.69).

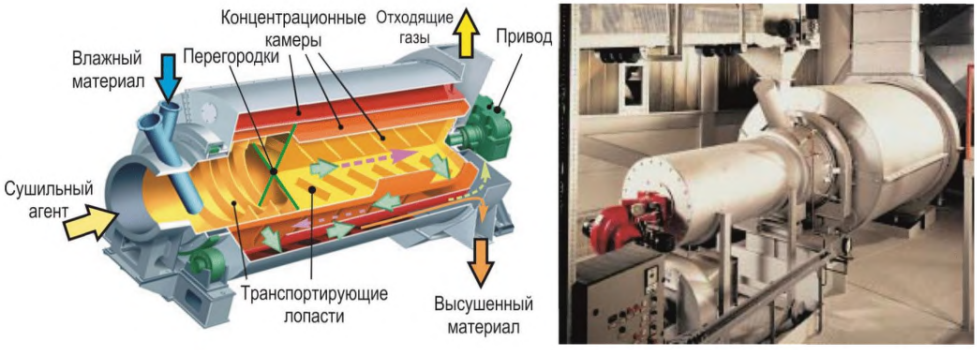


Рисунок 2.69 — Трехходовая барабанная сушилка фирмы GEBR. PFEIFFER

Преимущества:

- возможность сушки материалов различных размеров и влажности;

- компактность сушилки;

- пониженный расход тепла на сушку по двум причинам: невысока поверхность соприкосновения сушилки с окружающей средой, и наружная поверхность сушилки имеет пониженную температуру.

Недостаток:

- при износе транспортирующих лопастей прекращается передвижение материала, и сушилка перестает работать.

В некоторых случаях при невысокой влажности добавок или невысоком их содержании в цементе можно сушить их непосредственно в камере сушки шаровой мельницы (см. рисунок 2.70). В России такая мельница реализована фирмой KHD на ООО «ЮУГПК».

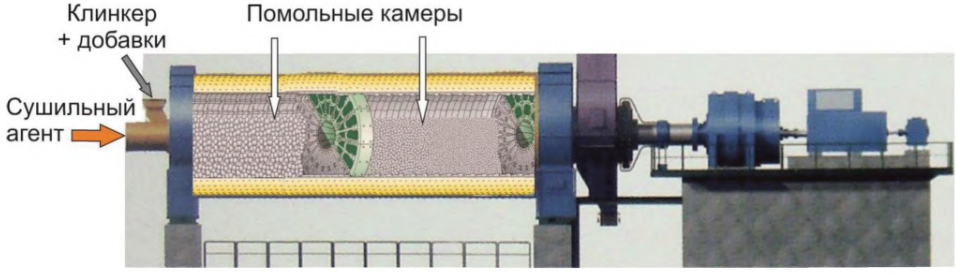


Рисунок 2.70 — Шаровая мельница для помола и сушки клинкера и добавок

2.12 Хранение, отгрузка и упаковка цемента

Система хранения и отгрузки цемента показана на рисунке 2.71. Для хранения готового цемента используются силоса. Непрерывная подача материала в силос производится посредством ковшового элеватора и аэрожелоба. Верхняя площадка силоса оборудована всем необходимым для эксплуатации, включая люки, уравнивающие давление клапаны, датчик, предотвращающий переполнение и уровнемер, отображающий заполнение цементом силоса. Для выгрузки силосов они снабжены аэрирующими кассетами и аэрожелобами. Все силоса позволяют производить загрузки цемента в автотранспорт и в железнодорожные вагоны. Часть цемента подвергается упаковке в мешкотару и паллеты.

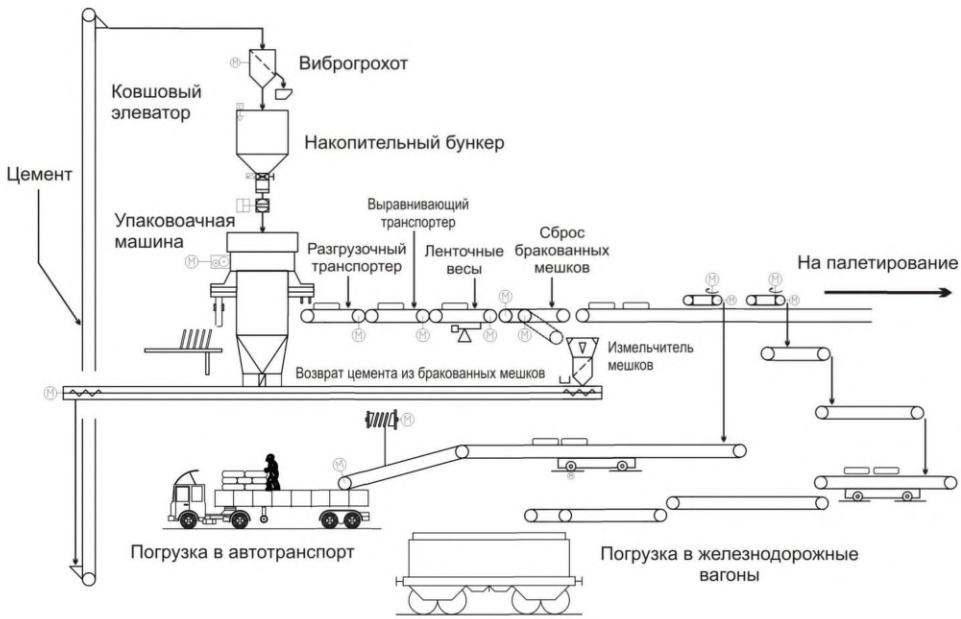
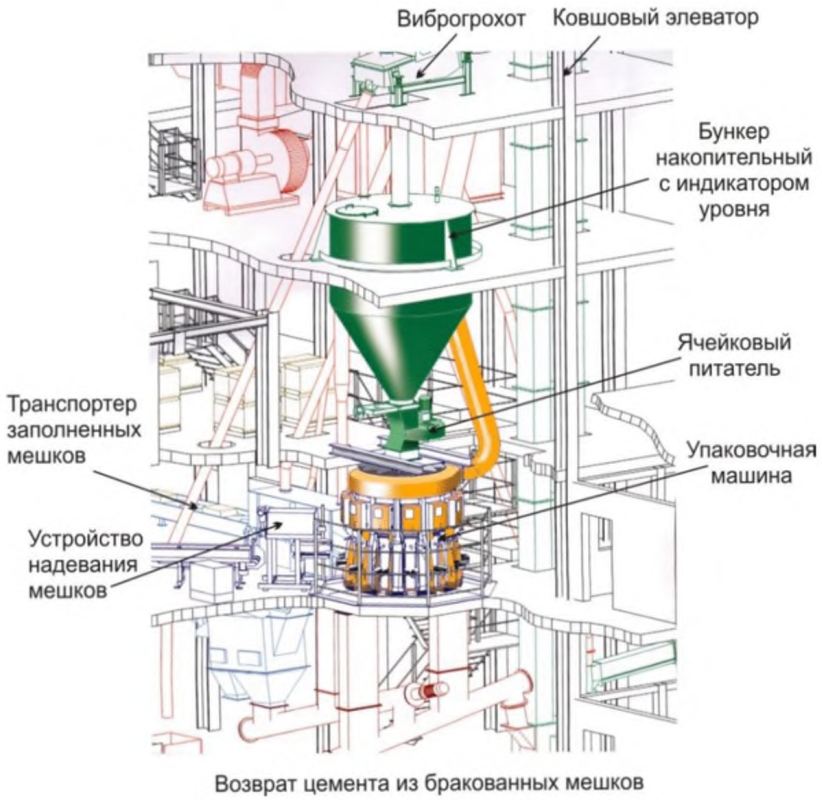


Рисунок 2.71 — Схема хранения и отгрузки цемента

Хранение цемента осуществляют в двухсекционных силосах (рисунок 2.72а). Для выгрузки силосов их снабжают аэрирующими кассетами и аэрожелобами, виброгрохотами для отсева инородных включений и загрузочными устройствами. Часть цемента подвергают упаковке в мешки и в паллеты (рисунок 2.72б).



а)



б)

Рисунок 2.72 — Силос цемента (а) и упаковочная машина (б)

Для погрузки цемента в транспортные средства навалом применяют систему загрузки Fluxo (см. рисунок 2.73), которая предотвращает выброс цемента в окружающую среду. Телескопическое гофрированное устройство позволяет плотно прижимать подающий цемент трубопровод к горловине транспортного средства, в результате чего предотвращается просыпь цемента. Кроме того, система погрузки аспирируется с применением вентилятора и рукавного фильтра.

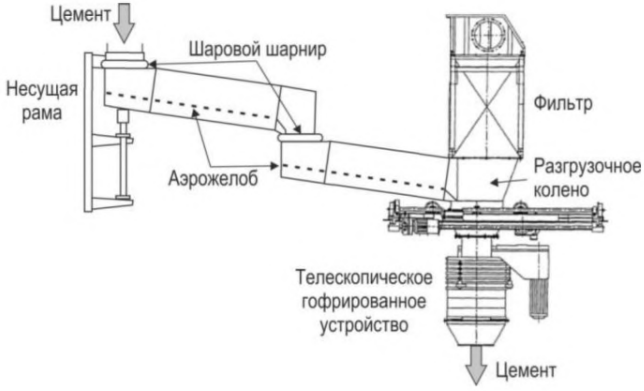


Рисунок 2.73 — Устройство для погрузки цемента навалом (FLSmidth)

Система Fluxo применяется на Воронежском филиале АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» и других заводах. Последовательность операций наполнения мешков цементом на упаковочной машине представлена на рисунке 2.74.



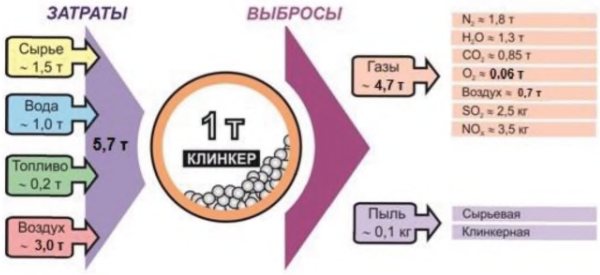
Рисунок 2.74 — Последовательность операций тарирования цемента упаковочной машиной

При тарировании цемента наблюдается большая запыленность внутри упаковочной машины. Для предотвращения выбросов пыли в помещение установлена интенсивная аспирационная система, которая предотвращает выброс пыли за пределы упаковочной машины.

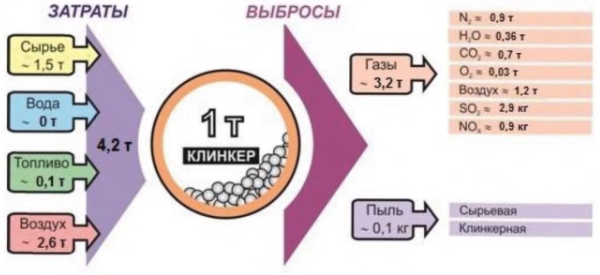
Раздел 3. Текущие уровни эмиссии в окружающую среду

3.1 Материальный баланс процесса производства портландцемента

Материальные балансы процесса производства 1 т портландцементного клинкера по мокрому и сухому способам производства представлены на рисунке 3.1.



а)



б

Рисунок 3.1 — Материальный баланс процесса производства портландцементного клинкера по мокрому (а) и сухому (б) способам производства [52]

В экологическом аспекте мокрый способ оказывает наибольшее негативное воздействие на окружающую среду с учетом затрат материальных ресурсов и выбросов загрязняющих веществ [53]. Потребление материальных ресурсов и выбросов увеличивается на 1,5 т/т клинкера. Производство портландцементного клинкера по мокрому способу требует расхода топлива примерно в два раза больше, чем по сухому. Тепло, получаемое при сжигании технологического топлива, расходуется на тепловые процессы клинкерообразования, испарение воды, а также теряется с отходящими газами, с воздухом из клинкерного холодильника, с горячим клинкером и на прямые потери в окружающую среду.

3.2 Экологические маркеры при производстве портландцемента

Производство цемента может осуществляться различными способами, различающимися потреблением тепла (топлива), электрической энергии и природных материальных ресурсов. Сам процесс производства цемента сопровождается эмиссией в окружающую среду различных веществ и физических явлений, оказывающих негативное влияние на экологию: пыли, вредных и токсичных газов, соединений металлов, органических веществ, а также шума, запаха и т. п. Наибольший объем загрязняющих веществ выбрасывается на стадии обжига портландцементного клинкера. Сбросов загрязняющих веществ в водоемы и образование твердых отходов при производстве цемента практически не происходит.

Использование полного перечня особенностей производства, выбросов вредных веществ или физических явлений для сравнения технологий с целью выбора наилучших из них, обеспечивающих максимальную защиту окружающей среды, является чрезвычайно сложной или практически невыполнимой задачей.

Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [5] определено, что измерения при осуществлении производственного экологического контроля производятся в отношении маркерных загрязняющих веществ, определяемых для контроля загрязнения окружающей среды в зависимости от применяемых технологических процессов.

Под маркером понимается наиболее значимый представитель группы веществ, внутри которой наблюдается тесная корреляционная взаимосвязь, выбираемый по

определенным критериям. Особенностью маркерного вещества является то, что по его значению можно оценить значения всех веществ, входящих в группу.

Для сравнительной оценки технологий производства портландцемента предлагается использовать термин «маркер» в более широком его смысле, в частности и как показатели ресурсо- и энергоэффективности, связанные с экологией производства цемента. С учетом опыта разработки Справочных документов по НДТ при производстве цемента предлагается использовать:

- маркеры — показатели технологической эффективности производства; обобщенные параметры процесса производства цемента, оказывающие значительное влияние на экологию;

- маркеры — вещества или физические явления, возникающие при производстве цемента, эмитируемые в окружающую среду и наносящие экологический вред окружающей среде и здоровью человека.

В качестве маркеров — показателей технологической эффективности производства, предлагается использовать:

- удельный расход сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента;

- удельный расход топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера;

- удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента;

В качестве маркеров — веществ или физических явлений, возникающих при производстве цемента предлагается использовать:

- выбросы:

  - пыли;

  - оксидов азота (NO_x);

  - диоксида серы (SO_2);

  - оксида углерода (CO);

- уровень шума, возникающий в процессе производства цемента.

Перечень экологических маркеров, устанавливаемых данным справочно-нормативным документом, является достаточным для сравнения технологий, но может быть расширен с учетом технологических особенностей процесса производства цемента на том или ином предприятии.

Так, например, если сырьевая база предприятия характеризуется высоким содержанием соединений того или иного металла или предприятие использует промыш-

ленные отходы в качестве сырьевого компонента или топливосодержащие отходы, компонентный состав которых характеризуется высоким содержанием вредных веществ, эмиссия в окружающую среду которых возможна при их применении, то на данном предприятии должны быть организованы периодические измерения концентрации данных веществ в основных технологических выбросах предприятия.

Опыт разработки европейских справочных документов по НДТ при производстве цемента показывает, что в качестве таких маркеров могут использоваться выбросы различных металлов, прежде всего летучих, относящихся к первой группе опасности — Hg, Tl, Cd, выбросы бензола, толуола, этилбензола, ксилола, полиароматических углеводородов и других органических соединений, полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ) и др. Данные по выбросам вредных веществ из цементных печей стран ЕС представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 — Текущие уровни эмиссии вредных веществ из цементных печей стран ЕС

Выбросы из цементных печей цементных заводов стран ЕС [1]			
Загрязнитель	мг/нм^3	кг/т клинкера	т/год
Пыль	0,27–227	0,00062–0,5221	0,62–522
NO_x (в пересчете на NO_2)	145–2040	0,33–4,67	334–4670
SO_2	до 4837 [2]	до 11,12	до 11125
CO	200–2000	0,46–4,6	460–11500
Дополнительные маркеры			
HF	0,009–1,0	0,021–2,3 г/т	0,21–23,0
HCL	0,02–20,0	0,046–46 г/т	0,046–46
Hg	0–0,03	0–69 мг/т	0–1311 кг/год
Σ(Cd, Tl)	0–0,68	0–1564 мг/т	0–1564 кг/год
Общее содержание органических веществ	1–60	0,0023–0,138	2.17–267
ПХДД/ПХДФ	0.000012–0,27 нг I-TEQ [3] нм^3	0.0276–627 нг/т	0.0000276–0,627 г/год

Выбросы из цементных печей цементных заводов стран ЕС [1]			
Загрязнитель	мг/нм^3	кг/т клинкера	т/год

[1] Показатели приведены для выхода газов 2300 м^3/т клинкера и при выпуске одного миллиона тонн клинкера в год. Уровни выбросов — среднегодовые и являются усредненными показателями, полученными на различной измерительной технике. Содержание O_2 — 10 %.

[2] Показатели по SO_2 замерены в отходящих газах 253 вращающихся печей. 11 измерений выходят за шкалу представленных величин, 7 — нулевые уровни, 3 колеблются от 0 до 10 и один выше 40. Высокие выбросы SO_2 ожидаются, когда сырьевые материалы содержат компоненты, в которых сера S имеет степень окисления -2 (например, пирит). Они окисляются и переходят в SO_2 рано, в верхнем циклоне. SO_2 может быть связан сырьевой смесью при тонком измельчении сырьевого материала.

[3] I-TEQ — международный эквивалент токсичности.

Выбросы маркерных веществ в странах ЕС обычно измеряются в мг/нм^3. Эта концентрация соответствует потоку газа в стандартном состоянии, т. е. сухому газовому потоку при температуре 273 К и давлении 1013 Па при содержании кислорода O_2 10 об. %. Если фактическое содержание кислорода в газовом потоке отличается от 10 об. %, то пересчет концентрации выбросов в стандартное состояние осуществляется по формуле 1:

$$C_{станд} = \frac{11}{21 - O_{факт}} \cdot C_{изм}, \qquad (1)$$

где $C_{изм}$ и $C_{станд}$ — концентрация выбросов загрязняющих веществ, измеренная в потоке и при стандартном состоянии соответственно, мг/нм^3;

$O_{факт}$ — фактическая концентрация кислорода в потоке в момент измерения, об. %.

В Российской Федерации выбросы обычно приводятся к нормальным условиям без учета разбавления газа при температуре 293 К и давлении 1013 Па.

3.3 Удельный расход сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента

Производство портландцемента является материалоемким процессом. В таблице 3.2 представлено среднее потребление сырьевых материалов для производства цемента. Цифры в последней колонке таблицы являются примерными показателями для завода мощностью 3000 т/сут. или 1 млн.т/год по клинкеру, что соответствует 1,23 млн т цемента в год при содержании минеральной добавки в цементе в количестве 14 %.

Таблица 3.2 — Потребление сырьевых материалов при производстве цемента

Материал (в сухом состоянии)	На 1 т клинкера	На 1 т цемента	На 1 млн т клинкера в год
Известняк, глина, сланец, мергель и др.	1,57 т	1,27 т	1 568 000 т
Гипс, ангидрит	—	0,05 т	61 000 т
Минеральные добавки	—	0,14 т	172 000 т

3.3.1 Использование промышленных отходов в качестве сырьевых материалов и минеральных добавок при производстве портландцемента

Промышленные отходы различного происхождения могут заменять значительное количество сырьевых материалов при обжиге портландцементного клинкера (см. раздел 2.7.2).

Данных по общему объему промышленных отходов, использованных в качестве сырьевых материалов на цементных заводах Российской Федерации нет. В странах ЕС с 2001 по 2004 год использование таких отходов увеличилось более чем в 2 раза, позволив в 2004 году сэкономить почти 14 млн т природного сырья, что составляет примерно 6,5 % от общего объема сырьевых материалов, использованных для обжига портландцементного клинкера (см. рисунок 3.2) [9].

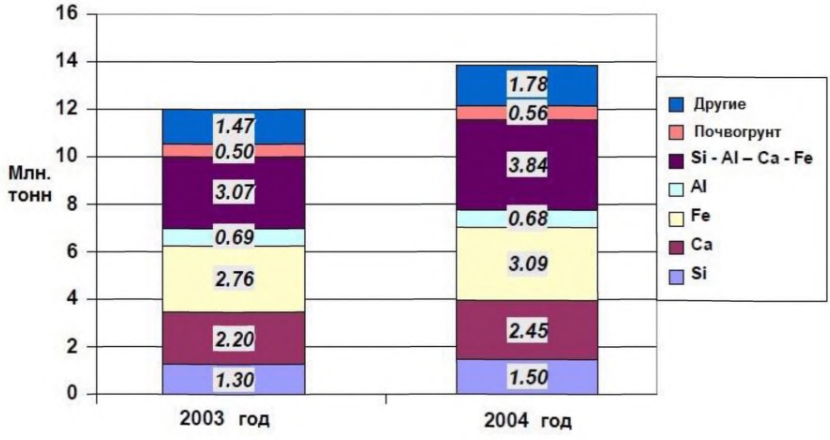


Рисунок 3.2 — Использование различных отходов в странах ЕС в качестве сырьевых материалов при производстве цемента

Также постоянно увеличивается использование промышленных отходов в качестве минеральных добавок при помоле портландцемента. Так, например, использование в странах ЕС сланцевой золы за период с 2000 по 2005 год удвоилось и достигло 100 000 т/год [9].

Использование промышленных отходов в качестве сырьевых материалов при производстве цемента как правило приводит к снижению удельного расхода тепла на обжиг 1 т портландцементного клинкера и повышению производительности вращающейся печи.

Постоянный контроль содержания вредных веществ в отходах и использование правильного способа их введения в состав сырьевой смеси или цемента не приводит к увеличению вредных выбросов в атмосферу при обжиге портландцементного клинкера или помоле портландцемента и не отражается на качестве производимого цемента.

3.4 Удельный расход топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера

Удельный расход топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера зависит, главным образом, от способа производства портландцемента, типа и конструкции вращающейся печи, химических и физических (влажность) свойств сырьевых компонентов и сырьевой смеси, используемых для производства клинкера. Подробный анализ существующих способов производства портландцемента представлен в разделе 2.1.

Практика показала, что удельный расход топлива при использовании печей сухого способа с циклонными теплообменниками и декарбонизатором составляет 3000–3800 МДж/т клинкера как среднегодовое значение, а изменчивость показателя связано с пуском и остановкой печей и со свойствами сырьевых материалов. Средние удельные расходы топлива и тепла при использовании печей различного типа приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 — Удельные расходы топлива и тепла на обжиг клинкера для печей различного размера и способов производства

Тип печи, способ производства	Удельный расход тепла, МДж/т клинкера	Удельный расход топлива, кг у. т./т клинкера
Печи сухого способа с циклонными теплообменниками и декарбонизатором	3000–4000	100–135
Печи сухого способа с циклонными теплообменниками	3100–4200	105–145
Комбинированный (полусухой/полумокрый способ) производства, печь Леполь	3300–5400	115–185
Длинные печи сухого способа производства	до 5000	до 170
Длинные печи мокрого способа производства	5000–6400	170–220
Печи для производства специальных цементов	3100–6500 и выше	105–225

В общем случае удельный расход тепла на обжиг клинкера зависит от:

- схемы и конструкции линии обжига клинкера:
- количества ступеней циклонного теплообменника (от трех до шести);
- наличия и конструкции декарбонизатора;
- использования третичного воздуха;
- использования печных газов в качестве сушильного агента в сырьевой мельнице;
- отношения длины печи к ее диаметру;
- типа клинкерного холодильника;
- производительности печи;
- содержания влаги в сырьевых материалах и топливе;
- свойств сырьевых материалов, их обжигаемости;
- калорийности топлива;
- модульных характеристик обжигаемого клинкера;

- однородности и точности дозирования топлива, подаваемого в печь;

- оптимизации процесса обжига, включая охлаждение пламени (в случае необходимости);

- степени байпасирования газов.

Использование низкокалорийных видов топлива или топливосодержащих отходов приводит к некоторому повышению удельного расхода тепла на обжиг клинкера. Избежать этого можно путем специальной оптимизации работы печи и стабильным вводом топливосодержащих отходов в печь.

Влажное топливо увеличивает удельный расход тепла на обжиг клинкера кроме случаев, когда сушка твердого топлива осуществляется вне печи с использованием дымовых газов в качестве сушильного агента.

Нестабильный режим работы, частые остановки и пуски печи также могут привести к увеличению удельного расхода тепла на обжиг клинкера.

3.4.1 Влияние топливосодержащих отходов на удельный расход тепла при обжиге портландцементного клинкера

Виды топливосодержащих отходов, их классификация и свойства, а также требования к качеству топливосодержащих отходов подробно рассмотрены в 2.7.3.

Данные об объемах использования топливосодержащих отходов на цементных заводах Российской Федерации отсутствуют. Сообщается о периодическом использовании альтернативных видов топлива на ПАО «Мордовцемент» (шины, древесная щепа), ОАО «Сланцевский цементный завод «ЦЕСЛА», ООО «Цементная северная компания» («Воркутинский цемент»), ООО «Красноярский цемент», ОАО «Искитимцемент», (углесодержащие отходы), цементных заводах компаний Хайдельбергцемент, Лафарж (древесина, пластик) и др.

Данные об использовании топливосодержащих отходов на цементных заводах стран ЕС в 2003–2004 годах представлены в таблице 3.4 [9].

Таблица 3.4 — Использование топливосодержащих отходов в цементных печах стран ЕС

№ п/п	Вид отходов	Потребление, тыс. т			
		2003 год		2004 год	
		Опасные	Неопасные	Опасные	Неопасные
1	Дерево, бумага картон	0,000	214,991	1,077	302,138

№ п/п	Вид отходов	Потребление, тыс. т			
		2003 год		2004 год	
		Опасные	Неопасные	Опасные	Неопасные
2	Текстиль	0,000	19,301	0,000	8,660
3	Полимеры	0,000	354,070	0,000	464,199
4	Промышленные отходы	4,992	570,068	1,554	734,296
5	Резина/шины	0,000	699,388	0,000	810,320
6	Промышленные осадки	52,080	161,660	49,597	197,720
7	Городские осадки сточных вод	0,000	174,801	0,000	264,489
8	Животные, пищевые отходы и жиры	0,000	1313,094	0,000	1285,074
9	Отходы углеобогащения	1,890	137,213	7,489	137,013
10	Сельскохозяйственные отходы	0,000	73,861	0,000	69,058
11	Твердые отходы (пропитанные древесные опилки)	164,931	271,453	149,916	305,558
12	Растворители и относящиеся к ним отходы	425,410	131,090	517,125	145,465
13	Отходы нефтепереработки	325,265	181,743	313,489	196,383
14	Другие	0,551	199,705	0,000	212,380
	Общее потребление:	975,119	4502,435	1040,247	5133,353

Наиболее высокая степень замещения основного технологического топлива топливосодержащими отходами наблюдается в Германии (43,6 % для безопасных и 5,2 % для опасных отходов), Чехии (соответственно 37 % и 15 %) и Австрии (соответственно 35 % и 12 %) [9].

Как отмечалось выше, использование топливосодержащих отходов приводит к некоторому повышению удельного расхода тепла на обжиг клинкера. Однако при этом удельный расход условного топлива на обжиг 1 т клинкера снижается вследствие замещения основного технологического топлива альтернативными видами топлива.

Постоянный контроль за содержанием вредных веществ в топливосодержащих отходах и выбор рациональных путей и методов сжигания этих отходов не приводит к увеличению выбросов вредных веществ в атмосферу. При сжигании опасных видов альтернативного топлива дополнительно к перечисленным в разделе 3.2 в качестве

маркерных веществ рекомендуется осуществлять периодический контроль содержания в отходящих из печей дымовых газах летучих органических веществ (ЛОС), металлов (As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), бензола, толуола, этилбензола, ксилола, полиароматических углеводородов и других органических соединений, полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов (ПХДД/ПХДФ). Перечень дополнительно контролируемых маркерных веществ и периодичность их контроля зависят от видов используемых отходов и содержания в них данных маркерных веществ.

Использование альтернативных видов топлива и топливосодержащих отходов как правило не отражается на качестве выпускаемого цемента.

3.5 Удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента

Так как основные технологическими стадиями производства цемента связаны с тонким измельчением сырьевых материалов и цемента, то главными потребителями электроэнергии при производстве цемента являются помольные агрегаты — сырьевые и цементные мельницы, а также вентиляторы и дымососы, потребляющие в сумме до 80 % всей энергии на 1 т производимого цемента.

Удельный расход электроэнергии на производство цемента составляет 90–150 кВт·ч/т цемента. Удельный расход электроэнергии при мокром способе производства цемента несколько выше, чем при сухом или комбинированном способах производства.

Расход электроэнергии на тонкое измельчение сырьевых материалов и цемента определяется природой и особенностями структуры измельчаемого материала. Наибольший расход наблюдается при измельчении хорошо спеченного портландцементного клинкера, гранулированного доменного шлака, твердых известняков, песка, кварцитов, наименьший — при измельчении мелов и глин, особенно монтмориллонитовых. При мокром способе производства монтмориллонитовые глины измельчаются в результате самопроизвольной диспергации (размучивания) в воде в так называемых глиноболтушках, мельницах самоизмельчения с последующим доизмельчением материалов.

Общий расход электроэнергии на измельчение материалов зависит от конструкции мельницы. Замена традиционно используемых шаровых мельниц на роликовые мельницы позволяет снизить удельный расход энергии на измельчение материалов на

25 % — 50 % при одинаковой степени измельчения. Однако возможность такой замены должна в обязательном порядке сопровождаться специальными технологическими исследованиями и проводиться с учетом экономических факторов.

В разделе 2.10.2 показаны основные направления экономии электроэнергии при тонком измельчении цемента. К ним относятся:

- модернизация и оптимизация внутримельничных устройств — мелющих тел, бронеплит, межкамерных перегородок;

- использование современных сепараторов;

- применение рациональных схем измельчения с использование валковых предизмельчителей;

- применение добавок — интенсификаторов помола цемента;

- использование в качестве минеральных добавок при помоле цемента легко измельчаемых материалов.

Снижение удельного расхода электроэнергии на производство 1 т портландцемента может быть достигнуто применением на предприятии системы энергетического менеджмента.

3.6 Выбросы вредных веществ при производстве цемента

3.6.1 Выбросы пыли

Выбросы пыли чаще всего ассоциируются с производством цемента, поскольку технология его производства включает в качестве обязательного процесса тонкое измельчение материалов. Пыль — это мелкие (менее 0,1 мм) частицы, взвешенные в воздухе или газе.

Выбросы пыли возникают везде, где потоки газов или воздуха контактируют с тонкоизмельченным материалом: в процессе дробления, транспортировки, складирования сырьевых материалов, при помоле и обжиге сырьевой смеси, охлаждении и складировании портландцементного клинкера, помоле, транспортировке и отгрузке цемента, при хранении и подготовке твердого топлива или топливных отходов.

Источники выбросов пыли промышленных предприятий бывают стационарными, когда координата источника выброса не изменяется во времени, и передвижными (нестационарными), например, автотранспорт. Источники выбросов пыли подразделяются также на организованные и неорганизованные. Из организованного источника пыль по-

ступает в атмосферу через специально сооруженные газоходы, воздуховоды и трубы. Неорганизованный источник образуется в результате нарушения герметичности оборудования, отсутствия или неудовлетворительной работы оборудования по удалению пыли в местах загрузки, выгрузки или хранения материалов. К неорганизованным источникам относят дороги, автостоянки, склады сыпучих материалов и другие площадные источники [53].

Химический состав пыли может изменяться в широких пределах. Для цементных заводов обычно рассматривают выбросы пыли с содержанием SiO_2 до 20 масс. % и с содержанием SiO_2 от 20 до 70 масс. %. Пыль с более высоким содержанием SiO_2 считается более вредной для организма человека. Длительное вдыхание пыли с высоким содержанием SiO_2 может привести к силикозу или силикатозу — распространенному и тяжело протекающему заболеванию с диффузным разрастанием в легких соединительной ткани и образованием характерных узелков [54].

По той же причине обычно рассматривают выбросы пыли с размером частиц менее 10 мкм (PM10) и тонкодисперсной пыли с размером частиц менее 2,5 мкм (PM2,5). Тонкодисперсная пыль значительно быстрее проникает в легочные альвеолы человека, вызывая, как было показано выше, не только силикоз или силикатоз, но и обостряет течение других легочных заболеваний, например, туберкулеза. Кроме того, тонкодисперсная пыль очень медленно оседает из атмосферы. Нахождение в верхних слоях атмосферы тонкодисперсной пыли в большой концентрации снижает уровень инсоляции земной поверхности, что может привести к заметному понижению средней годовой температуры.

В пылевых выбросах цементных заводов после обеспыливания газов в современных рукавных и электрофильтрах количество частиц фракции менее 10 мкм (PM10) может достигать 85 % — 90 %, а частиц фракции менее 2,5 мкм (PM2,5) — до 50 % от массы частиц, уносимых с безвозвратным пылеуносом [9].

Помимо экологических, снижение безвозвратных выбросов пыли имеет важные технологические аспекты: как правило, пыль представляет собой достаточно энергоемкий продукт, поэтому ее возврат в технологический процесс снижает общую энергоемкость процесса производства и улучшает качество конечного продукта.

Основным источником организованных выбросов пыли на цементных заводах являются вращающиеся печи, клинкерные холодильники, мельницы сухого помола (цементные, угольные), цементные силоса, установки для тарирования и отгрузки це-

мента. Неорганизованные выбросы пыли возникают при дроблении, транспортировке, складировании сухих материалов, при их подаче в бункера мельниц, движении автотранспорта по дорогам.

Информация по выбросам пыли на цементных заводах Российской Федерации достаточно противоречива.

Так, например, ОАО «Новоросцемент» представило подробную информацию по выбросам пыли из различных источников трех заводов, входящих в состав объединения. Выбросы пыли из цементных печей мокрого способа производства составили в среднем 60–70 мг/нм^3, печей сухого способа производства на цементном заводе «Первомайский» — 45–97 мг/нм^3. Выбросы пыли из других источников составили, мг/нм^3: в дробильном отделении — 50–85, клинкерные холодильники — 30–55, силоса для хранения клинкера — до 40, цементные мельницы — 45–95, цементные силоса — 35–55, упаковочные машины и узел отгрузки цемента — 45–80. На более новом цементном заводе «Первомайский» выбросы пыли из клинкерного холодильника колебались в интервале 50–85 мг/нм^3, из цементных мельниц — 45–50 мг/нм^3.

Измерения, выполненные на ОАО «Вольскцемент» в ноябре 2012 года показали выбросы пыли из печей №№ 4 и 5 до 1885 мг/нм^3, а для печей №№ 6, 7 и 8 — всего 3–7 мг/нм^3. Аналогичные измерения, выполненные в ноябре 2014 года показали выбросы пыли из печей №№ 6, 7 и 8 в пределах 3–35 мг/нм^3, для печи № 4–139–182 мг/нм^3.

Для ОАО «Щуровский цемент» измерения выбросов пыли из цементных печей, выполненные в августе 2014 года показали результат 1,8–6,7 мг/нм^3 для новой печи сухого способа производства и 3,5–4,1 мг/нм^3 из печи для обжига белого клинкера.

Для ОАО «Сланцевский цементный завод «Цесла» измерения выбросов пыли из цементных печей, выполненные в декабре 2011 г, показали всего 1,3–1,6 мг/нм^3 при средних декларируемых выбросах 30 мг/нм^3.

Выбросы пыли из цементных печей предприятий компании АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» составили, мг/нм^3: для ЗАО «Петербургцемент» — минимальные 1,5–45, ПАО «Мордовцемент» — всего 12–19 для печей мокрого, 17 для печей комбинированного и 12 для печи сухого способа производства, ЗАО «Белгородский цемент» — 10–95, ЗАО «Ульяновскцемент» — 10–324, Воронежский филиал АО «Евроцемент груп» — 20, ЗАО «Липецкцемент» (печь 5 × 75 м) — 50, ЗАО «Пикалевский цемент» — 100–230.

Для цементных заводов ХК «Сибирский цемент» выбросы пыли из цементных печей составили, мг/нм^3: ООО «Топкинский цемент» — 14–166, ООО «Тимлюйце-

мент» — 410–643, ОАО «Искитимцемент» — 29–504, ООО «Красноярский цемент» — 50–344.

По данным ОАО «Себряковский цемент» выбросы пыли составили 50–100 мг/нм^3 для печей мокрого, 80 мг/нм^3 для печей комбинированного и 50 мг/нм^3 для печи сухого способа производства.

Выбросы пыли из печей цементных заводов, построенных различными компаниями за последние 10 лет, составили, мг/нм^3: ООО «Ферзиковский цементный завод» — 20, филиал ООО "ХайдельбергЦемент Рус" в п. Новогуровский — 30, филиал ООО "ХайдельбергЦемент Рус" в г. Стерлитамаке — 36.

В общем случае максимальные выбросы пыли из цементных печей наблюдаются на старых цементных заводах мокрого способа производства, оснащенных электрофильтрами вертикального типа и работающих длительное время без модернизации и необходимого технического обслуживания. При своевременном проведении необходимых организационно-технических мероприятий средний уровень выбросов пыли из цементных печей на данных заводах не превышает 150–250 мг/нм^3. Для современных цементных заводов сухого способа производства при правильно подобранной системе обеспыливания и своевременном проведении ее технического обслуживания выбросы пыли из цементных печей обычно не превышают 50–100 мг/нм^3.

Поскольку основной объем запыленных газов при производстве цемента образуется в процессе обжига клинкера во вращающихся печах, то в качестве маркера следует использовать прежде всего выбросы пыли из вращающихся печей, установив для этого соответствующие нормативы, при одновременном принятии мер по минимизации выбросов пыли из других организованных и неорганизованных источников. Для стран ЕС максимальные выбросы пыли из цементных печей ограничены законодательно и не должны превышать 20 мг/нм^3, а в некоторых странах ЕС — 10 мг/нм^3.

Выбросы пыли также являются обобщающим маркерным веществом, так как с ними связаны выбросы большинства нелетучих или малолетучих тяжелых металлов, соединений серы, галогенов и диоксинов.

Контроль выбросов пыли из печей необходимо осуществлять периодически, согласно графику производственного контроля на основании норм, установленных в нормативных документах.

Следует также установить раздельные нормативы по выбросам пыли для действующих цементных заводов с годом ввода в эксплуатацию после 2008 года, осна-

щенных современным пылеулавливающим оборудованием, и действующих цементных заводов с годом ввода в эксплуатацию до 2008 года. Для стимулирования проведения реконструкции таких предприятий рекомендуется установить на начальном этапе более щадящие нормативы выбросов с постепенным их ужесточением и приближением к нормативам выбросов пыли для предприятий, введенных в эксплуатацию после 2008 года.

Для снижения выбросов пыли на цементных заводах используются различные устройства: пылеосадительные камеры, циклоны (одиночные или групповые), скруббе-ры (мокрые циклоны), рукавные фильтры и электрофильтры.

Пылеосадительные устройства различаются по эффективности своего действия. Минимальной эффективностью (способностью улавливать пыль) обладают пылеосадительные камеры и одиночные циклоны, максимальной — рукавные фильтры и электрофильтры.

В таблице 3.5 приведены средние значения эффективности различных пылеулавливающих устройств.

Таблица 3.5 — Эффективность обеспыливания технологических газов в устройствах различного типа

Устройство	Эффективность обеспыливания, %		
	По общему количеству пыли	Частицы менее 10 мкм	Частицы менее 2,5 мкм
Циклон	70–75	52–55	30–33
Электрофильтр	95–99	94–98	93–99
Рукавный фильтр	97–99	98–99	95–99
Скруббер	90–99	92–98	85–96

Правильный подбор оборудования для обеспыливания газов и обеспечение оптимальных режимов его работы позволяют снизить выбросы пыли при производстве цемента до приемлемых уровней.

3.6.2 Выбросы оксидов азота NO_x

Оксиды азота представляют собой одно из ключевых загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при производстве цемента. Они состоят из смеси монооксида NO (≈95 %) и диоксида азота NO_2 (≈5 %).

Монооксид азота NO — это бесцветный, без запаха, плохо растворимый в воде газ. При концентрации до 50 ppm он не проявляет токсических или раздражающих свойств. Диоксид азота NO_2 — это газ, который заметен даже при небольшой концентрации: он имеет коричневато-красноватый цвет и особый острый запах. При концентрации более 10 ppm является сильным коррозийным агентом и сильно раздражает носовую полость и глаза. При концентрации более 150 ppm. вызывает бронхит, а свыше 500 ppm — отек легких, даже если воздействие длилось всего несколько минут. Монооксид азота NO, который присутствует в городском воздухе, может самопроизвольно переходить в диоксид азота NO_2 при фотохимическом окислении с формированием такого явления, как смог.

Существуют три пути образования оксидов азота при обжиге портландцементного клинкера:

- тепловые оксиды азота (тепловые NO_x);
- быстрые оксиды азота (быстрые NO_x);
- топливные оксиды азота (топливные NO_x).

Тепловые NO_x образуются при высокой температуре (T > 1500 K) и высокой концентрации кислорода при окислении атмосферного азота кислородом в процессе горения (механизм Зельдовича). Количество образующихся тепловых NO_x увеличивается с увеличением температуры факела и коэффициента избытка воздуха в печи. Тепловые NO_x образуются преимущественно при сжигании газообразного топлива (природный газ и сжиженный нефтяной газ) и топлива, в котором не содержатся вещества, имеющие в своем составе азот.

Быстрые NO_x образуются в факеле горящего топлива путем сложных реакций взаимодействия радикалов CH с азотом N_2 с образованием HCN, который затем быстро распадается на NO_x, CO_2 и H_2O (механизм Фенимора). Количество быстрых NO_x зависит от формы и температурного профиля факела и увеличивается при сжигании обогащенных смесей и при низкотемпературном горении, достигая 25 % от общего количества образующихся оксидов азота.

Топливные NO_x образуются из азотосодержащих соединений, входящих в состав твердых и жидких топлив, особенно угля. Даже относительно чистый уголь содержит около одного процента по массе химически связанного азота. Механизм образования NO_x заключается в превращении азотосодержащих соединений топлива в аммиак NH_3 и HCN с последующим доокислением до NO_x. Топливные NO_x образуются при низко-

температурном горении, когда образование NO_x по остальным механизмам относительно невелико.

Выбросы NO_x особенно велики для длинных вращающихся печей мокрого способа производства при обжиге труднообжигаемых сырьевых смесей с использованием газообразного топлива. С увеличением влажности топлива выбросы NO_x снижаются.

В печах сухого способа, оснащенных циклонными теплообменниками и декарбонизаторами, часть топлива (до 60 %) сжигается в декарбонизаторе при температурах до 1000 °С, что приводит к снижению суммарных выбросов NO_x за счет снижения образования тепловых NO_x. Подобным образом действуют и другие способы частичного сжигания топлива в холодном конце печи: в газоходе перед первой ступенью циклонного теплообменника или в камере колосникового теплообменника.

При снижении температуры факела и коэффициента избытка воздуха в печи, снижения содержания азота в топливе или сжигаемых топливных отходах, снижении реакционной способности и увеличении длительности реакции горения топлива выбросы NO_x обычно снижаются. Большое влияние на образование NO_x оказывает конструкция форсунки печи.

К сожалению, для цементных заводов Российской Федерации отсутствует информация об использовании различных технологий, позволяющих снизить выбросы NO_x.

В 2012–2014 годах компании «Холсим (Рус)» и ООО «ХайдельбергЦемент Рус» провели исследования по выбросам различных веществ на принадлежащих им цементных заводах Российской Федерации — ОАО «Вольскцемент», ОАО «Щуровский цемент» и ОАО «Сланцевский цемент» («ЦЕСЛА»). Определение содержания NO_x в газах вращающихся печей выполнялись с использованием газоанализатора «МОНОЛИТ» по методике [55], близкой к европейской. Результаты испытаний показали, что средние выбросы NO_x в пересчете на диоксид азота для печей мокрого способа производства на ОАО «Вольскцемент» составили 479–1141 мг/нм^3 при первой и 496–958 мг/нм^3 при второй серии измерений. При этом концентрация NO в отходящих газах в 20–30 раз превышала концентрацию NO_2. Средние выбросы NO_x из печей на ОАО «Сланцевский цемент» («ЦЕСЛА») за период испытаний составили 931–1174 мг/нм^3.

Для печи сухого способа производства на ОАО «Щуровский цемент» выбросы NO_x составили 890–1012 мг/нм^3 при использовании части топочных газов для сушки

сырья, измельчаемого в вертикальной валковой мельнице и 1095–1175 мг/нм^3 при отключении мельницы.

Неожиданно низкие выбросы NO_x показала печь мокрого способа производства для обжига белого портландцементного клинкера на ОАО «Щуровский цемент» — всего 148–171 мг/нм^3. Это связано, вероятно, с тем, что клинкер белого цемента обжигается в восстановительной атмосфере, в которой образование NO_x затруднено или они восстанавливаются до элементарного азота. Средние выбросы NO_x из цементных печей компании АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» составили 250–550 мг/нм^3, при этом предельно низкий уровень выбросов показывает ЗАО «Ульяновскцемент» (7–18 мг/нм^3) и ЗАО «Осколцемент» (62–68 мг/нм^3), работающих по мокрому способу и Воронежский филиал (39 мг/ мг/нм^3). Выбросы NO_x из цементных печей компании «Сибирский цемент» составили 78–1315 мг/нм^3. На ОАО «Себряковцемент» выбросы NO_x составили 260–290 мг/нм^3 для печей мокрого и сухого способов производства и 480 мг/нм^3 для печи комбинированного способа.

По данным [9], среднегодовое выделение NO_x из цементных печей стран ЕС в 2004 году составило примерно 785 мг/нм^3 (в пересчете на NO_2) с минимумом в 145 мг/нм^3 и максимумом 2040 мг/нм^3.

В Австрии, где все цементные заводы использовали форсунки с низким образованием NO_x и охлаждение пламени, среднегодовые выбросы NO_x составили 645 мг/нм^3 с разбросом от 313 до 795 мг/нм^3.

В Германии, где в 2006 году на 8 цементных печах использовали многоточечное сжигание топлива и на 34 печах — технологию селективного некаталитического восстановления оксидов азота, среднегодовые выбросы NO_x колебались в пределах 200… 800 мг/нм^3.

В Финляндии выбросы NO_x на цементных заводах были зафиксированы в пределах 500–1200 мг/нм^3, в Чехии — 400–800 мг/нм^3, во Франции — 666 мг/нм^3 как среднегодовое значение для 33 цементных заводов.

В большинстве стран ЕС концентрация NO_x в отходящих газах цементных печей ограничена законодательно. Для печей сухого способа с циклонными теплообменниками она составляет 200–450 мг/нм^3, для длинных печей мокрого способа производства — 400–800 мг/нм^3.

В настоящее время в Российской Федерации не существует нормативных документов, ограничивающих выбросы NO_x из печей цементной промышленности. Поэтому

рекомендуется за концентрацией NO_x в отходящих газах печей для обжига клинкера замеры осуществлять периодически согласно графику производственного контроля. При нормировании выбросов NO_x необходимо в обязательном порядке предусмотреть установление отдельных нормативов выбросов для печей различного способа производства цемента (мокрого, сухого с использованием и без использования декарбонизатора или комбинированного).

3.6.3 Выбросы диоксида серы SO_2

Выбросы диоксида серы SO_2 из цементных печей зависят прежде всего от концентрации летучих соединений серы в сырьевых материалах и топливе, а также от способа производства цемента и внутренней циркуляции летучих сернистых соединений в печи. Диоксид серы может выбрасываться в атмосферу в виде SO_2, а также в виде различных сернистых соединений с пылью или клинкером.

Диоксид серы — бесцветный газ с раздражающим запахом, токсичен. Симптомы отравления сернистым газом — насморк, кашель, охриплость, першение в горле. При вдыхании сернистого газа более высокой концентрации — удушье, расстройство речи, затруднение глотания, рвота, возможен острый отек легких. Предельно допустимая концентрация SO_2 в воздухе рабочей зоны 10 мг/нм^3.

Сера может присутствовать в составе сырьевых материалов для производства цемента, топлива или топливосодержащих отходах в виде сульфатов ($MeSO_4$), сульфитов ($MeSO_3$), сульфидов (MeS), серосодержащих органических соединений или в свободном виде.

Сульфаты и сульфиты — это относительно стабильные соединения, которые только частично разлагаются термически при высокой температуре в зоне спекания вращающейся печи. Большая часть сульфатной или сульфитной серы выходит из печи с портландцементным клинкером.

Сульфидная сера окисляется кислородом еще в циклонном теплообменнике и частично выходит из печи в виде газообразного SO_2. Сера и сернистые соединения, поступающие во вращающуюся печь с топливом, окисляются до SO_2. Однако в более холодных зонах печи SO_2 реагирует со щелочами сырья с образованием сульфитов или сульфатов, вновь поступающих в печь. Создается кругооборот диоксида серы в печи, что приводит к его постепенному накоплению.

Зона декарбонизации вращающейся печи — идеальное место для захвата SO_2 из отходящих газов. Степень связывания SO_2 из газов зависит от содержания в них кислорода, температуры, влагосодержания, времени пребывания газа в зоне, концентрации SO_2, поверхности материала, связывающего SO_2. В дальнейшем часть диоксида серы может удаляться из печи с безвозвратным пылеуносом, а большая часть — с портландцементным клинкером.

Выбросы SO_2 из вращающейся печи увеличиваются при наличии в сырьевых материалах органической серы или серы в виде пирита или марказита (лучистого колчедана). При обжиге сырьевых материалов, в которых сера присутствует в виде сульфатов (сульфитов), выбросы SO_2 из печи обычно не превышают 10 мг/нм^3.

В длинных печах мокрого способа производства контакт между SO_2 и щелочными материалами не так хорош, поэтому сера из топлива и особенно топливных отходов может привести к некоторому увеличению выбросов SO_2.

В башне кондиционирования отходящих газов при сухом способе производства связывается относительно небольшое — около 10 % — количество SO_2. А вот сырьевая мельница, в которой происходит постоянное обнажение новых поверхностей материала и присутствует большое количество водяных паров, позволяет снизить концентрацию SO_2 в отходящих дымовых газах на 20 % — 70 %.

При отклонении от нормальных режимов работы печи выбросы SO_2 могут значительно увеличиваться. К таким отклонениям относятся:

- восстановительная среда при обжиге клинкера, снижающая связывание SO_2 в нелетучие неорганические соединения;

- чрезмерное накопление сульфатов при длительном внутреннем кругообороте летучих соединений серы в печи и (или) циклонном теплообменнике.

Для цементных заводов стран ЕС данные по выбросам диоксида серы были обобщены в 2004 году для 253 вращающихся печей как среднегодовые результаты 24-хчасовых измерений [9]. Установлено, что величина выбросов колеблется от 0 до 4837 мг/нм3 при среднем значении выбросов 218,9 мг/нм3.

Компании «Холсим (Рус)» и ООО «ХайдельбергЦемент Рус» представили данные по замерам выбросов SO_2 из цементных печей принадлежащих им цементных заводах — ОАО «Вольскцемент», ОАО «Щуровский цемент» и ОАО «Сланцевский цемент» («ЦЕСЛА»), выполненные в 2011–2014 годах. Определение SO_2 в дымовых га-

зах производилось по методике, близкой к европейской с использованием фотометрического метода анализа [56].

На ОАО «Вольскцемент» выбросы SO_2 из печей, замеренные в ноябре 2012 года, составили всего 1,35–1,73 мг/нм^3, тогда как для серии измерений, выполненных в июле 2014 года — 5,5–47,0 мг/нм^3. На ОАО «Щуровский цемент» выбросы SO_2 при включенной сырьевой мельнице составили 21–59 мг/нм^3, а при отключенной — 16–27 мг/нм^3, что несколько противоречит изложенным выше наблюдениям. Выбросы SO_2 из печи мокрого способа ОАО «Щуровский цемент» для обжига клинкера белого цемента составили всего 8,3–13 мг/нм^3, что связано, вероятно, с большей чистотой применяемых сырьевых материалов. Выбросы SO_2 из печи ОАО «Сланцевский цемент» («ЦЕСЛА»), выполненные в декабре 2011 и марте 2012 гг., стабильно показали значение менее 0,1 мг/нм^3 при средних декларируемых выбросах до 50 мг/нм^3.

Выбросы SO_2 на заводах АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» ЗАО «Невьянский цементник» составили минимальные 1,6 мг/нм^3, ЗАО «Пикалевский цемент» — 19 мг/нм^3.

Данные, представленные рядом других цементных заводов Российской Федерации, показывают, что средние выбросы SO_2 из цементных печей не превышают 30–70 мг/нм^3. Неожиданно большие выбросы SO_2 обнаружены для печей ООО «Петербургцемент (Сланцы)» (до 200 мг/нм^3) и филиала «ХайдельбергЦемент Рус» в п. Новогуровском (до 400 мг/нм^3).

Измерение выбросов SO_2 может осуществляться как периодически, так и в непрерывном режиме. Непрерывное измерение выбросов SO_2 рекомендуется осуществлять при достоверно установленном факте присутствия свободной, сульфидной серы или серосодержащих органических соединений в составе сырья или топлива, а также при использовании на предприятии отходов или альтернативного топлива, содержащего подобные вещества. Во всех остальных случаях контроль за выбросами SO_2 может происходить периодически.

При нормировании выбросов оксидов серы из отходящих газов вращающихся печей следует принимать во внимание начальную концентрацию SO_2 в газах; высокая концентрация SO_2 указывает, как отмечено выше, на особенности сырьевой базы предприятия. В этом случае для данного предприятия могут устанавливаться более высокие значения нормативов выбросов.

3.6.4 Выбросы оксида углерода (CO)

Оксид углерода (CO) в дымовых газах клинкерообжигательных печей может появиться двумя путями. Первый путь связан с неполным сгоранием технологического топлива при недостаточном количестве кислорода в воздухе или недостаточном количестве воздуха, подаваемого во вращающуюся печь или в декарбонизатор вращающейся печи. Второй путь связан с присутствием различных органических соединений, содержащих углерод, в сырьевых материалах. В газовой среде, содержащей до 3 об. % кислорода (O_2), 80 % — 95 % органического углерода окисляются до CO_2, а 5 % — 20 % образуют CO.

Оксид углерода CO — бесцветный ядовитый газ без запаха. Даже в низкой концентрации попадание CO в организм человека приводит к головной боли, головокружению, шуму в ушах, отдышке и повышенному сердцебиению, в тяжелых случаях — к судорогам, потере сознания, коме. ПДК CO (разовое значение) составляет 20 мг/м^3 (около 0,0017 %).

Присутствие CO в дымовых газах цементных печей приводит к снижениям выбросов оксидов азота NO_x вследствие их восстановления до элементарного азота. Однако выбросы диоксида серы SO_2 могут при этом увеличиться, так как в восстановительной среде SO_2 хуже связывается со щелочными соединениями и образует менее стабильные сульфиты. При концентрации CO более 0,5 % в дымовых газах, содержащих кислород, образуется взрывоопасная смесь, способная к взрыву и разрушению оборудования для улавливания пыли (электрофильтра). На современных цементных заводах специальные устройства отключают электрофильтр при превышении порогового значения концентрации CO в отходящих дымовых газах.

Восстановительная среда в печи приводит к ухудшению качества портландцементного клинкера: идет частичное разрушение алюмоферритов кальция, алита, образуются менее активные полиморфные модификации белита. Неполное сгорание топлива приводит к увеличению расхода тепла на обжиг клинкера.

Выбросы CO, как правило, увеличиваются при пуске или остановке вращающихся печей, при нестабильном питании печи топливом или при использовании топлива с резко изменяющимися характеристиками. При стабильной работе и правильной настройке печного агрегата выбросы CO из печей для обжига клинкера обычно невелики.

Измерения, выполненные для 29 цементных заводов Германии, оснащенных оборудованием для непрерывного мониторинга концентрации CO в отходящих газах вращающихся печей, показали среднегодовую концентрацию в пределах 200-2200 мг/нм^3 при разовых выбросах до 5000 мг/нм^3 [9].

Разовые измерения выбросов CO, выполненные в декабре 2012 года на ОАО «Вольскцемент», показали концентрацию CO в отходящих газах 38–53 мг/нм^3 для печей №№ 4–6 и 70–75 мг/нм^3 для печей №№ 7 и 8, а измерения, выполненные в августе 2014 года 71–97 мг/нм^3 для печей №№ 7 и 8 и 41–78 мг/нм^3 для печей №№ 4–6. Измерения, выполненные в ноябре 2014 года на «ОАО «Щуровский цемент», показали концентрацию CO в печных газах вращающейся печи № 7 сухого способа производства в пределах 633–665 мг/нм^3 при включенной и 815–986 мг/нм^3 при выключенной сырьевой мельнице, тогда как концентрация CO в отходящих газах печи № 2 для обжига клинкера белого цемента не превышала 15–21 мг/нм^3. Для печи ОАО «Сланцевский цемент» («ЦЕСЛА») измерения, выполненные в декабре 2011 года, показали выбросы CO из цементных печей 1043–1450 мг/нм^3 при средних декларируемых выбросах не более 200 мг/нм^3.

Средние выбросы CO для большинства цементных заводов Российской Федерации колеблются в пределах 50–250 мг/нм^3. При этом на ЗАО «Белгородский цемент» минимальное значение выбросов CO составляет 20 мг/нм^3. Наиболее высокие выбросы CO отмечены для ОАО «Искитимцемент» (637–1517 мг/нм^3) и филиала «ХайдельбергЦемент Рус» в п. Новогуровском (до 1500 мг/нм^3), что связано с особенностями сырьевой базы этих предприятий.

Поскольку наличие в отходящих газах вращающихся печей CO обычно указывает на нарушение технологического режима работы печи, то следует ожидать, что при нормальном режиме работы его содержание будет близко к нулю. Выбросы CO, как правило, увеличиваются при пуске или остановке вращающихся печей, при нестабильном питании печи топливом или при использовании топлива с резко изменяющимися характеристиками или при наличии в сырье углерода или его соединений.

Рекомендуется осуществлять непрерывный контроль за концентрацией CO в отходящих газах печей для обжига клинкера. Что касается нормирования выбросов CO, то их предельное значение должно устанавливаться с учетом сырьевой базы предприятия, применяемой технологии и оборудования и иметь тенденцию к ужесточению с целью стимулирования реконструкции и повышения культуры производства.

3.6.5 Выбросы металлов и их соединений

Металлы и их соединения поступают в печь для обжига клинкера с сырьевыми материалами и с технологическим топливом. Их концентрация может изменяться в широких пределах. Уровень эмиссии металлов в атмосферу определяется сложными механизмами.

В зависимости от летучести металлов и их соединений все металлы могут быть разделены на 4 класса:

1) Металлы, которые в чистом виде или в виде соединений с другими элементами представляют собой тугоплавкие, нелетучие вещества. К ним относятся такие металлы, как Ba, Be, Cr, As, Ni, Al, Ca, Fe, Mn, Cu и Ag. В процессе обжига эти металлы полностью адсорбируются клинкером и выводятся из печи вместе с ним. В отходящих газах они могут присутствовать только в виде пыли, а уровень их эмиссии в атмосферу зависит только от эффективности работы пылеулавливающего оборудования.

2) Металлы, которые в виде соединений являются частично летучими: Sb, Cd, Pb, Se, Zn, K и Na. В виде сульфатов или хлоридов эти металлы способны возгоняться в интервале температур 1000 °C — 1300 °C и конденсироваться при 700 °C — 900 °C, что приводит к явлению внутренней рециркуляции и их накоплению в нижних ступенях циклонного теплообменника и в зоне твердофазовых реакций. Они также практически полностью выводятся из печи с клинкером, а уровень их эмиссии в атмосферу зависит от эффективности работы пылеулавливающего оборудования.

3) Таллий (Tl) в виде металла или в виде соединений обладает высокой летучестью. Так, например, конденсация TlCl происходит в температурном интервале 450 °C — 550 °C, т. е. в верхних ступенях циклонного теплообменника, что приводит к накоплению и постепенному росту его концентрации в составе пыли.

4) Ртуть (Hg) является крайне летучим соединением. Она почти полностью удаляется из печи с отходящими газами и лишь незначительная ее часть адсорбируется пылью с последующим осаждением в пылеулавливающих установках.

В соответствии с [57] металлами или их соединениями, относящимися к 1 классу опасности, являются Ba, Be, V, Hg, Cd, Ni, Pb, Tl, Te и Se. Среди этих металлов частичной и высокой летучестью обладают Hg, Cd, Tl и Pb.

Поведение и уровень эмиссии отдельных металлов зависит от их летучести, способа ввода в печь, концентрации металла в сырьевых материалах и топливе или

топливосодержащих отходах, возникновения явления рециркуляции и аккумулирования металлов и от эффективности осаждения пыли в пылеосадительной системе.

Нелетучие металлы почти полностью выходят из печи с портландцементным клинкером. Концентрация этих металлов в пыли, выбрасываемой в атмосферу после очистки газов в пылеосадительных установках, незначительна. Многолетними исследованиями установлено, что с портландцементным клинкером выносятся следующие тяжелые элементы: As (≈92 %), Ni (≈97 %), Zn (≈88 %), Be (≈96 %).

Частично летучие и высоколетучие металлы и их соединения имеют тенденцию к организации кругооборота (рецикла) внутри печной системы и циклонного теплообменника. В процессе кругооборота их концентрация в определенных зонах печи и теплообменника постепенно увеличивается, что приводит к некоторому увеличению эмиссии данных металлов и их соединений в атмосферу вместе с пылью. Большая часть Cd (≈88 %) и Pb (≈77 %) удаляются вместе с безвозвратным пылеуносом. Одновременно увеличивается их вынос из печи вместе с портландцементным клинкером.

Особое положение среди металлов благодаря своей высокой летучести занимает ртуть. В интервале температур, соответствующих температуре отходящих из печи газов, почти вся ртуть находится в газообразном состоянии и полностью выносится из печи в атмосферу. Лишь незначительная часть ртути при резком снижении температуры отходящих газов может конденсироваться на частицах пыли и, таким образом, улавливаться в системе пылеосаждения. Высоколетучие Hg (≈98 %) и Tl (≈42 %) удаляются из вращающейся печи с отходящими газами.

В таблице 3.6 приведен примерный диапазон концентраций тяжелых металлов, выбрасываемых в атмосферу из цементных печей, после прохождения отходящих газов через системы пылеулавливания. Определение концентраций металлов в воздухе выполнялось в соответствии с методикой [58]. В таблице использованы данные, полученные в 1996–1998 годах для цементных заводов стран ЕС и данные отдельных измерений, выполненных в Российской Федерации в 2010–2014 годах.

Таблица 3.6 — Уровни эмиссии тяжелых металлов в атмосферу из цементных печей, оснащенных системами пылеулавливания

Металл	Концентрация, мг/нм^3	
	Цементные заводы ЕС	Цементные заводы Российской Федерации
Сурьма	< 0,007–0,05	0,0037–0,13
Мышьяк	< 0,007–0,025	< 1,0
Бериллий	< 0,004	—
Свинец	< 0,012–0,2	0,005–4,38*
Кадмий	< 0,002–0,008	0,0007–0,13
Хром	< 0,014–0,03	0,0017–3,41*
Кобальт	< 0,012–0,15	< 0,009
Медь	< 0,011–0,095	0,0017–0,23*
Марганец	< 0,007–2,0	0,013–0,82*
Никель	< 0,008–0,075	0,0025–0,13*
Ртуть	< 0,005–0,12	0,0005–0,0013
Селен	< 0,008–0,02	—
Теллур	< 0,0017–0,015	—
Таллий	< 0,005–0,03	0,0025–0,67*
Ванадий	< 0,007–0,075	0,0068–0,22
Цинк	< 0,1–0,45	< 0,006
Олово	< 0,01–0,025	—
Примечание — Значение получено при низкой эффективности системы пылеулавливания.		

Токсичные свойства тяжелых металлов проявляются при вдыхании их пыли или паров или при контакте этих же веществ с кожей человека.

В странах Европы допустимые выбросы тяжелых металлов регламентируются Шведским (LRV) и Германским (TA-Luft) Международными соглашениями о чистоте воздуха. В соответствии с этими соглашениями тяжелые металлы разделены на классы в соответствии со своей токсичностью.

Наибольшую опасность представляют Cd, Hg, Tl, которые отнесены к I классу по токсичности. Максимальная допустимая концентрация этих металлов в газовых выбросах в сумме не должна превышать 0,20 мг/нм^3.

К II классу отнесены As, Co, Ni, Se, Te с максимальной допустимой концентрацией 1,00 мг/нм^3.

К III классу по токсичности отнесены Cr, Cu, Pb, Pd, Pt, Rh, Sb, Sn, V с максимально допустимой концентрацией в газовых выбросах 5,00 мг/нм^3.

Ранее в Российской Федерации при изучении сырьевой базы цементных заводов достаточно внимания высоколетучим металлам и их соединениям не уделялось. Следовательно, в настоящее время не целесообразно относить эти металлы к маркерным веществам. Между тем вследствие высокой токсичности и способности к аккумулированию даже небольшие выбросы данных металлов способны нанести колоссальный ущерб окружающей среде и здоровью человека. Поэтому предприятиям необходимо измерить концентрацию высоколетучих металлов в отходящих газах и при последующей актуализации информационно-технического справочника добавить их в перечень маркерных веществ.

3.6.6 Выбросы газообразных хлоридов и фторидов (HCl и HF)

Неорганические соединения хлора и фтора являются минорными компонентами портландцементного клинкера: их содержание в клинкере обычно не превышает 0,05–0,1 масс. % в пересчете на ион хлора Cl^-.

Хлориды и фториды попадают в систему вращающейся печи двумя способами: с сырьевыми материалами как примесь или, в некоторых случаях, как специальная добавка с целью интенсификации процесса клинкерообразования и снижения температуры обжига портландцементного клинкера или как компонент использующихся для производства цемента отходов, главным образом топливных. В процессе обжига хлориды и фториды взаимодействуют со щелочными компонентами сырьевой смеси (Ca, Na, K и др.) с образованием легкоплавких и летучих соединений. Благодаря своей высокой летучести щелочные хлориды и фториды возгоняются (испаряются) в горячих зонах печи (декарбонизации, твердофазовых реакций, спекания) и потоком дымовых газов уносятся в более холодные зоны, где при температурах 600 °С — 900 °С вновь переходят в твердое состояние (конденсируются), оседают на поверхности частиц сырьевой смеси и пыли и вновь направляются в более горячие зоны печи. В результате внутри печи и частично циклонного теплообменника образуется устойчивый кругооборот щелочных соединений хлора и фтора, что приводит к многократному локальному повышению концентрации этих соединений. В присутствии значительного количества легко-

плавких щелочных соединений хлора и фтора наблюдается неконтролируемое налипание обжигаемого материала на стенки циклонов, газоходов, футеровку печи, что приводит к нарушению газодинамического режима работы печного агрегата. Кроме того, увеличивается концентрация соединений хлора и фтора в клинкере и безвозвратном пылеуносе.

Для разрыва циклического кругооборота легкоплавких соединений хлора и фтора в печи используется система байпасирования печных газов. Принцип работы системы байпаса заключается в отборе из соответствующей зоны печи или теплообменника небольшого количества (5–15 об. %) дымовых газов с температурой 900 °С — 1000 °С, содержащих соединения хлора и фтора в газообразном состоянии, с последующим резким охлаждением этих газов до 400 °С — 550 °С путем разбавления воздухом или впрыском воды; при этом газообразные соединения хлора и фтора конденсируются на поверхности пылевидных частиц в газовом потоке с последующим улавливанием этих частиц в циклоне или рукавном фильтре. Обеспыленные дымовые газы с температурой до 400 °С — 500 °С возвращаются в печную систему, а пыль с осевшими на ней соединениями хлора и фтора направляется в отвал или утилизируется путем использования в качестве вспомогательного компонента при помоле портландцемента. Благодаря разрыву циклического кругооборота концентрация соединений хлора и фтора в печи постепенно снижается до допустимого предела.

Негативным явлением при использовании байпасной системы является некоторое увеличение удельного расхода тепла на обжиг клинкера и образование дополнительного количества трудно утилизируемого отхода производства.

Так как соединения хлора и фтора удаляются из печи вместе с пылью, то выбросы этих соединений в значительной мере зависят от эффективности функционирования системы пылеулавливания, особенно в отношении пыли мелкой фракции с размером частиц менее 10 мкм (PM10).

Периодические измерения, проводимые на цементных заводах стран ЕС, показали среднее значение выбросов HCl 3,63–4,23 мг/нм^3. Среднее значение выбросов HF составило 0,32–0,61 мг/нм^3; при этом более половины измеренных значений оказались ниже предела обнаружения [9].

Единичные измерения, выполненные в декабре 2012 года на Вольском цементном заводе для печей мокрого способа производства показали выбросы соединений хлора в пересчете на HCl до 0,30–0,33 мг/нм^3 при пределе обнаружения 0,25 мг/нм^3.

Измерения, выполненные в ноябре 2014 года на Щуровском цементном заводе, показали выбросы HCl из печи сухого способа производства 1,0–1,7 мг/нм^3 при работающей и 2,7–2,9 мг/нм^3 при неработающей сырьевой мельнице. Выбросы HCl из печи для обжига клинкера белого цемента оказались более высокими — 31–35 мг/нм^3, что связано, вероятно, с особенностями сырьевой смеси для производства белого портландцемента. Измерения, выполненные в марте 2012 года на Сланцевском цементном заводе «Цесла», показали выбросы HCl в пределах 2–4 мг/нм^3 и HF 0,07–0,19 мг/нм^3.

Поскольку сегодня российские цементные заводы не измеряют концентрации HCl и HF, то и относить эти соединения к маркерным веществам, как и в случае с высоколетучими металлами, не является целесообразным.

Предприятиям рекомендуется измерить концентрацию HCl и HF в отходящих газах и при последующей актуализации настоящего справочника добавить их в перечень маркерных веществ в случае необходимости.

При сжигании во вращающейся печи различных отходов, в том числе особо опасных, содержащих большое количество веществ, наносящих ущерб окружающей среде и здоровью человека, увеличивается риск выбросов этих веществ из печи в окружающую среду. В этом случае количество маркеров — веществ, эмитируемых в окружающую среду, подлежащих обязательному контролю и нормированию, может быть увеличено в зависимости от вида отходов и содержащихся в них вредных веществ.

3.7 Уровень шума, возникающий в процессе производства цемента

Для производства цемента характерен высокий уровень шума и вибраций, возникающих в процессе работы различных установок и аппаратов: дробилок, мельниц, сепараторов, вентиляторов, дымососов, вибраторов, электродвигателей и приводов печей и мельниц.

Длительное воздействие шума и вибраций на человека может повредить его слуховой аппарат, угнетает центральную нервную систему, вызывает изменение скорости дыхания и пульса, способствует нарушению обмена веществ, возникновению сердечно-сосудистых заболеваний, гипертонической болезни, может приводить к профессиональным заболеваниям. Поэтому цементные заводы должны принимать меры и осуществлять мероприятия по снижению уровня шума до минимальной величины.

Часто уровень шума и вибраций зависят от конструкции фундамента, на котором установлено оборудование. Использование специальных фундаментов и устройств, гасящих вибрацию, позволяют заметно снизить уровень шума в производственных цехах.

Если вышеупомянутые технические решения не могут быть применены и если установки, выделяющие шум, невозможно перевести в отдельные здания (например, из-за размера печей и их средств обслуживания), то применяются вторичные технические решения. Например, должно быть осуществлено строительство зданий или природных барьеров, таких как растущие деревья или кустарники между защищаемой зоной и источником активного шума (например, печь или площадь склада). Двери и окна защищаемого пространства должны быть плотно закрыты в период эксплуатации шумовыделяющих установок.

Если жилая зона находятся близко от завода, планирование расположения и строительство новых зданий на промплощадке должно увязывается с необходимостью снижения шумовых выбросов.

Рекомендуется осуществлять замеры уровня шума на границе санитарно-защитной зоны.

3.8 Выбросы в воду

В основном цементная промышленность не имеет производственных сточных вод. В цементном производстве сухого или полусухого способа вода используется в небольшом количестве только для процесса очистки. В принципе, сбросов в воду не происходит, потому что вода возвращается в производственный процесс.

В полумокром способе шлам обезвоживается в фильтрпрессах. В мокром способе вода используется для помола сырьевых материалов для получения шлама. Используемые сырьевые материалы часто имеют высокую влажность. Шлам или используется для питания печи, где вода испаряется, или вначале направляется на сушку.

Вода, которая иногда используется для охлаждения клинкера, непосредственно испаряется в процессе охлаждения при высокой температуре клинкера.

3.9 Производственные отходы

Производственные отходы при получении цемента состоят в основном из следующих материалов:

- крупные куски сырьевых материалов, появляющиеся в процессе приготовления сырьевой смеси;

- печная пыль из байпасной системы и системы пылеосаждения;

- фильтрат после фильтрпресса, используемого в полумокром способе, содержащий довольно много щелочей и суспендированное твердое вещество;

- пыль после прохождения газов через пылеочистные установки;

- использованные сорбционные вещества (гранулированный известняк, пыль известняка), используемые в системах очистки газов;

- отходы упаковки (пластик, дерево, металл, бумага и т. д.), образующиеся в упаковочном отделении.

Часть выше упомянутых отходов могут возвращаться и повторно использоваться на заводе с учетом требований процесса и конкретной продукции. Материалы, которые нельзя возвращать в производственный процесс, отправляются с завода для использования в других отраслях промышленности или для переработки отходов вне завода на других установках. Печная пыль может быть непосредственно возвращена в процесс производства цемента или использована для других целей.

Раздел 4. Наилучшие доступные технологии

Термин «наилучшие доступные технологии» определен в Федеральном законе от 10 января 2002 года № 7 ФЗ [1].

Порядок определения технологии в качестве НДТ определен постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [7], на основании которого Министерство промышленности и торговли Российской Федерации разработало «Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии» [59].

Выбор наилучших доступных технологий в настоящем справочника осуществлялся на основании этих документов и анализа следующих критериев:

а) наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации; приоритетным, оказывающим наименьшее отрицательное воздействие на окружающую среду, рекомендовано считать воздействие от отходов, затем выбросы в воду и загрязнение почвы; воздействие от выбросов в воздух рекомендовано рассматривать как фактор, имеющий наибольший отрицательный эффект;

б) экономическая эффективность внедрения и эксплуатации; анализ экономической эффективности заключается в оценке затрат на внедрение и эксплуатацию технологии и выгоды от ее внедрения путем применения метода анализа затрат и выгод; в процессе оценки рекомендуется разделять объекты (предприятия) на новые и действующие;

в) применение ресурсо- и энергосберегающих методов;

г) период внедрения;

д) промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на 2 и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

В качестве источников информации об областях применения НДТ, о применяемых на практике технологиях, относящихся к НДТ, были использованы Справочник Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Производство цемента, извести и оксида магния» [9], [10], сведения, полученные в результате анкетирования предприятий цементной промышленности, статистические сборники, результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные источники, а также информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в области производства цемента.

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии при производстве цемента

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [5] НДТ — это технология

производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения. При этом к НДТ могут быть отнесены как технологические процессы, оборудование, технические способы, так и другие методы защиты окружающей среды.

5.1 Снижение удельных расходов сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента

Общие сведения о современных уровнях использования сырьевых материалов для производства 1 т портландцементного клинкера и портландцемента представлены в 3.3.

Требования к химико-минералогическому составу портландцементного клинкера не позволяют в заметной степени сократить удельный расход сырьевых компонентов для его производства.

Значительно больший эффект достигается при замене природных материалов на отходы производства других отраслей промышленности. Так шлаки черной и цветной металлургии или нефелиновый шлам в зависимости от своего химического состава могут заменить до 80 % карбонатного или алюмосиликатного компонента в составе сырьевой смеси для производства портландцемента, золошлаковые отходы — до 50 % карбонатного и до 70 % алюмосиликатного компонента, железосодержащие хвосты, шламы и пыли черной металлургии — до 100 % железосодержащего компонента сырьевой смеси.

При помоле цемента добавка доменного гранулированного шлака может заменить до 80 % портландцементного клинкера, зола-уноса тепловых электростанций, работающих на угольном топливе — до 40 % клинкера. Отход производства минеральных удобрений — фосфогипс и гипс, образующийся в результате десульфуризации дымовых газов тепловых электростанций могут заменить до 100 % природного гипса или ангидрита, используемого при помоле цемента в качестве регулятора сроков схватывания. Количество отходов, которые могут быть введены в состав цемента при его помо-

ле, ограничивается только требованиями стандартов на конкретный вид цемента, требованиями потребителей к составу цемента и стоимостью вводимой добавки.

Использование промышленных отходов в качестве сырьевых материалов при производстве цемента, как правило, приводит к снижению удельного расхода тепла на обжиг 1 т портландцементного клинкера, повышению производительности вращающейся печи, снижению энергоемкости получаемого цемента.

При использовании некоторых видов отходов в качестве сырьевых материалов для обжига портландцементного клинкера могут возникнуть проблемы повышенной эмиссии тяжелых летучих металлов из печи для обжига клинкера или проблемы образования внутреннего кругооборота легкоплавких щелочных соединений во вращающейся печи, затрудняющих процесс обжига и приводящих к аккумулированию вредных компонентов и их повышенной эмиссии.

При использовании промышленных отходов в качестве сырьевых компонентов необходимо осуществлять периодический мониторинг содержания нежелательных компонентов в их составе и использовать систему обеспечения качества поставляемых отходов с целью минимизации содержания нежелательных компонентов.

Вся пыль, уловленная в процессе производства цемента, должна быть возвращена в технологический процесс. При невозможности возврата пыли в место ее образования (например, пыль, уловленная в байпасной системе или высокощелочная пыль печных электрофильтров) необходимо осуществлять ее введение в состав цемента в качестве вспомогательного компонента или технологической добавки.

НДТ 1

НДТ для снижения удельных расходов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера и цемента представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – НДТ 1

	Метод/оборудование	Применимость
а	Замена природных сырьевых компонентов отходами производства	Для всех предприятий
б	Снижение содержания доли клинкера в цементе до максимально допустимого уровня	Для всех предприятий

5.1.1 Использование отходов производства в качестве сырьевых материалов при производстве портландцементного клинкера и цемента

Внимательный выбор и контроль веществ, входящих в печь, могут снизить количество выбросов. Например, ограничение серы как в сырьевых материалах, так и в топливе снижает выбросы SO_2. То же самое относится к другим веществам: азоту, металлам, органическим соединениям, хлорсодержащим материалам.

Ограничение хлорсодержащих соединений снижает вероятность образования хлоридов щелочных металлов и хлоридов других металлов, вызывающих образование настылей в печи и сбой режимов ее работы, а также ухудшающих работу электрофильтра и, следовательно, увеличивающих выбросы пыли. Высокое содержание щелочных металлов в сырье требует более частого их удаления из печной системы, чтобы не допустить увеличения содержания щелочей в конечном продукте. В случае использования в качестве сырья низкощелочных материалов, можно допустить возврат пыли в производство и тем самым снизить накопление отходов.

В качестве альтернативного топлива и сырьевых материалов могут использоваться различные типы отходов. Однако при этом необходим тщательный контроль состава и свойств отходов.

Отходы, используемые как сырьевые материалы, содержащие летучие органические соединения, галогенсодержащие соединения и ртуть, могут создать проблемы с выбросами. Следует избегать подачи таких материалов в печь.

Количество ртути в материалах должно быть минимизировано.

Отходы, содержащие летучие органические вещества и галогенсодержащие соединения, могут использоваться только в том случае, если эти соединения разлагаются при достаточном времени пребывании и высокой температуре в печи.

При использовании опасных отходов, заменяющих часть сырьевых материалов, требуется осуществлять систематический контроль за выбросами с использованием дополнительных экологических маркеров.

НДТ 2

НДТ при использовании отходов в качестве сырьевых материалов и (или) топлива для производства цемента является минимизация риска роста выбросов вредных веществ в окружающую среду путем (см. таблицу 5.2).

Таблица 5.2 – НДТ 2

	Метод/оборудование	Применимость
а	Тщательный анализ любых отходов, которые могут быть использованы как сырьевой материал и (или) топливо в цементной печи, применение системы обеспечения качества для каждого подаваемого в технологический процесс отхода с целью обеспечения: - постоянных физических критериев отходов, например способности к образованию выбросов, наличие грубых частиц, реакционной способности, обжигаемости и калорийности; - постоянных химических критериев, например содержания хлора, фтора, серы, щелочей, летучих металлов	Для всех предприятий
б	Контроля достаточного количества необходимых параметров для любых отходов, используемых как сырьевой материал и (или) топливо цементной печи, позволяющий оценить их качество (содержание хлора, фтора, серы, щелочей, летучих металлов)	Для всех предприятий

5.2 Снижение удельного расхода топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера

Общие сведения о современных расходах топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера представлены в разделе 3.4.

Удельный расход тепла и топлива на обжиг клинкера зависит, прежде всего, от способа производства цемента. Для новых заводов и модернизируемых действующих

предприятий типичным становится сухой способ производства цемента с многоступенчатым циклонным теплообменником и декарбонизатором. Перспективна замена печей, работающих по мокрому способу, печами сухого способа, а также, в случае невозможности, печами полусухого и полумокрого способов.

Выбор способа производства зависит от влажности сырьевых материалов. На современных цементных заводах при использовании сырьевых материалов с влажностью менее 8,5 % их сушка может быть полностью осуществлена отходящими газами в четырех- или пятиступенчатых циклонных теплообменниках без дополнительного тепла. При использовании сырья с влажностью более 8,5 % необходимо снижать количество ступеней циклонного теплообменника с целью использования для сушки более горячих дымовых газов.

Печная система с многостадийными циклонными теплообменниками в сочетании с декарбонизатором и третичным воздухом считается стандартной и высокоэффективной технологией для новых заводов. В некоторых случаях, когда используется сырьевой материал с высокой влажностью, могут проектироваться заводы с трехстадийным циклонным теплообменником.

На потребление тепловой энергии современными цементными печами влияют различные факторы: свойства сырьевых материалов (например, влажность, обжигаемость), производительность печи, используемое топливо с различными свойствами и изменчивость параметров процесса, а также использование системы байпаса. Замена части сырьевых компонентов промышленными отходами, уже подвергавшимися тепловой обработке (шлаки, золы, нефелиновый шлам и т. п.), приводит, как правило, к снижению удельного расхода тепла на обжиг. С увеличением объема печных газов, направляемых в систему байпаса, удельный расход тепла на обжиг клинкера увеличивается.

Удельный расход тепла на обжиг клинкера может быть снижен путем внедрения различных технологий и оптимизации работы печной системы.

Методы оптимизации удельного расхода тепла для современной печи сухого способа включают:

- холодильник:

- установка современного клинкерного холодильника со стационарной первичной колосниковой решеткой;

- использование колосниковой решетки с низким сопротивлением потоку воздуха для обеспечения его более однородного распределения и эффективного охлаждения;

- обеспечение контроля количества охлаждающего воздуха в отдельных секциях решетки;

- печь:

- использование печей с высокой производительностью;

- оптимизация отношения длины печи к ее диаметру;

- оптимизация конструкции печи в соответствии с используемым топливом;

- оптимизация системы сжигания топлива;

- стабильность параметров работы печи;

- оптимизация процесса контроля;

- рациональное и полное использование третичного воздуха;

- обеспечение необходимого избытка воздуха в печи: окислительные условия, но близко к стехиометрическому;

- использование минерализаторов — интенсификаторов процесса обжига;

- снижение подсосов воздуха;

- декарбонизатор:

- малое гидравлическое сопротивление;

- однородное распределение сырья в печном пороге;

- минимальное образование настылей;

- интенсивная декарбонизация сырьевой смеси;

- теплообменник:

- малое гидравлическое сопротивление циклонов;

- высокая степень пылеосаждения в циклонах;

- однородное распределение сырья в сечениях газоходов;

- однородное распределение потоков газа и твердого вещества в двухветвьевых циклонных теплообменниках;

- оптимизация количества ступеней циклонов (от трех до шести ступеней в целом);

- перерабатываемый материал:

- низкая влажность сырьевых материалов и топлива;

- легкая воспламеняемость топлива с высокой калорийностью;

- постоянство питания печи и однородность материала;

- постоянство подачи топлива в печь и его однородность;

- сырьевые мельницы:

- полностью автоматизированное управление работой мельниц.

Для печей мокрого способа производства методы оптимизации включают следующие:

- снижение влажности обжигаемого сырьевого шлама путем использования разжижителей шлама или заменой природных материалов техногенными (золами, шлаками);

- оптимизация конструкции и расположения внутрипечных теплообменных устройств;

- отсутствие шламовых или клинкерных колец в печи;

- оптимизация системы сжигания топлива;

- минимизация подсоса воздуха в головках печей;

- минимизация коэффициента избытка воздуха в печи;

- стабильность параметров работы печи;

- оптимизация процесса контроля;

- использование минерализаторов — интенсификаторов процесса обжига.

Для снижения удельного расхода тепла на обжиг клинкера важным фактором является стабильная работа печного агрегата с параметрами, близкими к оптимальным. Это достигается путем:

- использования систем непрерывного компьютерного мониторинга необходимого комплекса параметров работы печного агрегата;

- использования систем автоматического управления технологическим процессом или его отдельными этапами;

- оптимизации и стабилизации состава сырьевой смеси, повышением равномерности ее подачи в печь;

- оптимизации состава и повышением равномерности подачи в печь топлива;

- в случае использования вторичных видов топлива — стабилизации характеристик, равномерности подачи, оптимизации способа ввода и сжигания вторичного топлива в печи.

Повышение энергоэффективности производства цемента может быть достигнуто дополнительной генерацией пара и электричества.

Основной проблемой для генерации дополнительного количества энергии является разработка соответствующего устройства (турбины). Рекуперация большей части избыточного тепла осуществляется в холодильнике, в меньшей степени — газами, выходящими из печи. Для этого используются процесс органического цикла Ранкина или обычный процесс парового цикла. Кроме того, избыток тепла из холодильника или печи рекуперируется прямым нагреванием газа.

Рекуперация избытка тепла путем генерации пара и электрической энергии происходит независимо от стоимости энергии и выбросов CO_2.

На цементном заводе «Слайт» в Швеции применяется обычный паровой цикл. Рекуперированное тепло направляется на существующий завод по выработке электрической энергии, примыкающий к цементному производству, где используется для работы паровой турбины, вырабатывающей электричество (примерно одна треть от общего объема пара). Пар генерируется в двухступенчатой бойлерной системе, часть которой расположена на клинкерном холодильнике, а часть — на нисходящем газоходе печи. Этот завод поставляет около 6 МВт электроэнергии. Использование существующей паровой турбины значительно улучшило экономическую эффективность установки, однако ее стоимость не была подсчитана. Ежегодное производство электричества достигает 50 ГВт·ч, что составляет четвертую часть всей потребности завода в электроэнергии.

Органический цикл Ранкина используется на цементном заводе в Ленгфурте (Германия) для выработки электроэнергии при рекуперации тепла низкотемпературных газов из клинкерного холодильника. Эта технология основана на использовании органической жидкости (пентана), который испаряется при значительно меньших, чем вода, температурах. Базовые принципы этой техники успешно использовались долгое время в технике замораживания. Технология цикла Ранкина используется главным образом для выработки энергии из геотермальных источников тепла, однако для цементного завода такой процесс был применен впервые.

Результаты показали, что при работе по такому способу можно генерировать около 1,1 МВт электрической энергии. Такой эффект был достигнут для 97 % времени работы печи. Выбросы тепла из клинкерного холодильника с отходящим охлаждающим воздухом достигали 14 МВт при температуре отходящего воздуха в пределах 300 °С — 350 °С, из которых было рекуперировано в среднем 9 МВт. Эта технология на заводе в Ленгфурте используется уже более 10 лет.

Отходы тепла также могут быть рекуперированы из клинкерного холодильника для обеспечения предприятия горячей водой. В большинстве случаев бойлер располагается после пылеосадителя, в качестве которого применяется электрофильтр. В противном случае необходимо использовать специальный тип бойлера, стойкий к абразивному износу, а также устанавливать обеспыливающее устройство (рукавный фильтр) после бойлера. Заводы, имеющие подобные установки для получения горячей воды, имеются в Германии и два — в Турции.

При установке более эффективных теплообменника и клинкерного холодильника избыток тепла будет снижаться и с экономической точки зрения генерация дополнительного количества энергии может стать невыгодной, особенно когда основное тепло требуется для процесса сушки материала. Поэтому возможность рекуперации тепла из печи и клинкерного холодильника для генерации энергии должна оцениваться в каждом конкретном случае с учетом всех возможных обстоятельств. Экономическая состоятельность может зависеть от местных условий, стоимости электроэнергии и мощности завода.

Рекуперация тепла для прямого нагрева, особенно из клинкерного холодильника, возможна, если имеется в наличии определенное количество избытка тепла, рекуперация тепла путем прямого нагрева пользуется спросом, генератор вырабатывает электрическую энергию, которая может быть использована или на заводе, или для поставки в электрические сети общего пользования.

НДТ 3

НДТ — это сокращение/минимизация удельных расходов тепла на обжиг клинкера путем применения объединенных технических решений (см. таблицу 5.3).

Таблица 5.3 – НДТ 3

	Метод/оборудование	Применимость
a	Использование сухого способа производства, оптимизация количества ступеней циклонного теплообменника в соответствии с характеристиками используемых сырьевых материалов	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий

	Метод/оборудование	Применимость
б	Применение печной системы оптимальной конфигурации и стабильного режима работы печного агрегата в соответствии с установленными параметрами путем: - оптимизации системы контроля, включая автоматический компьютерный контроль, и автоматизации управления технологическими процессами; - использование современных систем гомогенизации, дозирования и подачи в печь материалов и топлива	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
в	Рекуперация избытка тепла из печной системы, особенно из клинкерного холодильника, использование рекуперированного тепла для сушки сырьевых материалов	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
г	Использование высококалорийного топлива с характеристиками, оказывающими положительный эффект на снижение удельного расхода тепла	Для всех предприятий
д	Минимизация подсосов атмосферного воздуха в печную систему	Для всех предприятий
е	Минимизация газового потока в систему байпаса	Для предприятий сухого способа производства цемента
ж	Минимизация влажности сырьевого шлама путем замены части природных компонентов на техногенные материалы и применения разжижителей шлама	Для предприятий мокрого способа производства цемента

Технологические показатели, получаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 — Технологические показатели для НДТ 3

Технологический показатель	Значение, МДж/т	Значение, кг у. т./т клинкера
Удельные расходы тепла на обжиг клинкера:		
- для заводов сухого способа производства	3550–4120	90–160
- для заводов мокрого способа производства	5750–6900	196–235
- для заводов комбинированного способа производства	3950–4540	135–155

НДТ 4

НДТ — это снижение потребления тепловой энергии путем выработки дополнительного количества электроэнергии или тепла путем объединения заводов с теплоэлектростанциями или теплоцентралями на базе полезной рекуперации тепла, в пределах схем регулирования энергии, которые экономически устойчивы.

5.2.1 Использование отходов в качестве альтернативного топлива

Специально отобранные отходы с адекватной калорийностью можно использовать в цементной печи взамен обычного ископаемого топлива (такого, как уголь) с учетом их характеристик. Часто они используются только после проведения предварительных испытаний. Рассматриваются различные критерии, играющие роль в подборе топливных отходов, поскольку они оказывают влияние на работу печи и выбросы. К ним относятся физические критерии, например способность к переносу потоком воздуха, и химические критерии, например, содержание хлора, серы, щелочей, летучих металлов, реакционная способность.

Чтобы гарантировать характеристики топливных отходов, требуется система обеспечения качества, включающая отбор и приготовление образцов, анализы и контроль.

В зависимости от типа используемых отходов и их характеристик важным является место подачи отходов в печь, так как это влияет на выбросы из печи. В основном при повышенной температуре воспламенения отходов применяется подача их через главную горелку. Для всех точек подачи температура газов в печи должна поддерживаться не менее 850 °С в течение 2 с. Если используются отходы, содержащие более

1 % хлора, то они должны подаваться в зону печи, где температура газов должна поддерживаться не менее 1100 °С в течение 2 с.

Для контроля выбросов должно быть установлено дополнительное оборудование. Для обеспечения безопасности окружающей среды, ее качества и соответствия стандартам требуются специальный контроль и соответствующие технические решения.

При использовании опасных отходов (жидкие топливные отходы), должны соблюдаться меры безопасности, особенно при их предварительной переработке, например, складировании, подаче в производство. Меры безопасности для потенциально самовозгорающихся материалов особенно важны при доставке топливных отходов с предприятий предварительной переработки и сортировки на предприятия производства цемента.

Выбор и использование топливных отходов обусловлены рядом взаимодействующих факторов, главными из которых являются снижение выбросов CO, NO_x, а также снижение использования природных ресурсов, ископаемого топлива и сырьевых материалов.

Характеристики различных типов топливных отходов: влажность, калорийность могут оказывать влияние на удельное потребление энергии. Например, низкая калорийность и высокая влажность альтернативного топлива приводят к увеличению удельного потребления тепловой энергии на одну тонну клинкера. Чтобы достигнуть такого же потребления энергии при использовании топливных отходов с низкой калорийностью, требуется их большее количество в сравнении с использованием обычного топлива.

В зависимости от концентрации высоколетучих металлов в топливных отходах при их использовании может изменяться количество выбросов металлов. Это должно контролироваться и минимизироваться путем применения соответствующих мероприятий.

При использовании смеси топлив удельное потребление энергии на одну тонну клинкера изменяется по различным причинам, зависящим от типа топлива, его калорийности. Анализ данных показывает, что калорийность ископаемого топлива (угля) находится в пределах 26–30 МДж/кг, мазута — 40–42 МДж/кг, а калорийность пластиков колеблется от 17 до 40 МДж/кг. Следует отметить, что калорийность альтернативного топлива изменяется в широком интервале, вплоть до 40 МДж/кг. Калорийность

животных отходов, используемых в цементных печах в качестве альтернативного топлива, находится в пределах 14–22 МДж/кг.

В сравнении с использованием обычного топлива применение топливных отходов снижает производственные расходы. Используемая тепловая энергия обычно составляет 30 % — 40 % от себестоимости продукции. Поэтому стоимость топлива является значительной частью производственных расходов при получении цемента. Отходы топлива могут быть менее дорогими, чем обычное топливо, хотя стоимость будет меняться в зависимости от типа отходов и местных условий. Однако топливные отходы часто проходят предварительную обработку, гомогенизацию до их использования на цементных заводах, что приводит к их удорожанию. К тому же дополнительный контроль и анализы отходов также повышают их стоимость.

НДТ 5

НДТ при использовании отходов в качестве альтернативного топлива — это минимизация риска увеличения выбросов вредных веществ путем применения технических решений, представленных в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – НДТ 5

	Метод/оборудование	Применимость
а	Использование соответствующих точек ввода альтернативного топлива в печь с целью обеспечения определенной температуры и времени пребывания топливосодержащих отходов в данной зоне, в зависимости от их свойств и конструкции печи	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
б	Подача альтернативного топлива, содержащего органические компоненты, которые могут улетучиваться, до зоны кальцинирования в зону с необходимой температурой	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий

	Метод/оборудование	Применимость
в	Управление работой печи таким образом, чтобы газы от сжигания топливосодержащих отходов находились в контролируемом, гомогенизированном виде даже при наиболее неблагоприятных условиях при температурах более 850 °С не менее 2 с	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
г	Увеличение температуры газов в зоне печи, где происходит горение топливосодержащих отходов, до 1100 °С и выше, если сжигаются опасные отходы с содержанием более 1 % галогенсодержащих органических веществ (выраженные в виде хлора)	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
д	Обеспечение постоянной и стабильной подачи отходов в печь	Для всех предприятий
е	Прекращение сжигания отходов при режиме розжига и охлаждения (пуска и остановки) печи, когда необходимая температура и время пребывания материала в печи не могут быть обеспечены	Для всех предприятий

5.3 Снижение удельного расхода энергии на производство 1 т портландцемента

Главными потребителями электрической энергии являются мельницы (помол цемента и сырья), вытяжные вентиляторы и дымососы (печи, сырьевые и цементные мельницы), которые все вместе потребляют более 80 % электрической энергии. Величина потребляемой электрической энергии колеблется от 90 до 150 кВт·ч/т цемента. Обычно мокрый способ производства цемента является более энергоемким, чем полумокрый или сухой способы.

Расход электроэнергии обусловлен природой измельчаемого материала и особенностями процесса его измельчения. В некоторых случаях минимизация энергопо-

требления может быть достигнута простой заменой старых сырьевых мельниц на новые.

Использование электрической энергии может быть минимизировано путем установки систем управления мощностью и применения энергетически эффективных технологических схем измельчения и оборудования, такого как роликовые мельницы высокого давления для предварительного измельчения клинкера, вентиляторов с переменной скоростью вращения, а также в некоторых случаях путем замены морально устаревших типов мельниц на новые, более энергоемкие. Применение улучшенной системы контроля и снижение подсоса воздуха также позволяют оптимизировать потребление электрической энергии. Некоторые технологии снижения выбросов, описанные в последующих разделах, оказывают положительное влияние на потребление энергии, например, оптимизация процесса технологического контроля.

5.3.1 Системы энергетического менеджмента

С 1970-х годов в различных государствах были разработаны национальные стандарты в области систем энергетического менеджмента (СЭнМ). В 2011 году опубликован международный стандарт ISO 50001:2011 [61], а в 2012 году — ГОСТ Р ИСО 50001—2012 «Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению» [62].

СЭнМ представляет собой часть системы менеджмента организации и включает набор (совокупность) взаимосвязанных или взаимодействующих элементов, используемых для разработки и внедрения энергетической политики и энергетических целей, а также процессов и процедур для достижения этих целей.

В контексте НДТ энергетический менеджмент приобретает особую важность, так как СЭнМ позволяет сформулировать обоснованные цели и задачи в области повышения эффективности использования энергии на предприятии и обеспечить их достижение (решение) путем реализации программ, охватывающих все стадии производственного процесса — от планирования закупок оборудования до организации отгрузки готовой продукции.

При использовании инструментов СЭнМ первоочередное внимание следует уделять тем элементам деятельности организации, которые обусловливают наибольшее потребление энергии в производстве или обладают наибольшим потенциалом повышения энергоэффективности производства, расширения энергообмена с другими сто-

ронами (например, утилизации тепла отходящих газов для отопления, в том числе, сторонних объектов) и использования энергии возобновляемых источников.

Для определения измеряемых результатов, относящихся к энергетической эффективности, использованию энергии и потреблению энергии применяется термин «энергетическая результативность».

Процесс улучшения реализуется путем постановки энергетических целей и задач, выделения ресурсов и распределения ответственности для их достижения и выполнения (разработки и реализации программ энергетического менеджмента или программ повышения энергоэффективности, которые в Российской Федерации часто называют программами энергосбережения).

С точки зрения НДТ основные численные показатели обычно представляют как удельное потребление энергии (в расчете не единицу продукции) — как на отдельных стадиях (наиболее энергоемких), так и в процессе производства в целом. Именно в размерности сокращения удельных затрат энергии топлива, пара, электроэнергии и др. обычно ставятся цели и задачи повышения энергоэффективности, важные для обеспечения соответствия предприятий НДТ.

В связи с тем, что для постановки и проверки выполнения задач СЭнМ необходимо обеспечить мониторинг и измерение показателей, связанных с потреблением и использованием энергии, разработка программ энергетического менеджмента предполагает и совершенствование практики учета и контроля, включая выбор, обоснование и организацию измерений ключевых параметров.

Особенности российского климата (в том числе, и региональные) определяют достаточно существенные отличия в потреблении энергии, необходимой для подготовки сырья, материалов, отопления производственных помещений, от показателей, характерны, например, для западноевропейских компаний, выпускающих цемент. Но для постановки обоснованных целей и задач в области повышения энергоэффективности производства необходимо четко знать и документировать распределение потребления энергии на различные нужды.

В общем случае в состав СЭнМ входят следующие взаимосвязанные элементы:

- энергетическая политика;
- планирование (цели, задачи, мероприятия), программа СЭнМ;
- внедрение и функционирование, управление операциями;
- взаимодействие и обмен информацией;

- мотивация персонала;

- подготовка и обучение персонала;

- внутренний аудит СЭнМ;

- анализ и оценка СЭнМ руководством организации.

Действенность СЭнМ обеспечивается путем разработки, внедрения и соблюдения основных процедур, то есть документированных способов осуществления действия или процесса. Процедуры определяют последовательность операций и важные факторы этапов различных видов деятельности и по своему назначению аналогичны процедурам, используемым в рамках систем менеджмента качества и систем экологического менеджмента (см. раздел «Системы экологического менеджмента»).

В то же время с системами энергетического менеджмента связан ряд преимуществ, в том числе:

- повышение энергоэффективности использования энергии, обеспечение соответствия нормативным требованиям и добровольным обязательствам;

- сокращение негативного воздействия на окружающую среду за счет снижения выбросов и сбросов загрязняющих веществ и потерь тепла, обусловленных использованием энергии;

- повышение конкурентоспособности, в особенности, в условиях растущих цен на энергию;

- дополнительные возможности снижения эксплуатационных затрат и повышения качества продукции;

- повышение уровня доверия регулирующих органов к предприятию, что может привести к снижению нагрузки, связанной с государственным контролем;

- улучшение мотивации персонала;

- повышение привлекательности компании для сотрудников, потребителей и инвесторов.

В связи с тем, что воздействие предприятий по производству цемента в значительной степени обусловлено именно высокой энергоемкостью технологических процессов, системы энергетического менеджмента следует считать как инструментами повышения энергоэффективности, так и инструментами сокращения негативного воздействия на ОС [60].

НДТ 6

НДТ для снижения удельного расхода энергии на производство 1 т портландцемента является применение отдельно или совместно технических решений, представленных в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – НДТ 6

	Метод/оборудование	Применимость
а	Разработка, внедрение и использование на предприятии системы энергетического менеджмента	Для всех предприятий
б	Использование помольного и другого оборудования с высокой энергетической эффективностью.	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
в	Использование высокоэффективных технологических схем измельчения, оптимизированных для измельчения конкретных видов материалов	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
г	Применение высокоэффективных интенсификаторов процесса измельчения материалов	Для всех предприятий

Технологические показатели, получаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 — Технологические показатели для НДТ 6

Технологический показатель	Единица измерения	Значение
Удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента: - для заводов сухого способа производства; - для заводов мокрого способа производства	кВт·час/т цемента	 110–140 100–135

НДТ 7

НДТ — это разработка, реализация, поддерживание в рабочем состоянии и постоянное выполнение определенных требований системы энергетического менеджмента (СЭнМ), которые включают все нижеперечисленные элементы:

- энергетическая политика;
- планирование (цели, задачи, мероприятия), программа СЭнМ;
- внедрение и функционирование, управление операциями;
- взаимодействие и обмен информацией;
- мотивация персонала;
- подготовка и обучение персонала;
- внутренний аудит СЭнМ;
- анализ и оценка СЭнМ руководством организации.

СЭнМ применима для всех предприятий по производству цемента.

5.4 Снижение выбросов вредных веществ при производстве цемента

В целях единообразия и соответствия европейским данным все данные по выбросам загрязняющих веществ приведены к стандартным условиям, т. е. сухому газовому потоку при температуре 273 К и давлении 1013 Па при содержании кислорода O_2 10 об.%. Если фактическое содержание кислорода в газовом потоке отличается от 10 об.%, то пересчет концентрации выбросов в стандартное состояние осуществляется по формуле:

$$C_{станд} = \frac{11}{21 - O_{факт}} \cdot C_{изм},$$

где $C_{изм}$ и $C_{станд}$ — концентрация выбросов загрязняющих веществ, измеренная в потоке и при стандартном состоянии соответственно, мг/нм^3;

$O_{факт}$ — фактическая концентрация кислорода в потоке в момент измерения, об. %.

5.4.1 Снижение выбросов пыли

5.4.1.1 Снижение выбросов пыли из организованных источников

На цементном заводе имеются различные источники организованных выбросов пыли: печи, клинкерные холодильники и мельницы для помола сырьевых материалов, цемента и угля, а также вспомогательное оборудование. Основная часть пыли выбрасывается в атмосферу из вращающихся печей для обжига портландцементного клинкера. Однако методы и принципы снижения выбросов пыли из вращающихся печей применимы и для других источников организованных выбросов пыли.

Основная часть выбросов пыли (в том числе с размером частиц менее 2,5 мкм) может быть снижена за счет уменьшения общей величины пылевыделения, достигаемой путем использования эффективной системы пылеулавливания. В прошлом использовались различные обеспыливающие устройства, а с 2007 года главными обеспыливающими установками стали рукавные фильтры, электрофильтры или их сочетание — так называемые гибридные фильтры.

Электрофильтры генерируют постоянное электрическое поле между двумя типами электродов: отрицательно заряженным коронирующим и положительно заряженным осадительным. Благодаря высокой напряженности электрического поля вблизи коронирующего электрода образуются отрицательно заряженные ионы, которые адсорбируются частицами пыли, движущимися в воздушном потоке. Частицы становятся отрицательно заряженными и мигрируют к положительно заряженным осадительным электродам, на которые и оседают. Осадительные электроды за счет периодического встряхивания или вибраций высвобождают осевшую на них пыль, которая падает вниз, в бункер-коллектор. Циклы встряхивания электродов оптимизируются, чтобы минимизировать унос пыли и тем самым довести до минимума пылевынос. Электрофильтры характеризуются способностью работать при высокой температуре (вплоть до 400 °С) и высокой влажности обеспыливаемых газов. Качество работы электрофильтров зависит от различных эксплуатационных параметров, таких как влажность и химический состав газа и частиц пыли, скорость газового потока, распределение частиц по размерам, электрическое сопротивление частиц, начальная запыленность и температура газа, напряженность электрического поля, площадь и форма электродов, содержание влаги в осаждаемой пыли и т. д.

Работа электрофильтра может быть ухудшена при образовании наростов материала на электродах и, как следствие, за счет снижения напряженности электрического поля. Это может случиться при наличии в печи большого количества хлоридов и сульфатов, образующих со щелочными металлами субмикроскопические частицы пыли (0,1–1 мкм), имеющие высокое удельное сопротивление (10^{12}–10^{13} Ом/см), которые оседают на электродах, снижая электропроводность газа и затрудняя удаление пыли.

Проблемы высокого сопротивления могут быть частично решены за счет впрыскивания воды в башню для кондиционирования дымовых газов.

Электрофильтры большого размера совместно с системой кондиционирования (увлажнения) обеспыливаемых газов при оптимизации режима работы могут снизить среднемесячное пылевыделение до 5–15 мг/нм^3. Проектная эффективность обеспыливания в таких электрофильтрах — выше 99,99 %, поэтому выбросы пыли имеют небольшую величину, всего несколько мг/нм^3. Электрофильтры весьма эффективны для улавливания ультра мелких частиц (< 0,5 мкм), способных агломерироваться.

Электрофильтры являются мощным и эффективным оборудованием, распространенным в технологическом процессе. Существующие электрофильтры часто могут быть усовершенствованы без полной замены, что снижает стоимость работ по модернизации. Модернизация старых электрофильтров может касаться монтажа более современных электродов или автоматического контроля напряжения на старых установках. Можно также улучшить прохождение газа через электрофильтр или установить дополнительные секции фильтрации.

Потребление электрической энергии электрофильтров растет экспоненциально со снижением содержания пыли в очищенном газе. Оптимальная работа электрофильтра зависит от температуры и влажности обеспыливаемого газа. Продолжительность работы электрофильтра может достигать несколько десятилетий при обеспечении всех рекомендуемых условий обслуживания и ремонта. Некоторые части (молотки, подшипники) необходимо регулярно менять после нескольких лет эксплуатации как часть периодического обслуживания и ремонта.

Электрофильтры вследствие их высокой эффективности, низкого гидравлического сопротивления, высокой работоспособности и энергетической эффективности становятся наиболее успешными установками для улавливания пыли из отходящих газов вращающихся печей и клинкерного холодильника. Электрофильтры могут быть ис-

пользованы почти в каждой цементной печи для удаления пыли из отходящих газов, газов из системы байпаса и воздуха из колосникового холодильника.

Рукавные фильтры являются эффективным пылеулавливающим оборудованием. Основной принцип работы рукавных фильтров заключается в использовании матерчатой мембраны, которая пропускает газ, но задерживает пыль. Различие в конструкции таких фильтров состоит в том, что часть фильтрующих элементов состоит из цилиндрических фильтровальных мешков (вертикальная подвеска), а часть — из фильтровальных пакетов, которые обычно устанавливаются горизонтально. Первоначально пыль откладывается частично на поверхности волокон и проникает на всю глубину ткани, но как только поверхностный слой ткани полностью покроется пылью, она сама становится доминирующей фильтровальной средой. Выходящие газы могут проходить не только из внутренней части фильтровального рукава наружу, но и в противоположном направлении. Поскольку слой пыли утолщается, сопротивление прохождению газа повышается. Поэтому необходимы периодическая чистка фильтровальной среды и контроль гидравлического сопротивления фильтра.

Обычным способом чистки является периодическая импульсная подача очищенного газа или сжатого воздуха в направлении, обратном обычному потоку газа, механический удар или встряхивание и вибрация. Рукавные фильтры имеют много секций, которые можно индивидуально изолировать в случае выхода из строя рукава; соответственно фильтрация будет успешной, обеспечивающей адекватное поведение установки в целом, если даже секция будет целиком выведена из эксплуатации. Для этого должен сработать «детектор разрыва рукава», который находится в каждой секции и который указывает на необходимость замены мешка, если случилась неполадка.

Фильтровальные рукава изготавливают из тканого и нетканого материала. Высокая температура (150 °С — 300 °С) обеспыливаемых газов требует применения специальных материалов. Современные синтетические ткани могут выдерживать температуру до 280 °С.

Поведение рукавных фильтров зависит от различных параметров, таких, как совместимость фильтрующего материала с характеристиками обеспыливаемого газа и пыли, соответствующее термическое, физическое и химическое сопротивление против воздействия гидролиза, окисления и температуры процесса. Важными характеристиками фильтра являются размер фильтрующей поверхности, эффективность разделения и сопротивление фильтрации (так называемое «дифференциальное давление филь-

тра»). Последняя величина зависит от свойств фильтровального материала и пыли. Основным параметром для проектирования фильтра является пропускная способность (объем обеспыливаемого газа). Поэтому классификация рукавных фильтров осуществляется в зависимости от типа, количества рукавов и свойств пыли и газа.

Срок службы, потребности в энергии и в обслуживании рукавных фильтров зависят от тепловых и механических нагрузок. Скорость прохождения газа, толщина отложений пыли, пористость и циклы очистки влияют на эффективность удаления пыли. Улучшение работы фильтра (в частности, снижение его гидравлического сопротивления) ведется в направлении быстрого определения потенциальной утечки пыли с постоянным контролем с помощью детектора, улучшения системы пылеудаления, повышения срока эксплуатации и снижения стоимости. Циклы очистки и методы очистки фильтрующих материалов оказывают влияние на эффективность работы фильтра. Испытания показали, что при использовании воздушной пульсации низкого давления эффективность повышается, в то же время минимизируется потребление энергии и снижается уровень шума. Такая фильтрующая система может быть использована для обеспыливания отходящих газов из вращающихся печей, а также обеспыливания щелочной пыли байпаса, воздуха клинкерного холодильника, мельниц и классификаторов.

Объединение рукавных фильтров с циклонами применимо для клинкерного холодильника. В циклоне частицы пыли выделяются от газового потока и осаждаются под действием центробежных сил на стенах циклона, а затем удаляются через отверстие со шлюзовым затвором на дне циклона. Центробежные силы проявляются непосредственно в газовом потоке, входящем по касательной в цилиндрический корпус циклона, или за счет вращения рабочего вентилятора, находящегося в установке (механический центробежный пылеосадитель). В цементной промышленности циклоны объединяются с воздушным теплообменником для снижения температуры и рукавным фильтром (пылеулавливающая камера с рукавным фильтром) для удаления пыли из отходящих газов холодильника. Циклон может снизить концентрацию пыли до 70 % от исходной. В сочетании с воздушным теплообменником и пылеулавливающей камерой с рукавным фильтром достигается высокая очистка (до 99,99 %) при низкой концентрации пыли в выбросах, равной 5–7 мг/нм^3.

Чтобы оптимизировать эксплуатационную стоимость рукавных фильтров, на цементных заводах устанавливают оптимальное давление в системе пульсирующего струйного пылеудаления. Нагрузка на фильтр, дифференциальное давление на филь-

трующую поверхность и система очистки газов являются тремя главными факторами, оказывающими влияние на снижение стоимости рукавных фильтров. Эти факторы тесто связаны, поэтому для оптимизации стоимости необходимо достижение максимально возможных отношений воздух/обшивка фильтра, наименьших значений дифференциального давления и более низких давлений воздуха для очистки.

Гибридные фильтры представляют собой объединение электрофильтров и рукавных фильтров в одно и то же устройство. Они в основном являются результатом модернизации существующих электрофильтров и позволяют повторно использовать часть старого оборудования.

НДТ 8

НДТ — это снижение выбросов пыли из организованных источников путем применения технических решений, представленных в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – НДТ 8

	Метод/оборудование	Применимость
а	Применение современных электрофильтров или рукавных фильтров, оптимизированных для очистки конкретного вида газов	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
б	Применение гибридных фильтров	Для вновь строящихся и модернизируемых предприятий
в	Применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров	Для всех предприятий

Технологические показатели, получаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.9.

Таблица 5.9 — Технологические показатели для НДТ 8

Технологический показатель	Единица измерения	Значение
Выбросы пыли из вращающейся печи (неорганическая пыль с содержанием SiO_2 до 20 %, код ЗВ 2909):	мг/нм^3	

Технологический показатель	Единица измерения	Значение
- для проектируемых технологических линий		Не более 25
- технологические линии, введенные в эксплуатацию после 2008 года		Не более 50 [1), 2), 3)]
- технологические линии, введенные в эксплуатацию до 2008 года с модернизированными фильтрами		Не более 500 [1), 2), 3)]
- технологические линии, введенные в эксплуатацию до 2008 года		Не более 1000 [1), 2), 3)]

[1)] Как среднее арифметическое за время проведения замеров.

[2)] Замеры осуществляются периодически согласно графику производственного контроля на основании норм, установленных в нормативных документах.

[3)] При одновременной минимизации выбросов из других организованных источников.

5.4.1.2 Снижение выбросов пыли из неорганизованных источников

Источниками образования неорганизованных пылевых выбросов являются процессы складирования и переработки сырьевых материалов, топлива и клинкера, а также любые транспортные средства, используемые на территории производства. Компактное расположение объектов является наиболее простым способом снижения неорганизованных выбросов пыли. Регулярное и тщательное обслуживание установок всегда приводит к косвенному снижению неорганизованных выбросов пыли благодаря уменьшению подсоса воздуха или предотвращению негерметичности установок. Использование автоматических приборов и системы контроля также способствует снижению выбросов пылевидных частиц, равно как и постоянная безотказная надежная работа установок.

Чтобы снизить выбросы дисперсной пыли на открытом складе, где размещены сырьевые материалы или топливо, штабели и площадки навального хранения могут быть закрыты или укрыты с помощью различных перегородок, покрытий, разделены стенами или оградами, состоящими из вертикальных зеленых растений (искусственные или естественные барьеры для предотвращения воздействия ветра).

НДТ 9

НДТ — это снижение выбросов пыли из неорганизованных источников путем применения технических решений, представленных в таблице 5.10.

Таблица 5.10 – НДТ 9

	Метод/оборудование	Применимость
а	Укрытие/капсулирование операций, связанных с пылением	Для всех предприятий
б	Использование закрытых конвейеров и элеваторов	Для всех предприятий
в	Уменьшение мест подсоса воздуха или просыпания материала, герметизация установок	Для всех предприятий
г	Использование гибких шлангов и рукавов, снабженных системой улавливания пыли, при погрузке цемента в цементовоз	Для всех предприятий
д	Противоветровая защита	Для всех предприятий
е	Водное опрыскивание и химические вещества, подавляющие пыление	Для всех предприятий
ж	Покрытие, мытье дорог и их уборка	Для всех предприятий
з	Увлажнение штабелей	Для всех предприятий

В результате реализации НДТ достигается минимизация выбросов пыли из неорганизованных источников.

5.4.2 Снижение выбросов оксидов азота NO_x

Для снижения выбросов NO_x применяются как первичные технические решения, интегрированных в технологический процесс, так и специальные технологии или их сочетание с первичными техническими решениями. К первичным техническим решениям относятся:

- оптимизация процесса обжига;
- охлаждение пламени;
- использование горелки с низким выделением NO_x;
- постадийное сжигание топлива, сжигание топлива в средней части печи в сочетании с декарбонизатором и использованием оптимальной топливной смеси;

- использование минерализаторов для улучшения обжигаемости сырьевой смеси.

Специальные технологии, которые могут быть использованы для снижения выбросов NO_x:

- технология селективного некаталитического восстановления NO_x (SNCR — Selective Non-Catalytic Reduction);

- технология селективного каталитического восстановления NO_x (SCR — Selective Catalytic Reduction).

По экономическим соображениям снижение выбросов NO_x на предприятии предпочтительно следует начинать с осуществления первичных технических решений, интегрированных в технологический процесс. Некоторые печи с циклонными теплообменниками или циклонными теплообменниками и декарбонизаторами после оптимизации процесса работы и применения только первичных технических решений уже дают выбросы NO_x менее 500 мг/нм^3. Эффективность различных методов снижения выбросов NO_x представлена в таблице 5.11

Таблица 5.11 — Технические решения для снижения выбросов NO_x, применяемые при производстве цемента

Техническое решение	Эффективность снижения выбросов, %	Данные по выбросам, мг/нм^3
Оптимизация процесса обжига	25	Снижаются с 1400 до 1000
Охлаждение пламени факела	0–35	Менее 500–1000
Применение горелок с низким выделением NO_x	0–35	Менее 500–1000
Постадийное сжигание топлива, сжигание топлива в средней части печи	20–40	—
Использование минерализаторов	10–15	—
Технология SNCR	30–90	200–500
Технология SCR	43–95	200–500

Оптимизация процесса обжига. Оптимизация процесса обжига, стабильная и оптимальная работы печи, оптимизация процесса контроля, гомогенизации, подачи топлива приводят к снижению выбросов NO_x. Первичная оптимизация технических пе-

ределов включает оптимизацию контроля процесса обжига и выбросов, улучшение работы установок непрямого сжигания топлива, оптимизация работы холодильника, выбора топлива и оптимизацию содержания кислорода и избытка воздуха при обжиге клинкера.

Путем оптимизации работы контрольно-измерительной техники и оборудования достигается снижение выбросов NO_x с 1400 до 1000 мг/нм^3.

Охлаждение пламени факела. Добавление воды в топливо или непосредственно в пламя с использованием различных методов инжекции (впрыскивание жидкости или жидкости + твердого вещества), использование жидких и твердых отходов с высокой влажностью снижает температуру пламени и увеличивает концентрацию гидроксильных радикалов. Это оказывает положительный эффект на снижение образования NO_x в зоне горения факела. Однако при этом требуется дополнительное тепло для испарения воды, что вызывает небольшое увеличение удельного расхода тепла на обжиг клинкера и выбросов CO_2 (примерно на 0,1 % — 1,5 %).

Снижение температуры пламени факела может быть достигнуто путем инжекции в факел тонкоизмельченного известняка или путем совместного помола небольших количеств известняка и твердого топлива (угля). При рациональном корректировании состава сырья охлаждение пламени за счет инжекции тонкомолотого известняка не приводит к повышению удельного расхода тепла или увеличению выбросов CO_2 из печи.

Впрыскивание воды может причинить проблемы в управлении печью, снизить выход клинкера и оказать влияние на его качество.

Путем охлаждения пламени факела достигается снижение выбросов NO_x до величин менее 500–1000 мг/нм^3.

Применение горелок с низким выделением NO_x**.** Конструкции горелок с низким выделением NO_x различаются в деталях, но в большинстве конструкций топливо и воздух подаются в печь через коаксиальные трубы. Количество первичного воздуха снижается до 6 % — 10 % от требуемого по стехиометрии для горения топлива (обычно 10 % — 15 % в традиционных горелках). Первичный воздух подается с большой скоростью через внешний канал. Уголь вдувается через центральную трубу или через средний канал. Третий канал используется для вихревого воздуха. Закрутка воздуха осуществляется специальными лопатками, расположенными вблизи сопла горелки.

Эффект такой конструкции горелки заключается в очень быстром воспламенении топлива, особенно при наличии в топливе летучих соединений, при недостатке кислорода в атмосфере печи, что ведет к снижению образования NO_x.

Для обеспечения возможности применения различных видов топлива, в том числе альтернативного, современные горелки изготавливаются многоканальными (см. раздел 2).

Применение горелок с низким выделением NO_x позволяет снизить выбросы NO_x до величин менее 500–1000 мг/нм^3.

Постадийное сжигание топлива, сжигание топлива в средней части печи. Постадийное сжигание топлива применяется в цементных печах, оборудованных декарбонизатором специальной конструкции. Первая стадия горения топлива происходит во вращающейся печи при оптимальных условиях обжига клинкера. Вторая стадия протекает в горелке на входе материала в печь, где образуется восстановительная атмосфера, которая разлагает часть оксидов азота, накопленного в зоне обжига. Высокая температура в этой зоне особенно предпочтительна для реакции превращения NO_x в элементарный азот. На третьей стадии топливо подается в декарбонизатор с количеством третичного воздуха, вызывающего также образование восстановительной атмосферы. Эта система снижает количество NO_x, образующихся при сжигании топлива в декарбонизаторе, а также уменьшает количество NO_x, приходящих в печь извне. На четвертой финальной стадии оставшийся третичный воздух подается в верхнюю часть системы для остаточного сжигания.

Технология постадийного сжигания топлива может быть использована только на печах, оборудованных декарбонизатором. Для завода, использующего циклонный теплообменник без декарбонизатора, необходима существенная модификация оборудования.

Сжигание кусковых отходов топлива (например, автомобильных шин) является одним из вариантов технологии стадийного сжигания топлива, при этом сжигание кусков топлива сопровождается образованием восстановительной атмосферы в зоне обжига. В печах, оборудованных запечными теплообменниками и декарбонизатором, подача кусков топлива производится на входе в печь или в декарбонизатор. Сжигание кускового топлива может снизить выбросы NO_x на 20 % — 30 %.

В длинных печах мокрого и сухого способа производства создание восстановительной зоны сжиганием кускового топлива также может снизить выбросы NO_x. По-

скольку в длинных печах нет свободного доступа топлива в зоны с температурой выше 900 °С — 1000 °С, система сжигания топлива в середине печи устраивается таким образом, чтобы обеспечить возможность подачи в нее отходов, которые нельзя подать через основную горелку (например, шины).

Имеющиеся установки по сжиганию топливных отходов в средней части печи обеспечивают снижение выбросов NO_x на 20 % — 40 %.

При использовании таких установок скорость горения топлива может иметь критическое значение. Если горение медленное, то создается восстановительная зона обжига, которая оказывает негативное влияние на качество продукции. Если же горение топлива происходит достаточно быстро, соответствующий участок зоны цепной завесы перегревается и в результате этого цепи выгорают.

Использование минерализаторов. Добавление в сырьевую смесь минерализаторов, таких как фторид кальция, является технологией регулирования качества клинкера, позволяющей снизить температуру в зоне спекания. При снижении температуры обжига одновременно достигается уменьшение образования NO_x на 10 % — 15 %.

Технология селективного некаталитического восстановления оксидов азота (SNCR). Технология селективного некаталитического восстановления оксидов азота (SNCR) включает инжекцию в дымовые газы водного раствора аммиака (с содержанием NH_3 до 25 %), водных растворов соединений аммиака или мочевины для восстановления NO_x до N_2. Оптимальный температурный интервал протекания реакции восстановления — 830 °С — 1050 °С при обеспечении достаточного времени контакта восстанавливающего агента с дымовыми газами.

Если завод уже оборудован системой постадийного сжигания топлива, то необходимо дальнейшее развитие использования технологии SNCR. Одновременное использование этих технологий требует регулирования температуры и атмосферы с таким расчетом, чтобы они соответствовали друг другу.

Снижение выбросов NO_x может быть также достигнуто инжекцией восстанавливающих реагентов в окислительную, а также в восстановительную зону печи с постадийным сжиганием топлива. Инжекция в окислительную зону более предпочтительна, поскольку вероятность увеличения выбросов CO в этом случае меньше в сравнении с инжекцией в восстановительную зону. Благодаря различным конструкциям декарбонизатора, дизайн и режим работы установки SNCR должны быть адаптированы к соответствующей технологии.

Технология селективного каталитического восстановления оксидов азота (SCR). В технологии SCR NO и NO_2 восстанавливаются до N_2 с помощью NH_3 и катализатора при температуре около 300 °С — 400 °С. В качестве восстановителя предполагается использование водных растворов аммиака или мочевины. Эта технология широко применяется для снижения NO_x в других отраслях промышленности (например, на теплоэлектростанциях при сжигании отходов). В цементной промышленности в основном рассматриваются две системы: установка с низким пылевыделением между системой обеспыливания и дымовой трубой и с высоким пылевыделением — между теплообменником и системой обеспыливания. Установка системы с низким пылевыделением требует повторного подогрева отходящих газов после их обеспыливания, что сопровождается дополнительными затратами энергии и потерями давления. Система с высоким пылевыделением газов более предпочтительна по техническим и экономическим показателям. Эта система не требуют дополнительного подогрева, так как температура газов на выходе из теплообменника обычно достаточно высокая для работы с применением SCR технологии.

Потенциально с применением технологии SCR может быть достигнуто снижение выбросов NO_x до 85 % — 90 %.

Общим недостатком технологий SNCR и SCR является возможность проскока (дополнительного выброса) NH_3 в случае неполного использования восстановителя для восстановления NO_x.

НДТ 10

НДТ — это снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах путем применения отдельно или совместно технических решений, представленных в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – НДТ 10

	Метод/оборудование	Применимость
а	Оптимизация процесса обжига	Для всех предприятий
б	Охлаждение пламени факела	Для всех предприятий
в	Применение горелок с низким выделением NO_x	Для всех предприятий
г	Постадийное сжигание топлива, сжигание топлива в средней части печи	Для заводов сухого способа производства или мокрого способа производства при модернизации печи

	Метод/оборудование	Применимость
д	Использование минерализаторов при обжиге клинкера	Для всех предприятий
е	Применение технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота SNCR	Для заводов сухого способа производства
ж	Применение технологии селективного каталитического восстановления оксидов азота SCR	Для заводов сухого способа производства (на стадии разработки)

Технологические показатели, получаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.13.

Таблица 5.13 — Технологические показатели для НДТ 10

Технологический показатель	Единица измерения	Значение
Выбросы оксидов азота NO_x из вращающейся печи (код ЗВ 0301, 0304): - для печей с циклонным теплообменником - для длинных печей мокрого способа производства и печей Леполь	мг/нм^3	 Не более 500 [1)] Не более 800 [1)]
[1)] Среднее арифметическое за время проведения замеров. Замеры осуществляются периодически согласно графику производственного контроля на основании норм, установленных в нормативных документов.		

НДТ 11

НДТ при использовании технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота SNCR — это поддерживание проскоков аммиака NH_3 на максимально низком уровне путем применения технических решений, представленных в таблице 5.14.

Таблица 5.14 – НДТ 11

	Метод/оборудование	Применимость
а	Обеспечение стехиометрического количества восстановителя при обеспечении снижения выбросов NO_x до необходимого уровня	Для заводов сухого способа производства, оборудованных системой SNCR

	Метод/оборудование	Применимость
б	Обеспечение равномерного распределения восстановителя в газовом потоке	Для заводов сухого способа производства, оборудованных системой SNCR

Технологические показатели, получаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.15.

Таблица 5.15 — Технологические показатели для НДТ 11

Технологический показатель	Единица измерения	Значение (диапазон)
Проскок NH_3	мг/нм^3	Не более 30–50

5.4.3 Снижение выбросов диоксида серы SO_2

Снижение выбросов диоксида серы SO_2 при производстве цемента осуществляется постадийно.

Первым шагом снижения выбросов SO_2 является реализация первичных технических решений:

- выбор сырьевых материалов, топлива и отходов (при их использовании) с невысоким содержанием свободной серы или серы в виде сульфидов;

- оптимизация процесса обжига клинкера, включающая стабильную работу печей;

- однородное распределение нагретого материала в печи;

- предотвращение образования восстановительной атмосферы при обжиге клинкера.

Концентрация кислорода на входе материала в печь является решающим фактором связывания SO_2 сырьевыми материалами. Увеличение содержания кислорода в печи снижает количество выбросов SO_2. Избыток кислорода обеспечивает образование сульфатов в нижней части циклонного теплообменника, которые выходят из печи совместно с клинкером.

Применение системы байпаса предотвращает накопление в печи легкоплавких сульфитов щелочных металлов и приводит к некоторому снижению выбросов SO_2.

Баланс для защиты окружающей среды должен быть найден оптимизацией соотношения выбрасываемых $NO_x/SO_2/CO$ путем регулирования содержания кислорода в печи.

Если первичные технические решения недостаточны, необходимо использовать радикальные технические решения.

Радикальными техническими решениями, позволяющими резко снизить выбросы SO_2 из цементных печей, являются использование добавок сорбента или применение мокрого скруббера.

Использование добавок сорбента (абсорбента). Сорбент ($Ca(OH)_2$) может добавляться в сырьевую смесь при ее помоле в валковой мельнице, либо инжектируется в газовый поток, выходящий из вращающейся печи. В последнем случае в качестве сорбента можно использовать CaO, $Ca(OH)_2$, высокоосновную золу-унос или бикарбонат натрия $NaHCO_3$. Применение кальцийсодержащих добавок является предпочтительным, так как они образуют продукты, которые могут непосредственно участвовать в процессах обжига клинкера без ухудшения его качества.

Оптимальная температура для добавления гидратной извести находится в пределах 350 °С — 450 °С и ниже 150 °С, если газ содержит повышенное количество влаги. Наиболее удобным местом подачи гидратной извести в печь является верхний циклон теплообменника или газоход отходящих газов.

Степень снижения содержания SO_2 путем добавки гидратной извести определяется уровнем начального содержания SO_2 и характеристиками отходящих газов и может составлять 60 % — 80 %. При начальном уровне содержания SO_2 выше 400 мг/нм^3 возможно достичь уровня выбросов 100 мг/нм^3.

Использование мокрого скруббера. Мокрый скруббер — это традиционно применяемая технология для десульфуризации дымовых газов на тепловых электростанциях, работающих на угле. Технология мокрого скруббера основана на следующей химической реакции:

$$SO_2 + ½\ O_2 + 2H_2O + CaCO_3 \longleftrightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O + CO_2$$

SO_2 абсорбируется жидким шламом, который распыляется в распылительной башне. В качестве абсорбента используется карбонат кальция. Мокрый скруббер также значительно снижает выбросы хлоридов, фторидов, аммиака NH_3, пыли и, в несколько меньшей степени, выбросы металлов. В мокром процессе десульфуризации образуется двуводный гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, который заменяет природный гипсовый камень и в це-

лом является модифицирующим реагентом в цементе. Система мокрого скруббера обеспечивает высокую эффективность улавливания водорастворимых кислых газов, включая их десульфуризацию (FGD-процесс) с наименьшим количеством твердых отходов. Эта технология предполагает использование значительных объемов воды с последующей необходимостью очистки сточных вод.

Снижение выбросов SO_2 с помощью технологии мокрого скруббера может достигать более 95 %. При работе печи с теплообменником производительностью 5800 т/сутки и начальной концентрации SO_2 в отходящих газах в пределах 800–1000 мг/нм^3 были достигнуты показатели выбросов менее 10 мг/нм^3.

Диоксид серы SO_2 совместно с органическими соединениями, высоколетучими металлами, аммиаком NH_3 и солями аммония, хлоридами HCl, фторидами HF и остаточной пылью после электрофильтра или рукавного фильтра могут быть удалены из отходящих газов адсорбцией на активированного угле. Фильтр из активированного угля используется в виде технологии инжекции или в виде конструкции из плотного слоя с модульными стеновыми перегородками. Модульная конструкция позволяет адаптировать размеры фильтра к различным установкам, через которые проходит газ, и к производительности печи. Использованный активированный уголь периодически удаляется в отдельный силос и заменяется свежим адсорбентом. При использовании отработанного активированного угля в качестве топлива в печи уловленные на нем вещества возвращаются в систему печи и в большом количестве фиксируются в цементном клинкере.

НДТ 12

НДТ — это снижение выбросов SO_2 в отходящих печных газах путем применения одного из технических решений, представленных в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – НДТ 12

	Метод/оборудование	Применимость
a	Выбор сырьевых материалов, топлива и отходов (при их использовании) с невысоким содержанием свободной серы или серы в виде сульфидов	Для всех предприятий

	Метод/оборудование	Применимость
б	Использование добавок сорбента (абсорбента)	Для всех предприятий. Наиболее эффективна при сухом способе производства при добавлении $Ca(OH)_2$ к сырьевой смеси
в	Использование мокрого скруббера	Для всех предприятий

Технологические показатели, достигаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.17.

Таблица 5.17 — Технологические показатели для НДТ 12

Технологический показатель	Единица измерения	Значение
Выбросы диоксида серы SO_2 из вращающейся печи (код ЗВ 0330)	мг/нм^3	Не более 400 [1), 2)]
[1)] Среднее арифметическое за время проведения замеров. Замеры осуществляются периодически согласно графику производственного контроля на основании норм, установленных в нормативных документов. [2)] При превышении уровня необходимо проведение дополнительных исследований для доказательства того, что это превышение обусловлено особенностями сырьевой базы (топлива) предприятия.		

5.4.4 Снижение выбросов CO

Данные по современным уровням выбросов CO из цементных печей представлены в 3.6.4.

Так как одним из источников CO в дымовых газах цементных печей является органический углерод в составе сырьевых материалов, то первичным техническим решением для снижения выбросов CO является выбор (когда это возможно) сырьевых материалов с низким содержанием органического углерода.

Другой причиной наличия CO в отходящих газах вращающихся печей является недостаток кислорода (низкий коэффициент избытка воздуха) для сжигания технологического топлива.

Быстрое и резкое увеличение содержания CO в дымовых газах (проскок CO) обычно наблюдается в периоды нестабильной работы печи, при ее розжиге, при непостоянном составе топлива и его неравномерной подаче в печной агрегат. Технические решения, направленные стабилизацию параметров работы печи, состава и характери-

стик применяемого топлива и подачи его в печь, будут приводить к снижению выбросов CO.

Высокая концентрация CO в отходящих газах вращающейся печи свидетельствует о неполном сгорании топлива, а, следовательно — о повышении удельного расхода тепла на обжиг портландцементного клинкера.

Восстановительная атмосфера в печи, вызываемая присутствием CO в отходящих газах, может оказать негативное влияние на качество портландцементного клинкера. С другой стороны, восстановительная атмосфера приводит к снижению выбросов NO_x и SO_2 с отходящими из печи газами.

При высокой концентрации CO в дымовых газах существует риск взрыва электрофильтров, то электрофильтр обычно отключается при проскоке CO. Временное отключение электрофильтра может привести к увеличению выбросов пыли и тяжелых металлов.

Для контроля содержания CO в дымовых газах должны использоваться автоматические непрерывные измерители с быстрым временем отклика, а пробоотборник должен находиться близко к источнику CO, например, в газоходе от циклонного теплообменника к башне кондиционирования при сухом способе производства цемента или в головке холодного конца печи при мокром способе производства цемента.

НДТ 13

НДТ — это снижение содержания CO в отходящих печных газах путем применения одного из технических решений, представленных в таблице 5.18.

Таблица 5.18 – НДТ 13

	Метод/оборудование	Применимость
а	Выбор (при возможности) сырьевых материалов с низким содержанием органического углерода	Для всех предприятий
б	Оптимизация процесса обжига путем поддержания необходимого коэффициента избытка воздуха в печи	Для всех предприятий
в	Обеспечение однородного состава и свойств топлива, равномерность и постоянство его подачи в печь	Для всех предприятий

	Метод/оборудование	Применимость
г	Стабильный режим работы печи, применение автоматизированных систем управления работой печи	Для всех предприятий
д	Непрерывное автоматическое измерение CO в печных газах посредством использование оборудования для мониторинга с коротким временем отклика, расположенного вблизи источника образования CO.	Для всех предприятий

Технологические показатели, достигаемые при реализации НДТ, приведены в таблице 5.19.

Таблица 5.19 — Технологические показатели для НДТ 13

Технологический показатель	Единица измерения	Значение
Выбросы оксида углерода CO из вращающейся печи (код ЗВ 0337)	мг/нм^3	Не более 600 [1), 2)]
[1)] Среднее арифметическое за время проведения замеров. Замеры осуществляются периодически согласно графику производственного контроля на основании норм, установленных в нормативных документов. [2)] При превышении уровня необходимо проведение дополнительных исследований для доказательства того, что это превышение обусловлено особенностями сырьевой базы (топлива) предприятия.		

5.5 Снижение уровня шума, возникающего в процессе производства цемента

НДТ 14

НДТ — это снижение уровня шума, возникающего в процессе производства цемента, путем применения комбинации из технических решений, представленных в таблице 5.20.

Таблица 5.20 – НДТ 14

	Метод/оборудование	Применимость
а	Выбор подходящего места для шумных операций	Для всех предприятий
б	Ограждение шумных операций/агрегатов	

	Метод/оборудование	Применимость
в	Виброизоляция производств/агрегатов	
г	Использование внутренней и внешней изоляции на основе звукоизолирующих материалов	
д	Звукоизоляция зданий для укрытия любых шумопроизводящих операций, включая оборудование для переработки материалов	
е	Установка звукозащитных стен и/ или природных барьеров	
ж	Применение глушителей на отводящих трубах	
з	Звукоизоляция каналов и вентиляторов, находящихся в звукоизолированных зданиях	
и	Закрытие дверей и окон в цехах и помещениях	
к	Использование звукоизоляции машинных помещений	
л	Использование звукоизоляции стенных проемов, например, установка шлюза в месте ввода ленточного конвейера	
м	Установление звукопоглотителей в местах выхода воздуха, например, на выпуске после газоочистки	
н	Снижение скорости потоков в каналах	
о	Использование звукоизоляции каналов	
п	Сепарация шумовых источников и потенциально резонансных компонентов, например, компрессоров и каналов	Для всех предприятий
р	Использование глушителей для дымососов и газодувок фильтров	
с	Использование звукоизолирующих модулей в технических устройствах (например, компрессорах)	

	Метод/оборудование	Применимость
т	Использование резиновых щитов при дроблении (для предотвращения контакта металла с металлом)	
у	Возведение построек или посадка деревьев и кустов между защитной полосой и шумным производством	

Достигаемый в результате реализации НДТ эффект — минимизация уровня шума на территории предприятия и на границе санитарно-защитной зоны.

5.6 Системы экологического менеджмента

СЭМ представляет собой часть системы менеджмента организации, необходимую для разработки и внедрения экологической политики и управления экологическими аспектами. В настоящее время в Российской Федерации действуют стандарты ГОСТ Р ИСО 14001–2007 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [63]. Система менеджмента — это совокупность взаимосвязанных элементов, используемых для установления политики и целей, а также для достижения этих целей.

Экологический аспект — ключевое понятие СЭМ, позволяющее соотнести деятельность организации и ее взаимодействие с окружающей средой (ОС). Экологический аспект рассматривается как элемент деятельности организации, ее продукции или услуг, который может взаимодействовать с ОС.

Для промышленных предприятий приоритетные экологические аспекты идентифицируются в результате анализа таких факторов воздействия на окружающую среду, как:

- выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;
- сбросы загрязняющих веществ в водные объекты;
- образование отходов;
- потребление энергии, сырья и материалов.

Ключевыми принципами СЭМ являются предотвращение загрязнения и последовательное улучшение.

Предотвращение загрязнения ОС предполагает использование процессов, практических методов, подходов, материалов, продукции или энергии для того, чтобы избежать, уменьшить или контролировать (отдельно или в сочетании) образование, выброс или сброс любого типа загрязняющих веществ или отходов, чтобы уменьшить отрицательное воздействие на ОС. Предотвращение загрязнения может включать уменьшение или устранение источника, изменения процесса, продукции или услуги, эффективное использование ресурсов, замену материалов и энергии, повторное использование, восстановление, вторичную переработку, утилизацию и очистку.

Последовательное улучшение — периодический процесс совершенствования СЭМ с целью улучшения общей экологической результативности, согласующийся с экологической политикой организации.

Процесс последовательного улучшения реализуется путем постановки экологических целей и задач, выделения ресурсов и распределения ответственности для их достижения и выполнения, разработки и реализации программ экологического менеджмента. При этом экологические задачи и детализированные требования к их результативности должны ставиться с учетом технологических показателей НДТ.

В общем случае в состав СЭМ входят следующие взаимосвязанные элементы:

- экологическая политика;
- планирование (цели, задачи, мероприятия), программа СЭМ;
- управление операциями;
- взаимодействие и обмен информацией;
- мотивация персонала;
- подготовка и обучение персонала;
- внутренний аудит СЭМ;
- анализ системы и оценка руководством организации.

Действенность СЭМ обеспечивается путем разработки, внедрения и соблюдения основных процедур, необходимых для управления экологическими аспектами. Процедура представляет собой определенный способ осуществления действия или процесса. Процедуры могут быть документированными или недокументированными. Процедуры определяют последовательность операций и важные факторы этапов различных видов деятельности. В процедуры могут быть включены рабочие критерии нормального выполнения этапа, действия в случае отклонения от нормы, или критерии выбора последующих этапов.

СЭМ может быть разработана и внедрена на предприятии с целью обеспечения ее работоспособности, а может (но не обязательно) сертифицирована в установленном порядке на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 14001.

НДТ 15

НДТ — это разработка, реализация, поддерживание в рабочем состоянии и постоянное выполнение определенных требований системы экологического менеджмента (СЭМ), которая включают нижеперечисленные элементы:

а) ответственность высшего руководства;

б) принятие высшим руководством экологической политики, которая включает требование постоянного улучшения (экологической результативности) производства;

в) планирование и внедрение необходимых процедур, целей и задач с учетом финансовых планов и инвестиций;

г) внедрение следующих процедур:

- структура и распределение ответственности;
- обучение, осведомленность и компетентность персонала;
- коммуникации;
- вовлечение в процесс развития СЭМ всех сотрудников;
- документирование;
- эффективный процессный контроль;
- программа технического обслуживания;
- готовности к нештатным ситуациям и авариям;
- гарантии обязательного соблюдения требований природоохранного законодательства;

д) проверка и корректирующие действия по следующим позициям:

- мониторинг и измерения;
- корректирующие и предупреждающие действия;
- ведение записей;
- независимый (где осуществимо) внутренний аудит, чтобы определить, соответствует ли СЭМ заложенным изначально принципам, должным ли образом она внедрена и функционирует;

е) регулярный анализ и пересмотр СЭМ высшим руководством на предмет ее пригодности, адекватности и эффективности (действенности);

ж) разработка более чистых технологий;

з) воздействие на окружающую среду при выводе установки из эксплуатации должно учитываться на стадии проектирования нового завода;

и) проведение, где осуществимо, регулярного отраслевого сравнительного анализа (бенчмаркинга) с учетом таких параметров, как энергетическая эффективность и энергосбережение, выбор сырьевых и вспомогательных материалов, характеристики выбросов в атмосферу, сбросов сточных вод, потребления воды и образования отходов.

СЭМ применима для всех предприятий по производству цемента.

5.7 Мониторинг

НДТ 16

НДТ — это регулярный мониторинг и измерение параметров и выбросов в соответствии со стандартами EN, ISO или национальными стандартами, гарантирующими соответствие данных научно обоснованным критериям, включая представленные в таблице 5.21.

Таблица 5.21 – НДТ 16

	Метод/оборудование	Применимость
а	Непрерывные измерения параметров, свидетельствующих о стабильности процесса, таких, как температура, содержание O_2 в отходящих газах, разрежение и скорость потока газа	Для всех предприятий
б	Мониторинг и стабилизация критических параметров процесса: однородность и постоянство состава сырьевой смеси, топлива, равномерность подачи топлива в печь, коэффициент избытка воздуха в печи	Для всех предприятий
в	Периодические замеры выбросов NO_x, SO_2 и CO из печи в соответствии с графиком производственного контроля	Для всех предприятий

	Метод/оборудование	Применимость
г	Непрерывные замеры выбросов NH_3 из вращающейся печи при использовании технологии селективного некаталитического восстановления (SNCR) оксидов азота	Для печей сухого способа производства, оборудованных установками SCNR
д	Периодические замеры выбросов пыли, высоколетучих металлов, HCl, HF [1)]	Для определения актуального норматива выбросов и его применимости
е	Периодические замеры выбросов летучих органических соединений, ПХДД/ПХДФ [1)]	При использовании отходов в качестве сырья или альтернативного топлива
ж	Периодические замеры выбросов пыли из организованных источников, кроме печи [1)]	Для всех предприятий
[1)] Замеры осуществляются периодически согласно графику производственного контроля на основании норм, установленных в нормативных документах.		

Раздел 6. Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий при производстве цемента

В настоящем разделе сведения о НДТ при производстве цемента изложены с точки зрения экономических аспектов их применения.

6.1 Экономические аспекты наилучших доступных технологий при производстве цемента

В цементной промышленности России по состоянию на 01.01.2015 функционировало 63 цементных предприятия, в том числе 57 заводов полного цикла производства и 6 помольных установок. Из общего числа производственных мощностей на предприятиях полного цикла к энергосберегающим, главному аспекту экономической эффективности, относится 40,7 % мощностей.

Строительство новых производственных мощностей в цементной промышленности сопряжено с существенными капитальными затратами. В таблице 6.1 показаны удельные капиталовложения по некоторым реализованным в Российской Федерации проектам новых технологических линий сухого способа производства.

Таблица 6.1 — Удельные капиталовложения в цементной промышленности

№	Предприятие	Оценка фактического объема инвестиций*[1], млн руб.	Мощности, введенные в эксплуатацию тыс. т	Удельные капиталовложения, тыс. руб./т мощности
1	ЮУГПК	15 955	2400	6,6
2	Серебрянский ЦЗ	14 268	1606,5	8,9
3	Азия Цемент	15 267	1800	8,5
4	Подгоренский ЦЗ	22 290	2400	9,3
5	ОАО "ЛАФАРЖ ЦЕМЕНТ"	18 023	1800	10,0
6	Петербургцемент (ЛСР)	18 846	1850	10,2
7	ВБЦЗ	24 876	2300	10,8
8	Тулацемент	20 745	1800	11,5
9	ОАО "Холсим (Рус) СМ"	26 631	2000	13,3

* Оценка сделана в сопоставимых ценах, приведенных к уровню 2014 года, так как инвестиции осуществлялись в разное время.

Несмотря на высокие капиталовложения, связанные со строительством новых производственных мощностей, необходимость нового строительства обуславливается рядом экономических преимуществ. Основными экономическими аспектами применения НДТ при производстве цемента являются:

- энергоэффективность, т. е. снижение расходов на топливно-энергетические ресурсы и при производстве цемента;

- повышение производительности труда (снижение расходов на оплату труда) за счет автоматизации производственных процессов;

- уменьшение экологического ущерба и загрязнения окружающей среды.

Рассмотрим данные экономические аспекты подробнее.

6.1.1 Энергоэффективность производства

Применение сухого способа производства цемента ведет к снижению расходов на топливно-энергетические ресурсы в среднем на 30 — 40 % по сравнению с мокрым способом производства. Основное влияние на энергоэффективность сухого способапроизводства оказывает снижение удельного расхода технологического топлива при производстве цемента.

6.1.2 Повышение производительности труда

Эффективность современного производства цемента по сухому способу обусловлено высокой производительностью основного оборудования, высоким уровнем автоматизации производственных процессов. Данное обстоятельство позволяет работать с меньшей численностью производственного персонала по сравнению с устаревшими производствами с низким уровнем автоматизации. Соответственно снижаются общие расходы на оплату труда персонала, и повышается показатель выработки продукции на 1 работающего.

На рисунке 6.1 показана усредненная структура себестоимости производства цемента при сухом и мокром способах производства.

В российских экономических условиях, при регулярно растущих тарифах на топливно-энергетические ресурсы, транспортные перевозки, росте цен на материальные ресурсы, высокой стоимости привлечения капитала назрела необходимость перехода предприятий цементной промышленности на более эффективные современные технологии.

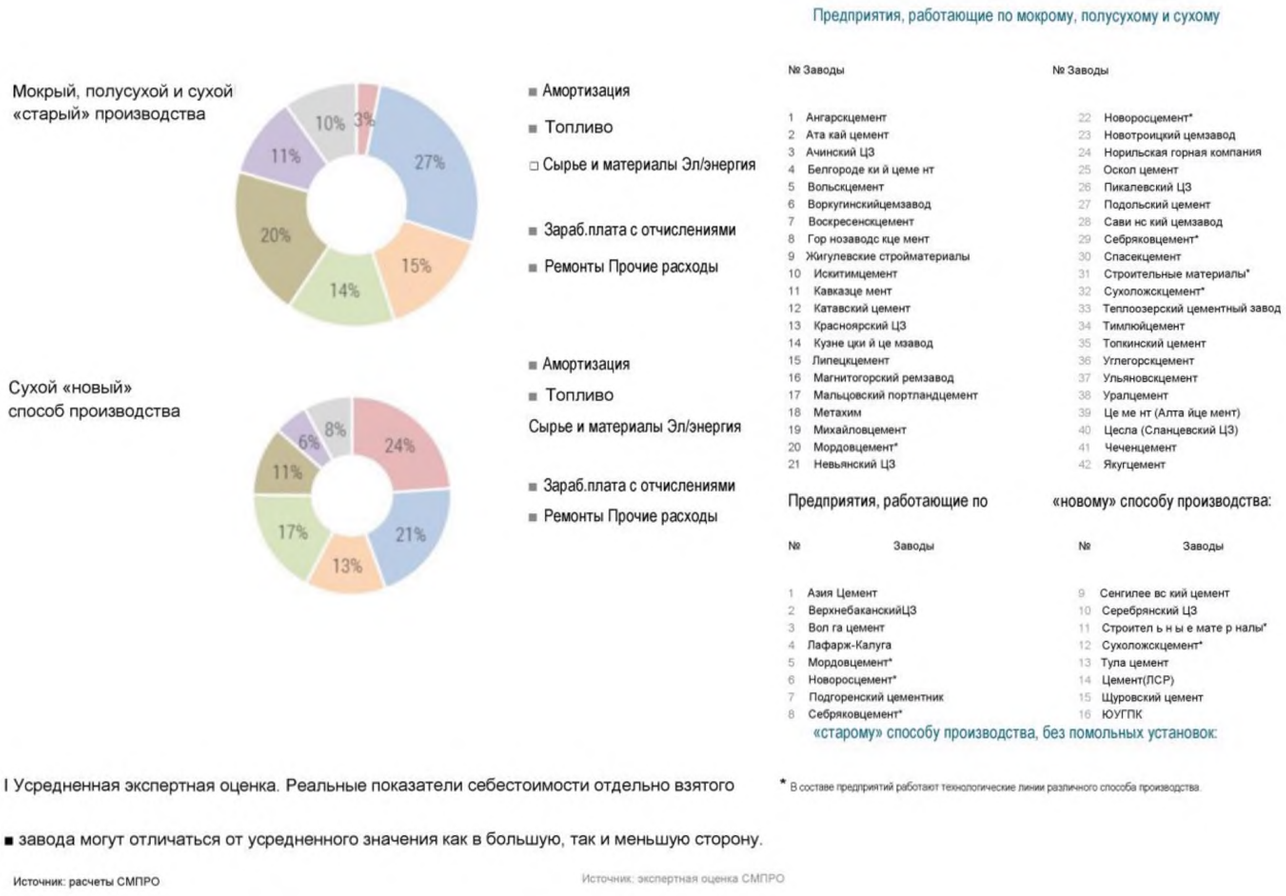


Рисунок 6.1 — Структура средней производственной себестоимости среднего цемента в 2014 году

Расчет затрат на производство цемента по сухому и мокрому способу производства с учетом стоимости привлеченного для реализации новых проектов заемного капитала обосновывает необходимость перехода цементной промышленности на современные технологии (см. рисунок 6.2).

Анализ затрат базировался на экспертной оценке себестоимости производства по всем цементным предприятиям России. С опорой на практический опыт и с учетом особенностей применяемых технологий, нормативов расходования ресурсов, организации производства и других факторов, ООО «СМ Про» была оценена себестоимость производства:

1) действующих производств

2) реализуемых проектов строительства новых производств

3) реализуемых проектов по реконструкции действующих предприятий



Рисунок 6.2 — Затраты * на производство 1 т цемента в Российской Федерации в 2013–2020 годах, руб./т (факт и прогноз)

6.1.3 Снижение экологического ущерба

Материальные балансы процесса производства 1 т портландцементного клинкера по мокрому и сухому способам производства представлены на рисунке 3.1. Сухой способ характеризуется более низкими выбросами загрязняющих веществ и, таким образом, наносит меньший ущерб окружающей среде по сравнению с мокрым способом.

---

* Оценка затрат на производство цемента учитывает влияние долговой нагрузки по кредитным ресурсам (проценты по кредитам), которые для новых производств имеют существенный вес в структуре общих затрат.

6.2 Экономические аспекты реализации НДТ при производстве цемента

Поскольку в настоящее время при модернизации существующих, и при строительстве новых технологических линий, как правило, используется оборудование иностранных фирм-производителей, то в данном разделе приводятся экономические аспекты реализации НДТ при производстве цемента в странах ЕС [9].

6.2.1 Выбор способа производства

Процесс перевода завода с мокрого на сухой способ высоко затратный, требует почти 100 млн евро.

6.2.2 Рекуперация энергии из печи и холодильника / дополнительная генерация энергии

При производстве цемента избыток тепла из холодильника или печи можно рекуперировать, используя процесс органического цикла Ранкина, или прямым нагреванием газа.

Стоимость крупной теплоэлектростанции полного цикла в среднем находится в пределах 0,8–1,2 млн евро на 1 МВт генерируемой мощности.

6.2.3 Оптимизация контроля технологического процесса

Стоимость оптимизации контроля технологического процесса колеблется в широких пределах, до 5 млн евро.

Требуются инвестиции до 300 000 евро для автоматизации процесса обжига, основанной на контроле выбросов NO_x с применением компьютерной системы, а также требуются дополнительные инвестиции для установки на заводе измерительной и дозирующей техники.

Первоначально оптимизация работы печи дает снижение операционных расходов, увеличение производительности и повышение качества продукции. Обычно операционные расходы по эксплуатации печи снижаются в сравнении с аналогичными затратами без оптимизации. В результате снижения потребления топлива и футеровки снижается стоимость установки, повышается ее производительность и улучшаются другие показатели.

6.2.4 Использование отходов в качестве топлива

Поскольку в себестоимости продукции стоимость используемой энергии составляет 30 % — 40 %, то применение отходов в качестве альтернативного топлива приводит к существенному снижению производственных расходов.

Отходы топлива могут быть менее дорогими, чем обычное топливо, хотя стоимость будет меняться в зависимости от типа отходов и местных условий. Однако топливные отходы часто проходят предварительную обработку, гомогенизацию до их использования на цементных заводах, что приводит к их удорожанию. К тому же дополнительный контроль и анализы отходов также повышают их стоимость.

6.2.5 Снижение выбросов пыли

На цементном заводе имеются различные источники организованных выбросов пыли (печи, клинкерные холодильники и мельницы для помола сырьевых материалов, цемента и угля, а также вспомогательные процессы). Основная часть выбросов пыли (с размером частиц менее 10 и 2,5 мкм) может быть снижена за счет уменьшения общей величины пылевыделения, достигаемой путем использования эффективной системы пылеулавливания. Для этого используют электрофильтры, рукавные и гибридные фильтры (см. раздел 5).

Обзор технических решений для контроля выбросов пыли в цементном производстве приведен в таблице 6.2, а данные по стоимости технических решений для снижения выбросов пыли — в таблице 6.3.

Таблица 6.2 — Обзор технических решений для контроля выбросов пыли в цементном производстве по [9]

Технические решения	Применимость	Данные выбросов	Стоимость [3]	Технические решения	
		мг/нм^3 [1]	кг/т [2]	Инвестиции	Затраты на эксплуатацию
				млн евро	евро/т клинкера
Электрофильтры	все печные системы	10 — < 20	0,02–0,05	2,1–6,0	0,1–0,2

Технические решения	Применимость	Данные выбросов	Стоимость [3]	Технические решения	
		мг/нм^3 [1]	кг/т [2]	Инвестиции	Затраты на эксплуатацию
				млн евро	евро/т клинкера
	клинкерные холодильники	10 — < 20	0,02–0,05	0,8–1,2	0,09–0,18
	цементные мельницы	< 10	0,02	0,8–1,2	0,09–0,18
Рукавные фильтры	все печные системы	< 10	0,02	2,1.6,0 4)	0,15.0,35
	клинкерные холодильники	< 10	0,02	1,0.1,4 4)	0,1.0,15
	Мельницы (сырьевые, цементные, угольные)	< 10	0,02	0,3–0,5 [4]	0,03–0,04
Гибридные фильтры	все печные системы, клинкерные холодильники, цементные мельницы	< 10–20	0,02–0,05		
Снижение диффузной пыли	все заводы	—	—	—	—

[1] Для обычной печной системы, сухой газ, 273 K, 101,3 кПа и 10 % O_2.

[2] Кг/т клинкера: для потока газов 2300 м^3/т клинкера.

[3] Стоимость для снижения выбросов до 10–30 мг/нм^3, печь производительностью 3000 т/сутки клинкера и начальные выбросы 500 г пыли/нм^3.

[4] Зависит от материала фильтра, эффективность обеспыливания выше 99,9 %.

Гибридные фильтры в основном являются результатом модернизации существующих электрофильтров и представляют собой объединение электрофильтров с

рукавными фильтрами в одно и то же устройство. Они позволяют повторно использовать часть старого оборудования.

Таблица 6.3 — Данные по стоимости технических решений для снижения выбросов пыли по [9]

Инвестиции и стоимости технических решений по снижению выбросов пыли					
Параметры	Размерность	Технические решения			
		Электро-фильтры	Рукавные фильтры	Электро-фильтры	Рукавные фильтры
Описание установки		I [0]	II	I [0]	II
Производительность	т клинкера в сутки	1100	3000	1100	3000
Долговечность	год	35		35	
Рабочее время	ч/год	7680		7680	
Инвестиционная стоимость	тыс. евро	1500	2100–4600 [8] 4500–6000 [9]	1750	2100–6800 [10] 4000–8000 [11]
Годовые капитальные затраты	тыс. евро				
Прибыль	%/100/год	4		4	
Время жизни контрольного оборудования	год	10		10	
Общее	тыс. евро	184,94		215,76	
Общее	тыс. евро/т клинкера	5,25E-04		6,13E-04	
Фиксированные эксплуатационные расходы	%/год [2]	4		4	
Общее	тыс. евро	60		70	
Общее	тыс. евро/т клинкера [3]	1,70E-04		1,99E-04	
Изменения эксплуатационных расходов	тыс. евро/т клинкера	3,15E-04		3,77E-04	

Инвестиции и стоимости технических решений по снижению выбросов пыли					
Параметры	Размерность	Технические решения			
		Электро-фильтры	Рукавные фильтры	Электро-фильтры	Рукавные фильтры
Описание установки		I (0)	II	I (0)	II
Расходы на тонну клинкера	тыс. евро/т клинкера	1,01E-03		1,19E-03	
Стоимость на тонну сниженных загрязнителей	тыс. евро/т				
Фактор, не снижающий выбросы 1)	т/т клинкера	0,13 56,520 мг/нм^3		0,13 56,520 мг/нм^3	
Фактор, снижающий выбросы 1)	т/т клинкера	0,000046 20 мг/нм^3		0,000046 20 мг/нм^3	
Общее	тыс. евро/т	0,008		0,009	
Общие эксплуатационные расходы	евро/т клинкера		0,1–0,3		0,1 —0,35
Определение изменения эксплуатационных расходов					
Стоимость электричества 4)					
Дополнительная потребность эл.энергии (λ^e) 5)	кВт·час/т клинкера	4,15 190 кВт		5,24 240 кВт	
Цена эл.энергии (c^e)	евро/кВт·час	0,0569		0,0569	
Общая	тыс. евро/т клинкера	2,36E-04		2,98E-04	
Трудовые затраты 6)					
Трудозатраты (λ^1)	чел-год/т клинкера	2,13E-06		2,13E-06	

Инвестиции и стоимости технических решений по снижению выбросов пыли					
Параметры	Размерность	Технические решения			
		Электро-фильтры	Рукавные фильтры	Электро-фильтры	Рукавные фильтры
Описание установки		I [0]	II	I [0]	II
Зарплата	тыс. евро/чел-год	37,234		37,234	
Общее	тыс. евро/т клинкера	7,93E-05		7,93E-05	
Стоимость размещения пыли[7]					
Общая	тыс.евро/т клинкера	0		0	
Общие изменения эксплуатационных расходов	тыс.евро/т клинкера[7]	3,15E-04		3,66–04	

[0] Данные 2000 г., цементный завод с производительностью 1100 т/сут в странах ЕС в 1995 году.

[1] 10 % O_2.

[2] Капиталовложения.

[3] Распределение: 50 % электрофильтра и 50 % рукавного фильтра; использование среднего между электрофильтром и рукавным фильтром.

[4] Стоимость электричества = $\lambda^e \cdot c^e / 10^3$ (тыс. евро/т).

[5] Дополнительная потребность в эл.энергии= новое общее потребление — старое общее потребление.

[6] Стоимость труда = $\lambda^1 \cdot c^1$ (тыс. евро/т).

[7] Стоимость размещения пыли клинкера = $\lambda^d \cdot c^d \cdot ef_{неуменьшенной} \cdot \acute{\eta}/10^3$ (тыс.евро/т).

[8] Данные 2000 г., включают величину капиталовложений для башни кондиционирования воздуха после фильтровального вентилятора (0.6–0.8 млн евро).

[9] Данные 2006 г.

[10] включает капиталовложения для башни кондиционирования и вентилятора фильтра (0.6–0.8 млн.евро).

[11] Для эффективности разделения > 99.9 %, зависящей от типа и числа используемых фильтровальных мешков.

6.2.6 Снижение выбросов NO_x

Для снижения или контроля выбросов NO_x считается пригодным использование как первичных мер, интегрированных в технологический процесс, так и специальных технологий или их сочетание с первичными мерами (см. раздел 5).

В таблице 6.4 приведен обзор технических решений, оказывающих положительное влияние (но, необязательно, совокупное) на снижение выбросов NO_x, возникающих при производстве цемента, а в таблице 6.5 — стоимость данных технических решений.

Таблица 6.4 — Технические решения для снижения NO_x, применяемые в производстве цемента по [9]

Техническое решение	Применимость для типов печей	Эффективность снижения выбросов (%)	Данные по выбросам		Данные по стоимости	
			мг/нм^3 1)	кг/т 2)	Инвестиции, млн евро	Эксплуатационные расходы, евро/т клинкера
Охлаждение пламени 5)	Все	0–35	Первичное снижение до < 500 …1000 9)	1,15–2,3	До 0,2	До 0,5
Горелки с низким выделением NO_x 3)	Все	0–35	500–1000	1,15–2,3	До 0,45	0,07
Первичные технические решения 4)	Все	25	Снижается с 1400 до 1050	2,4	0,25	0,056
Сжигание топлива в середине печи	Длинные	20–40	Нет информации	—	0,8–1,7	Нет информации
Использование минерализаторов	Все	10–15	Нет информации	—	Нет информации	Нет информации
Постадийное сжигание топлива	Декарбонизатор	10–50	800 9)–1000	1,84–203	0,1–2	Нет информации
	Теплообменник				1–4	

Техническое решение	Применимость для типов печей	Эффективность снижения выбросов (%)	Данные по выбросам		Данные по стоимости	
			мг/нм^3 [1]	кг/т [2]	Инвестиции, млн евро	Эксплуатационные расходы, евро/т клинкера
SNCR [4] [5] [6] [12]	Теплообменник декарбонизатор	30–90 [10]	200 [10], [11]–500 [14]	0,4–1,15	0,5–1,2	0,1–1,7
	Колосниковый теплообменник	35	580 [5], [6]	1,15	0,5	0,84
SCR [7]	Возможно все, теплообменник и декарбонизатор	43 [13]–95	200 [8]–< 500	0,23–1,15	2,2–4,5	0,33–3,0

[1] Среднесуточное значение, сухой газ, 273 K, 101.3 кПа и 10 % O_2

[2] кг/т клинкера: на основе 2300 м^3/т клинкера

[3] Производительность печи 3000 т клинкера в сутки и начальные выбросы NO_x до 2000 мг/нм^3

[4] Оценка выполнена экспертной группой для печи производительностью 1100 т/с в 2000 г.

[5] Эксперименты во Франции совместно с министерством по охране окружающей среды, министерством энергетики и ассоциацией производителей цемента в 2000 году (выпуск 2003 г.)

[6] Сотрудничество ЦЕМБЮРО по снижению NO_x, 2006 г.

[7] Германия и Италия, данные по стоимости основаны на использовании печи выбросов1500 м^3/т клинкера

[8] Результаты пилотных испытаний из Германии, Италии и Швеции и результаты испытаний 2007 год (200 мг/нм^3) итальянского цементного завода, использующего технологию SCR; в 1997 году два поставщика в Европе предложили полномасштабную технологию SCR для цементной промышленности с гарантией выбросов оксидов азота на уровне 100–200 мг/нм^3

[9] Результаты испытаний Французского цементного завода, печь с декарбонизатором, начальное содержание NO_x 1000мг/нм^3

[10] Шведские цементные заводы, среднегодовая величина начальных выбросов NO_x 800–1000 мг/нм^3, следы аммиака 5–20 мг/нм^3, высокоэффективная технология SNCR, следы аммиака учитываются

[11] Германия: среднегодовая величина 200–350 мг/нм^3, следы аммиака учитываются

[12] Низкий диапазон выбросов NO_x может быть результатом повышенного выброса NH_3, зависящего от уровня NO_x

[13] Результаты пилотного испытания и длительной работы демонстрационного завода

[14] В объединении с процессом интегрированных технических решений; уровень начального NO_x 1200 мг/нм^3; Руководство Французской цементной промышленности по техническим решениям снижения выбросов NO_x, Франция /министерство энергетики/MEDD

Таблица 6.5 — Стоимость технических решений снижения выбросов NO_x [по 9]

Параметры	Единица измерения	Применяемые методы				
		Первичные технические решения [0)]	Охлаждение пламени [8)]	Постадийное сжигание [7)]	Технология SNCR [9)]	Технология SCR
Описание установки						
Производительность	т/сут клинкера	1100	3000	3000	1100	1500 [7)]
Производительность	т/год клинкера	352000			35	
Длительность работы	год	35			35	
Время работы в год	ч/год	7680			7680	
Инвестиционная стоимость	млн евро	0,25	до 0,2	0,1–2 [8)] 1–4 [9)] 15–20 [10)]	0,6	
Удельная инвестиционная стоимость	евро/т клинкера				0,08–0,14 [7)]	0,83–0,87 [7)]
Ежегодные капитальные вложения	тыс.евро					
Прибыль	%/100/год	4			4	
Длительность работы оборудования контроля	год	8			10	
Всего	тыс.евро	37,13			166,97	

Параметры	Единица измерения	Применяемые методы				
		Первичные технические решения [0)]	Охлаждение пламени [8)]	Постадийное сжигание [7)]	Технология SNCR [9)]	Технология SCR
Всего	тыс.евро/т клинкера	1,05E-04	до 2,5E-04		4,74E-04	
Фиксированные эксплуатационные расходы	%/год [2)]	4			4	
Всего	тыс.евро	10			24	
Всего	тыс.евро/т клинкера	2,84E-05			6,82E-05	
Переменные эксплуатационные расходы	тыс.евро/т клинкера	2,64E-05			5,69E-04	
Стоимость на тонну клинкера	тыс.евро/т клинкера	1,60E-04			1,11E-03	
Стоимость на тонну сниженного NO_x [3)]	тыс.евро на тонну сниж.NO_x				330–450 [7)]	470–540 [7)]
Фактор несниженных выбросов [1)]	тонн NO_x на тонну клинкера	0,00322 1400 мг/нм^3			0,002415 1050 мг/нм^3	
Эффективность снижения [1)]	%	25			62	
Всего	тыс.евро/т сниж.NO_x	0,2			0,74	

Параметры	Единица измерения	Применяемые методы				
		Первичные технические решения [0)]	Охлаждение пламени [8)]	Постадийное сжигание [7)]	Технология SNCR [9)]	Технология SCR
Стоимость замены катализатора	Евро на тонну клинкера					0,10–0,13 [7)]
Определение изменения эксплуатац. расходов						
Стоимость эл.энергии [3)]						
Дополнительная потребность в эл.энергии (λ^e) [4)]	кВт·ч на тонну клинкера	0,44 20 кВт			0,13 5,96 кВт	
Стоимость эл. энергии (c^e)	евро/кВт·ч	0,0569			0,0569	
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	2,48E-05			7,40E-06 0,03–0,06 [7)]	0,10–0,11 [7)]
Стоимость Аммиака [6)]						
Хранение аммиачной воды	млн.евро					
Эффект неснижения	тонна загрязнителей на тонну клинк.	—			0,002415	

Параметры	Единица измерения	Применяемые методы				
		Первичные технические решения [0)]	Охлаждение пламени [8)]	Постадийное сжигание [7)]	Технология SNCR [9)]	Технология SCR
Мольное отношение NH_3/NO_x		—			1,5	
Удельная потребность NH_3 (λ^s)	т/т удаленного загрязнителя	—			0,89	
Цена NH_3	евро /т	—			0,26–0,64 [7)] 400	0,13–0,26 [7)]
Эффективность удаления	%	—			62	
Всего	тыс.евро на тонну клин.	—			5,36E-04	
Стоимость труда [5)]						
Трудовые потребности ($\lambda^{1)}$)	чел-год/т клинкера	7,10E-07			7,10E-07	
Зарплата	тыс.евро/ чел-год	37,234			37,234	
Всего	тыс.евро/т клинкера	2,64E-05			2,64E -05	
Всего переменных эксплуатац. расходов	тыс.евро/т	2,48E-05			5,69E-04 0,30–0,70 [7)]	0,33–0,70 [7)]

Параметры	Единица измерения	Применяемые методы				
		Первичные технические решения [0)]	Охлаждение пламени [8)]	Постадийное сжигание [7)]	Технология SNCR [9)]	Технология SCR
Общая стоимость (инвестиции и эксплуатационные расходы)	евро/т клинкера				0,38–0,62 [7)] 0,85 [11)]	0,83–0,87 [7)] 2,3 [11)]

[0)] Данные 2000 г., завод производительностью 1100 т/сут — средний в странах ЕС.

[1)] 10 % O_2.

[2)] Капитальные вложения.

[3)] Стоимость эл.энергии $\lambda^e \cdot c^e$ (тыс.евро/т).

[4)] Дополнительные поребности в эл.энергии = новое общее потребление — старое общее потребление.

[5)] Трудовые затраты = $\lambda^1 \cdot c^1$ (тыс.евро /т).

[6)] Стоимость аммиака: $\lambda^d \cdot c^d \cdot$ ‘эф$_{несниж}$ · η/ 10^3 (тыс.евро /т).

Эф$_{несниженн}$: фактор неснижения выбросов загрязнителей (тонна загрязнителей /т).

λ^d: удельная потребность аммиака (т/т возвращенного аммиака) c^d: удельная стоимость стоимость размещения пыли.

η: Эффективность возврата = (1- эф$_{размещенного}$ / эф$_{неразмещенного}$.

[7)] Германия, зависит от уровня снижения NO_x до 500 или 200 мг/нм^3.

[8)] Печь с декарбонизатором.

[9)] Декарбонизатор и третичная пыль для печи производительностью 3000 т/сут с подогревателем, и колосниковым холодильником при переводе в печь с декарбонизатором.

[10)] Перевод печи с подогревателем и рекуператорным холодильником в печь с декарбонизатором и колосниковым холодильником.

[11)] Австрия.

6.2.7 Снижение выбросов SO_2

НДТ для снижения выбросов SO_2 являются использование адборбента и мокрого скруббера (см. раздел 5).

Затраты по реализации указанных технологий приведены в таблицах 6.6–6.7.

Таблица 6.6 — Обзор технологий контроля и снижения SO_2 по [9]

Технические решения	Применяемые печи	Эффективность снижения	Выбросы		Стоимость	
			мг/нм^3 [1]	кг/т [2]	Инвестиции (млн евро)	Эксплуатация (евро/т)
Добавка адсорбента	Все	60 % — 80 %	< 200–400 [3]	0,23–0,92	0,2–0,3	0,1–0,4
Мокрый скруббер	Все	> 90 %	10–300 [4]	0,02–0,69	5,8–23 [5]	0,5–2 [5]

[1] Среднесуточная величина, сухой газ, 273 K, 101,3 кПа, 10 % O_2.

[2] Кг/т клинкера: на основе 2300 м^3/т клинкера.

[4] Конечное значение выбросов зависит от начального содержания SO_2 перед установкой мокрого скруббера и может быть выше.

[3] Для начального уровня SO_2 1200 мг/нм^3.

[5] Стоимость включает также процесс SNCR, печь производительностью 2000 т клинкера в сутки и начальные выбросы SO_2 50–600 мг/ нм^3 данные стоимости 2007 года.

Таблица 6.7 — Примеры стоимости технических решений снижения выбросов SO_x [по 9]

Инвестиции и стоимость технических решений снижения выбросов SO_x			
Показатели установки	Единицы измерения	Технические решения	
		Инжекция абсорбента	Мокрый скруббер
Производительность	т/сут клинкера	1100	1100
Производительность	т/год клинкера	35200	35200
Отходящие газы[1]	нм^3/час		105417
Долговечность	год	35	35
Заводской фактор	час/год	7680	7680
Инвестиционная стоимость	тыс.евро	200	5500
Годовые капитальные вложения	тыс.евро		
Уровень прибыли	%/год	4	4
Жизнеспособность оборудования контроля	год	10	10
Всего	тыс.евро	24,66	678,10

Инвестиции и стоимость технических решений снижения выбросов SO_x			
Показатели установки	Единицы измерения	Технические решения	
		Инжекция абсорбента	Мокрый скруббер
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	7,01E-05	1,93E-04
Фиксируемые эксплуатационные расходы	%/год[2)]	4	4
Всего	тыс.евро	8	220
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	2,27E-05	6,26E-04
Изменение эксплуатационных расходов	тыс.евро на тонну клинкера	6,98E-04	6,06E-04
Затраты на тонну клинкера	тыс.евро/т клинкера	7,91E-04	3,16E-03
Затраты на тонну сниженного SO_x	тыс.евро /т сниж. SO_x		
Фактор неснижения SO_x	тонна SO_x на тонну клинкера	0,0023 1000 мг/нм^3	0,00368 1600 мг/нм^3
Эффективность снижения	%	60	75
Всего	тыс.евро/т сниж. SO_x	0,573	1,144
Определение переменных эксплуатационных расходов			
Стоимость эл.энергии [3)]			
Дополнительная потребность в эл.энергии (λ^c) [4)]	кВт·ч /т клинкера	1,53 70 кВт	8,18 375 кВт
Стоимость эл.энергии	евро/кВт·ч	0,0569	0,0569
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	8,69E-05	4,66E-04

Инвестиции и стоимость технических решений снижения выбросов SO_x			
Показатели установки	Единицы измерения	Технические решения	
		Инжекция абсорбента	Мокрый скруббер
Стоимость размещения отходов			
Фактор неснижения выбросов загрязняющиего в-ва ($Эф_{неснижения}$) [6)]	т загрязнителя на тонну клинкера	0,0023	-
Потребность в размещении отходов	т/т вовращенного загрязнителя	0	-
Удельная стоимость размещения отходов (c^s)	евро /т		-
Эффективность удаления (η)	%	60	-
Всего	тыс.евро/т клинкера	0	0
Стоимость извести/известняка			
Фактор неснижения выбросов загрязнителей [6)]	тонна загрязнителя на тонну клинкера	0,0023	0,00368
	Ca/S мольное отношение для выделений SO_x	2,2	
	Ca/S мольное отношение для удален. SO_x		1,02
Удельный расход сорбента (λ^s)	т извести/т удаленного загрязнителя	4,24	-
Удельный расход известняка (λ^s)	т известняка/т удаленного загрязнителя		1,59
Стоимость сорбента (c^s)	евро/т	100	20
Эффективность удаления	%	60	75

Инвестиции и стоимость технических решений снижения выбросов SO_x			
Показатели установки	Единицы измерения	Технические решения	
		Инжекция абсорбента	Мокрый скруббер
Всего	тыс.евро на тонну клинкера	5,85E-05	8,80E-05
Стоимость трудозатрат [5]			
Потребность в трудозатратах (λ^1)	чел-год/т клинкера	7,10E-07	1,42E-06
Зарплата (c^1)	тыс.евро/чел-год	37,234	37,234
Всего	тыс.евро /т клинкера	2,64E-05	5,29E-05
Всего переменных эксплуатац. расходов	тыс.евро /т клинкера	6,98E-04	6,06E-04

[1] 10 % O_2.

[2] Капиталовложения.

[3] Стоимость электроэнергии = $\lambda^e \cdot c^e/10^3$ (тыс.евро/т).

[4] Допонительная потребность электроэнергии — новое общее птребление — старое общее потребление.

[5] Стоимость трудозатрат = $\lambda^1 \cdot c^1$ (тыс.евро/т).

[6] Стоимость извести $\lambda^s \cdot c^s \cdot эф_{несниженния} \cdot \eta/10^3$ (тыс.евро/т) $эф_{несниженния}$: фактор неснижения выбросов загрязнителей.

λ^s: удельная потребность извести (т загрязнителя/т) c^s: стоимость извести (евро/т).

η: эффективность возврата (= 1 − $эф_{возвращенного}$ / $эф_{невозвращенного}$).

6.2.8 Внедрение систем менеджмента

Затраты на внедрение системы экологического менеджмента зависят о многих факторов, в том числе, от наличия работоспособной системы менеджмента качества, от уровня подготовки персонала, от размера предприятия (количества сотрудников), от решения руководства о привлечении консультационных компаний или о внедрении системы экологического менеджмента собственными силами. По некоторым оценкам, для крупных организаций затраты на полномасштабное внедрение СЭМ в России могут достигать 1–1,5 млн руб. (не включая трудозатраты персонала). При этом следует подчеркнуть, что разработка и применение основных методов СЭМ, как правило, не требуют привлечения сторонних консультантов, но позволяют получить многие преимущества в сфере управления приоритетными экологическими аспектами.

Затраты на полномасштабное внедрение системы качества [64] и системы энергетического менеджмента близки к таковым, характерным для систем экологического менеджмента, и для крупных предприятий могут достигать 1–1,5 млн рублей.

Раздел 7. Перспективные технологии при производстве цемента

В данном разделе представлены перспективные технологии производства цемента, как в целом, так и по отдельным технологическим переделам, реализация которых могла бы привести к снижению ущерба, наносимого окружающей среде при производстве цемента.

7.1 Технология получения высокоактивного смешанного двухклинкерного портландцемента

Технология получения высокоактивного смешанного двухклинкерного цемента основана на тонком измельчении смешанных в определенном соотношении клинкеров с высоким и низким коэффициентами насыщения [66].

Прочностные свойства смешанного двухклинкерного цемента (СДКЦ) на основе клинкера с КН = 0,91 с добавками клинкера с КН = 0,76 представлены на рисунке 7.1.

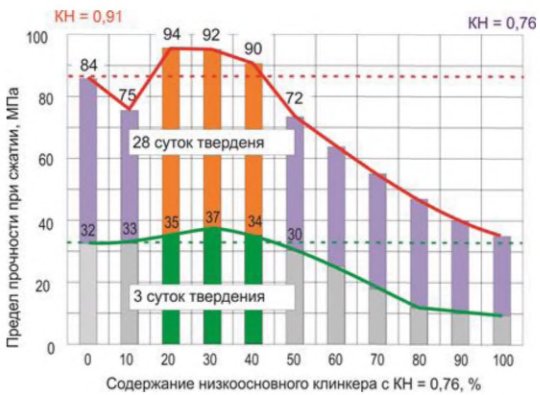


Рисунок 7.1 — Прочность при сжатии смешанного двухклинкерного цемента

СДКЦ можно получать:

- путем смешивания клинкеров с КН=0,91 и КН=0,76; требует раздельного приготовления шлама с различными характеристиками;

- вводом в рядовой сырьевой шлам 30 % шлака с последующим обжигом такого шлама в одной из печей.

Вариант получения СДКЦ с применением шлака на одном составе шлама представлен на рисунке 7.2.

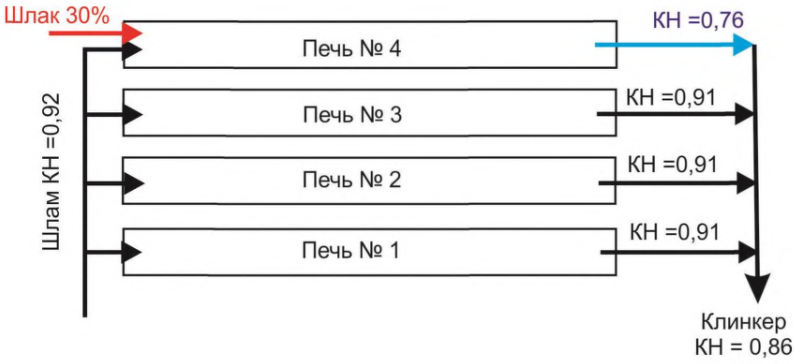


Рисунок 7.2 — Схема получения СДКЦ на одном составе шлама

По данной схеме была выпущена опытная партия цемента на АО « Уралцемент», которая доказала эффективность применения такого способа.

Экологический эффект от применения данной технологии заключается в снижении энергозатрат при обжиге низкоосновного клинкера, снижении выбросов CO_2.

7.2 Технология применения метода химической регенерации тепла при производстве цемента

Сущность химической регенерации тепла (ХРТ) клинкера, выходящего из печи, заключается в использовании его теплосодержания для предварительной эндотермической переработки исходного топлива, которое при этом получает повышенное количество химически аккумулированной теплоты, а также физически подогревается [67].

На рисунке 7.3 представлена принципиальная схема применения метода ХРТ для утилизации теплоты клинкера, выходящего из вращающейся печи сухого способа производства.

Сырье для производства цементного клинкера последовательно проходит термообработку в теплообменнике (ТО), декарбонизаторе (Д) и далее обжигается во вращающейся печи (П). Обожженный продукт — клинкер выходит из вращающейся печи с

температурой 1300 °С — 1400 °С и поступает на первую стадию охлаждения в реактор-холодильник (РХ), в который также подается природный газ и окислитель (водяной пар, углекислый газ или их смесь из отходящих печных газов). Синтезированное топливо с температурой порядка 1000 °С поступает в форсунки (Ф) печи и декарбонизатора, в эти же форсунки вентиляторами (В) подается необходимое для сгорания топлива количество воздуха. Циклон (Ц) предназначен для отделения воздуха от клинкерной пыли. Питатель (Пт), устанавливаемый за РХ, служит для поддержания заданного слоя клинкера и исключения подсосов воздуха в РХ. Охлажденный до заданной температуры клинкер поступает из РХ в питатель и далее в традиционный холодильник (Х), где производится окончательное охлаждение.

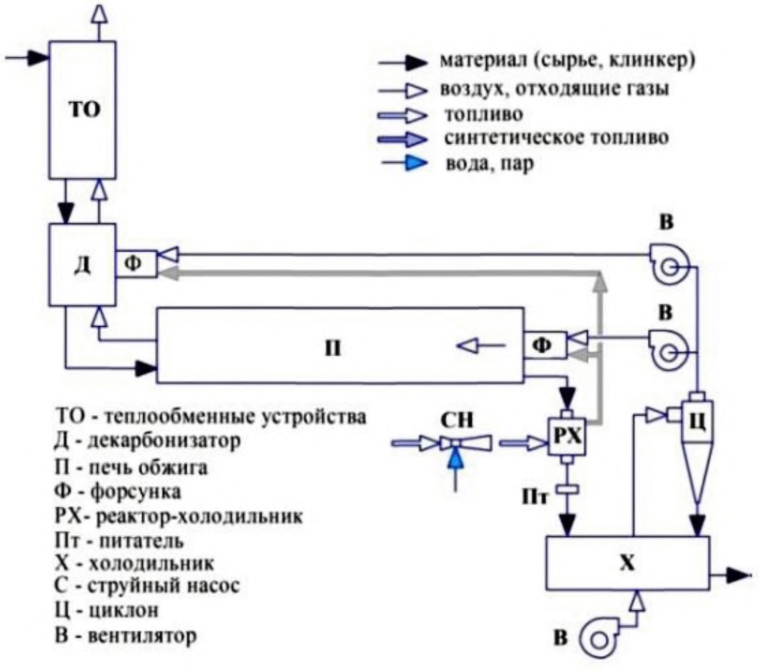


Рисунок 7.3 — Схема реализации метода химической регенерации теплоты клинкера

Ввиду особенностей подачи топлива и воздуха на горение, применение метода ХРТ предполагает проведение изменений выходной части печи и шахты холодильника (см. рисунок 7.4). Горячий конец печи 1, выполнен с максимально уменьшенным диаметром, а шахту холодильника заменяют на разгрузочную течку. Весь воздух для сжи-

гания топлива подают через форсунку 2. В связи с этим зона охлаждения в печи практически отсутствует, и охлаждение клинкера начинается в реакторе-холодильнике (РХ) 3.

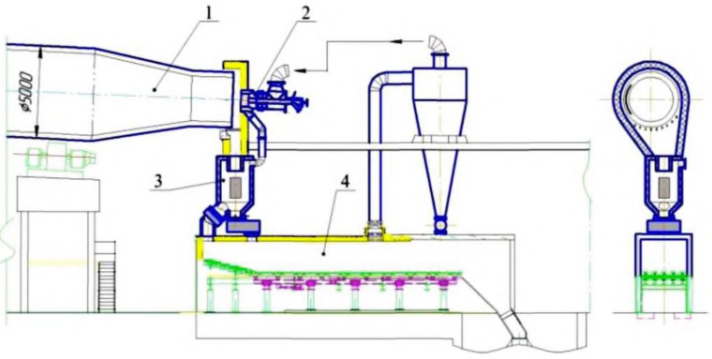


Рисунок 7.4 — Схема технической реализации метода ХРТ

Применение технологии ХРТ обеспечивает снижение расхода натурального топлива, решает проблему снижения выбросов трехатомных газов в атмосферу (в частности, CO_2) и повышает эффективность горения топлива.

7.3 Технология эффективной утилизации тепла и очистки отходящих газов при мокром способе производства цемента

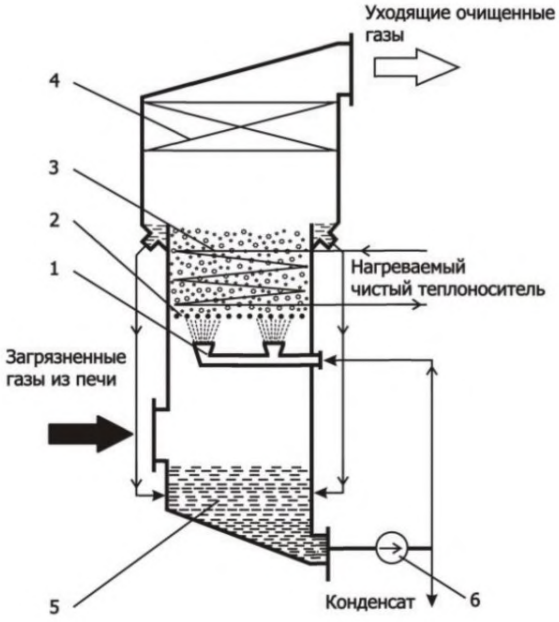
Предлагается использование специального скруббера для обеспыливания газов, выходящих из вращающейся печи (см. рисунок 7.5) [68] и [69].

Использование данного аппарата наиболее эффективно для очистки отходящих из печи газов по мокрому способу производства в связи с их высоким влагосодержанием. При этом достигается эффективная утилизация теплоты, включая скрытую теплоту парообразования, а так как твердые частицы становятся центрами конденсации водяных паров, то эффективность пылеулавливания в данном аппарате достигает 99,99 %, что подтверждено промышленными испытаниями.

Теплоту отходящих газов можно применять для нагрева чистой воды, применяемой в качестве теплоносителя для обогрева производственных и жилых помещений. При замене воды на легкокипящий теплоноситель (пентан) возможна генерация дополнительного количества электроэнергии в турбинах.

Образующаяся в аппарате суспензия направляется на приготовление шлама, что обеспечивает экономию водных ресурсов, топлива и предотвращение замерзания шлама в зимнее время.

Экологический эффект от использования предлагаемой технологии заключается в снижении энергозатрат на обжиг клинкера и в снижении выбросов пыли из печи.



1 — распылительные форсунки; 2 — опорно-распределительная решетка; 3 — трубный пучок; 4 — каплеуловитель; 5 — бак сбора конденсата; 6 — насос

Рисунок 7.5 — Принципиальная схема скруббера энерготехнологической обработки газов

7.4 Технология использования отвальных электрометаллургических шлаков для производства цемента

Предлагается производить послойную шихтовку в отвальной яме расплавленного шлака и мела с получением коэффициента насыщения смеси, близкого к КН рядового сырьевого шлама [70].

Данный способ применения шлака обеспечивает частичную декарбонизацию мела, снижение расхода тепла на обжиг клинкера и исключает приготовление дополнительного шлама с высоким КН. В дальнейшем полученную шлако-мело-известковую смесь предполагается подавать совместно с рядовым сырьевым шламом с холодного конца печи для получения цементного клинкера.

Для реализации данного способа предлагается технологическая схема, представленная на рисунке 7.6, по которой приготовление шлако-меловой шихты с использованием теплоты расплавленного шлака будет обеспечиваться еще на шлакоотвалах. Для этого расплавленный шлак необходимо выливать на подстилающий слой предварительно измельченного мела с естественной влажностью. Это обеспечит необходимый химический состав шихты, сушку и частичную декарбонизацию мела при охлаждении шлака. Полученная шихта в дальнейшем будет подвергаться удалению железа на магнитном барабане, фракционированию на вращающемся грохоте и усреднению в смесителе, а затем транспортироваться на цементный завод.

Перед подачей в печь шлако-мело-известковый компонент будет смешиваться со шламом в пропеллерном смесителе-измельчителе.

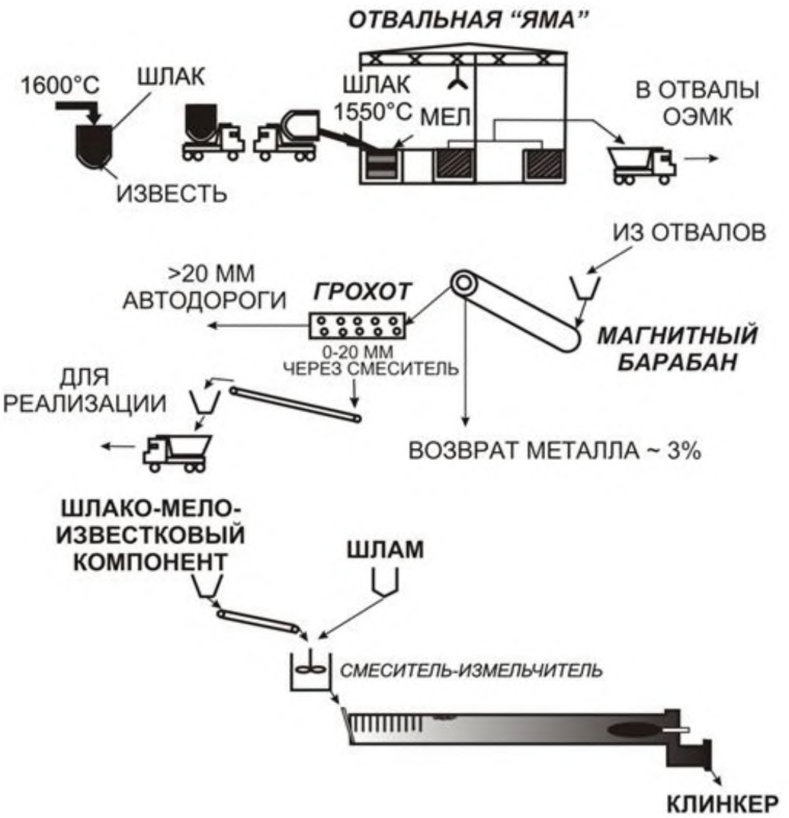


Рисунок 7.6 — Предлагаемая технологическая схема применения шлака

Альтернативные варианты совместного применения шлака, извести и рядового сырьевого шлама для получения высококачественного клинкера:

- предварительно измельченную в валковой дробилке известь подавать с холодного конца печи совместно со шлаком и шламом (см. рисунок 7.7):

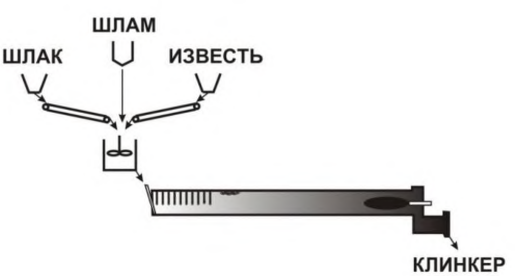


Рисунок 7.7 — Подача шлака, извести и шлама с холодного конца печи

- предварительно измельченную в валковой дробилке известь подавать совместно с пылью электрофильтров за цепную завесу (см. рисунок 7.8):

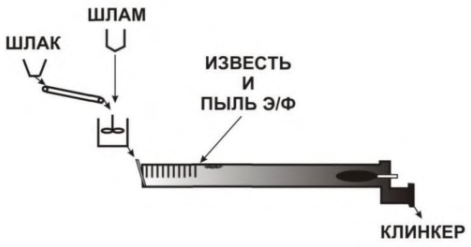


Рисунок 7.8 — Подача извести за цепную завесу,
а шлака и шлама — с холодного конца печи

- предварительно измельченную в валковой дробилке известь подавать совместно со шлаком за цепную завесу (см. рисунок 7.9):

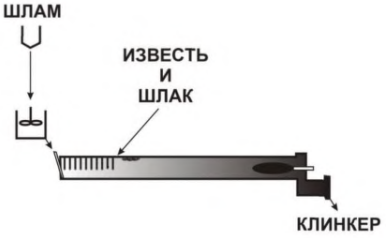


Рисунок 7.9 — Подача извести и шлака за цепную завесу

При этом необходимо намертво обжигать известь (выше 1200 °С с выдержкой более 1 ч) и обеспечить среднюю степень спекания клинкера, не допуская «пережога» или «слабого» обжига.

Экологический эффект от применения данной технологии заключается в снижении энергозатрат на обжиг клинкера, снижении выбросов CO_2.

Заключительные положения и рекомендации

В целях разработки настоящего справочника НДТ приказом Росстандарта от 6 марта 2015 г. № 255 была сформирована Техническая рабочая группа (ТРГ 6) «Производство цемента», в состав которой вошли 23 участника — представители цементных заводов и холдингов, научных организаций и учебных вузов и экологи (19 органи-

заций). Общее руководство по разработке справочника осуществлял союз производителей цемента НО «Союзцемент», который определен в качестве головной организации по подготовке справочника «Производство цемента».

В процессе работы над справочником состав ТРГ 6 был актуализирован (приказ Росстандарта от 17 июня 2015 г. № 831). В состав ТРГ 6 согласно данному приказу вошли 24 участника — представители 17 организаций.

Состав ТРГ 6 «Производство цемента»:

№ п/п	ФИО	Организация
1.	Бесшапов Павел Евгеньевич	ЗАО «Управление отходами»
2.	Бутовский Руслан Валентинович	ФГБУ «ВНИИ Экология» Минприроды России
3.	Бушихин Валентин Владимирович	ООО «Институт Проектирования, Экологии и Гигиены»
4.	Володина Татьяна Анатольевна	ОАО «ХК «Сибцем»
5.	Гребенников Иван Сергеевич	Фонд инфраструктурных и образовательных программ
6.	Гузь Владимир Александрович	ООО «СМ-ПРО»
7.	Евдокимов Дмитрий Николаевич	ООО «ХайдельбергЦемент Рус»
8.	Жарко Владимир Иванович	ООО «СМ Про»
9.	Загоруйко Павел Николаевич	АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»
10.	Земляной Максим Александрович	Филиал «Геосайкл» ОАО «Холсим (Рус) СМ»
11.	Кизилов Сергей Николаевич	ФГУП «ВНИИ СМТ»
12.	Кнопмахер Евгений Маркович	ООО «Ачинский Цемент»
13.	Князев Михаил Александрович	ООО «СГК»
14.	Кожина Наталья Владимировна	АО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»
15.	Коротков Дмитрий Геннадиевич	ООО «СМ-ПРО»
16.	Львов Юрий Николаевич	ОАО «Лафарж Цемент»
17.	Павлова Мария Алексеевна	ОАО «ХК «Сибцем»
18.	Потапова Екатерина Николаевна	РХТУ им. Д.И. Менделеева
19.	Сапронов Дмитрий Всеволодович	НО «СОЮЗЦЕМЕНТ»
20.	Сивков Сергей Павлович	РХТУ им. Д.И. Менделеева

№ п/п	ФИО	Организация
21.	Тощев Дмитрий Анатольевич	ФГУП «ВНИИ СМТ»
22.	Хавкин Владимир Евгеньевич	ООО «Серебрянский цементный завод»
23.	Цымбалов Сергей Дмитриевич	ООО «БазэлЦемент»
24.	Шиловский Виталий Александрович	ООО «ЮУГПК»»

Для определения условий нормирования отечественных предприятий по производству цемента необходима оценка достигнутых отраслью показателей ресурсо- и энергоэффективности и экологической результативности. В целях сбора информации о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, была подготовлена «Анкета для предприятий, содержащая формы для сбора данных, необходимых для разработки проекта отраслевого справочника НДТ», которая была направлена в адреса всех предприятий по производству цемента. В качестве основы для формирования Анкеты был использован ПНСТ 23—2014 «Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий» [3].

В связи с тем, что обмен информацией был проведен в чрезвычайно сжатые сроки, и надежные данные по ряду показателей, относящихся к производству цемента в Российской Федерации получить не представилось возможным, при написании справочника НДТ были использованы также зарубежные материалы — Справочник Европейского союза по наилучшим доступным технологиям «Производство цемента, извести и оксида магния» [9], [10] и [65]., статистические сборники, результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные источники, а также информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в области производства цемента.

Несмотря на большое количество полученной информации и замечаний, следует отметить некоторые проблемы:

- имеется недостаток информации относительно частоты измерений в случае периодических измерений;

- за небольшим исключением имеется недостаток достоверной информации относительно системы контроля и способов измерения выбросов;

- данные по использованию на цементных предприятиях отходов в качестве сырьевых материалов и альтернативного топлива очень малочисленны, что не позволяют сделать количественные заключения; соответствующее заключение НДТ базируется на качественных предпосылках;

- в качестве перспективных технологий в цементной промышленности описывается технологии получения высокоактивного смешанного двухклинкерного портландцемента, применения метода химической регенерации тепла при производстве цемента, эффективной утилизации тепла и очистки отходящих газов при мокром способе производства цемента и технология использования отвальных электрометаллургических шлаков для производства цемента (см. раздел 7); однако техническая рабочая группа не владеет информацией, как и в каком направлении данные технологии будут в дальнейшем развиваться;

- к перспективным технологиям также целесообразно отнести передовые технологии, применяемые за рубежом, но до настоящего времени не внедренные в Российской Федерации.

Работа над каждым из разделов настоящего справочника проходила в несколько этапов:

1) Разработка первой редакции документа ответственным исполнителем/исполнителями (список исполнителей приведен ниже);

2) Рассмотрение первой редакции документа членами ТРГ 6;

3) Доработка ответственным исполнителем первой редакции документа в соответствии с поступившими от членов ТРГ 6 замечаниями/предложениями. Оформление окончательной редакции документа;

4) Голосование документа в окончательной редакции в рамках ТРГ 6;

5) Публичной обсуждение, экспертизы, в том числе в ТК 113 «НДТ»;

6) Доработка ответственным исполнителем окончательной редакции по результатам публичного обсуждения и различных экспертиз;

7) Утверждение справочника Росстандартом.

Все разделы справочника согласованы членами ТРГ 6 в соответствии с установленной процедурой. Протоколы голосования имеются в деле Справочника и хранятся в Бюро НДТ.

Исполнители разделов настоящего справочника:

Раздел	Исполнители
Введение	Потапова Е. Н.*
Предисловие	Потапова Е. Н.*
Область применения	Потапова Е. Н.*
Раздел 1 Общая информация о производстве цемента в Российской Федерации	Гузь В. А. *, Кабанов А. А.**, Высоцкий Е. В.**, Жарко В. И.*, Коротков Д. Г.*
Раздел 2 Основные технологические процессы, используемые в настоящее время при производстве цемента в Российской Федерации	Классен В. К.***, Новоселов А. Г.***, Гузь В. А.*, Жарко В. И.*, Коротков Д. Г.*, Потапова Е. Н.*
Раздел 3 Текущие уровни эмиссии в окружающую среду	Сивков С. П.*, Жарко В. И.*, Потапова Е. Н.*
Раздел 4 Наилучшие доступные технологии	Потапова Е. Н.*
Раздел 5 Наилучшие доступные технологии при производстве цемента	Сивков С. П.*, Потапова Е. Н.*, Классен В. К.***, Новоселов А. Г.***
Раздел 6 Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий при производстве цемента	Гузь В. А.,* Кабанов А. А.**, Высоцкий Е. В.**, Сивков С. П.*, Потапова Е. Н.*
Раздел 7 Перспективные технологии при производстве цемента	Сивков С. П.*, Классен В. К.***, Жарко В. И.*
Заключительные положения и рекомендации	Потапова Е. Н.*
Библиография	Потапова Е. Н.*, Высоцкий Е. В.**
* Член ТРГ 6. ** Эксперт ООО «СМ Про» (в состав ТРГ 6 не входит). *** Представитель БГТУ им. В. Г. Шухова, принял участие в разработке в качестве приглашенного эксперта (в состав ТРГ 6 не входит).	

НДТ развиваются благодаря изменениям в научных знаниях и понятиях, развитии технологии (и стоимости технологии) и методов эксплуатации, а также успешному

внедрению новых процессов по охране окружающей среды в промышленность. Как только разделы НТД изменяются со временем, настоящий справочник необходимо пересматривать и приводить в соответствие с современными требованиями. Поэтому предусмотрена актуализация справочника НДТ не реже чем 1 раз в 10 лет. Актуализация может осуществляться путем пересмотра Справочника в целом или внесением в него отдельных изменений.

Дальнейшая работа к последующему изданию должна продолжаться в следующих направлениях:

- сбор (накопление) данных, чтобы оценить состояние определенных технических решений на заводском уровне, особенно потенциальные НДТ;

- сбор информации, касающейся соотношения между типом процесса, используемыми отходами (тип, количество) и выбросами;

- сбор данных по стоимости (инвестиции, эксплуатационные расходы), относящихся ко всем техническим решениям, учитываемым при определении НДТ;

- сбор данных по стоимости и эффективности всех технических решений, снижающих выбросы;

- сбор информации и данных, касающихся минимизации потребления энергии или увеличения энергетической эффективности;

- сбор данных по расходам тепла и наилучших показателей для используемых типов печей;

- сбор информации по выбросам NH_3, SO_x, CO и др.;

- сбор информации, касающейся контроля и контроля частоты при периодических замерах, так, чтобы соответствующие органы были бы в состоянии проверить их при выдаче необходимых разрешений;

- сбор информации и данных, относящихся к критериям пригодности для производства цемента различных отходов;

- сбор информации, касающейся перспективных технологий производства цемента.

Общее заключение, которое можно сделать в результате подготовки данного справочника, состоит в том, что ведущие отечественные компании активно занимаются внедрением современных технологических процессов и оборудования, разрабатывают программы повышения энергоэффективности и экологической результативности производства цемента. Однако цели, задачи и ожидаемые результаты перехода к технолo-

гическому нормированию на основе НДТ руководители предприятий понимают и оценивают по-разному. Ожидания промышленников связаны с уменьшением административной нагрузки и упрощением системы государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды, опасения — с неопределенным порядком правоприменения и вероятностью установления недостижимых технологических нормативов.

Поэтому важным шагом вперед по пути достижения комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды в цементной промышленности должен стать позитивный обмен информацией.

Для продвижения идеи перехода к НДТ необходимо организовать масштабную информационно-просветительскую кампанию и систему подготовки (повышения квалификации, дополнительного профессионального образования) кадров. Обсуждение сути перемен призвано подготовить к ним предприятия и разъяснить основные мотивы и стимулы экологической модернизации отечественной экономики.

Приложение А
(обязательное)

Коды ОКВЭД и ОКПД, соответствующие области применения настоящего справочника НДТ

ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД**	ОКВЭД
		РАЗДЕЛ С. Обрабатывающие производства Производство прочей неметаллической минеральной продукции	23
23.5	Цемент, известь и гипс	Производство цемента, извести и гипса	23.5
23.51	Цемент	Производство цемента (производство цементного клинкера и гидравлических цементов, в том числе портландцемента, глиноземистого цемента, шлакового цемента и суперфосфатного цемента)	23.51
23.51.1	Цемент		
23.51.11	Клинкеры цементные		
23.51.11.000	Клинкеры цементные		
23.51.12	Портландцемент, цемент глиноземистый, цемент шлаковый и аналогичные гидравлические цементы***		
23.51.12.110	Цементы общестроительные		

ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД**	ОКВЭД
23.51.12.111	Портландцемент без минеральных добавок		
23.51.12.112	Портландцемент с минеральными добавками		
23.51.12.113	Шлакопортландцемент		
23.51.12.114	Портландцемент пуццолановый		
23.51.12.115	Цемент композиционный		
23.51.12.120	Портландцементы белые		
23.51.12.130	Портландцементы цветные		
23.51.12.140	Портландцементы тампонажные		
23.51.12.190	Цементы прочие, не включенные в другие группировки		

* ОК 034—2014 (КПЕС 2008) «Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности».

** ОК 029—2014 (КДЕС РЕД. 2) «Общероссийский классификатор видов экономической деятельности».

*** В область применения настоящего справочника НДТ не входит глиноземистый цемент (ОКПД 23.51.12.150).

Приложение Б

(обязательное)

Перечень маркерных веществ

Для атмосферного воздуха	Для водных объектов
Пыль	-
Оксиды азота NO_x	-
Диоксиды серы SO_2	-
Оксиды углерода CO	-

Приложение В
(обязательное)

Перечень НДТ

№	Наименование
1	Снижение удельных расходов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера и цемента
а	Замена природных сырьевых компонентов отходами производства
б	Снижение содержания доли клинкера в цементе до максимально допустимого уровня
2	Минимизация риска роста выбросов вредных веществ в окружающую среду при использовании отходов в качестве сырьевых материалов и (или) топлива для производства цемента
а	Тщательный анализ любых отходов, которые могут быть использованы как сырьевой материал и (или) топливо в цементной печи, применение системы обеспечения качества для каждого подаваемого в технологический процесс отхода
б	Контроль достаточного количества необходимых параметров для любых отходов, используемых как сырьевой материал и (или) топливо цементной печи, позволяющий оценить их качество (содержание хлора, фтора, серы, щелочей, летучих металлов)
3	Сокращение/минимизация удельных расходов тепла на обжиг клинкера
а	Использование сухого способа производства, оптимизация количества ступеней циклонного теплообменника в соответствии с характеристиками используемых сырьевых материалов
б	Применение печной системы оптимальной конфигурации и стабильного режима работы печного агрегата в соответствии с установленными параметрами путем: - оптимизации системы контроля, включая автоматический компьютерный контроль, и автоматизации управления технологическими процессами; использование современных систем гомогенизации, дозирования и подачи в печь материалов и топлива
в	Рекуперация избытка тепла из печной системы, особенно из клинкерного холодильника, использование рекуперированного тепла для сушки сырьевых материалов

г	Использование высококалорийного топлива с характеристиками, оказывающими положительный эффект на снижение удельного расхода тепла
д	Минимизация подсосов атмосферного воздуха в печную систему
е	Минимизация газового потока в систему байпаса
ж	Минимизация влажности сырьевого шлама путем замены части природных компонентов на техногенные материалы и применения разжижителей шлама
4	Снижение потребления тепловой энергии путем выработки дополнительного количества электроэнергии или тепла путем объединения заводов с теплоэлектростанциями или теплоцентралями на базе полезной рекуперации тепла, в пределах схем регулирования энергии, которые экономически устойчивы
5	Минимизация риска увеличения выбросов вредных веществ при использовании отходов в качестве альтернативного топлива
а	Использование соответствующих точек ввода альтернативного топлива в печь с целью обеспечения определенной температуры и времени пребывания топливосодержащих отходов в данной зоне, в зависимости от их свойств и конструкции печи
б	Подача альтернативного топлива, содержащего органические компоненты, которые могут улетучиваться, до зоны кальцинирования в зону с необходимой температурой
в	Управление работой печи таким образом, чтобы газы от сжигания топливосодержащих отходов находились в контролируемом, гомогенизированном виде даже при наиболее неблагоприятных условиях при температурах более 850 °С не менее 2 с
г	Увеличение температуры газов в зоне печи, где происходит горение топливосодержащих отходов, до 1100 °С и выше, если сжигаются опасные отходы с содержанием более 1 % галогенсодержащих органических веществ (выраженные в виде хлора)
д	Обеспечение постоянной и стабильной подачи отходов в печь
е	Прекращение сжигания отходов при режиме розжига и охлаждения (пуска и остановки) печи, когда необходимая температура и время пребывания материала в печи не могут быть обеспечены

6	НДТ для снижения удельного расхода энергии на производство 1 т портландцемента
а	Разработка, внедрение и использование на предприятии системы энергетического менеджмента
б	Использование помольного и другого оборудования с высокой энергетической эффективностью.
в	Использование высокоэффективных технологических схем измельчения, оптимизированных для измельчения конкретных видов материалов
г	Применение высокоэффективных интенсификаторов процесса измельчения материалов
7	Разработка, реализация, поддерживание в рабочем состоянии и постоянное выполнение определенных требований системы энергетического менеджмента (СЭнМ)
8	Снижение выбросов пыли из организованных источников
а	Применение современных электрофильтров или рукавных фильтров, оптимизированных для очистки конкретного вида газов
б	Применение гибридных фильтров
в	Применение системы управления ремонтом, специально направленной на наблюдение за состоянием фильтров
9	Снижение выбросов пыли из неорганизованных источников
а	Укрытие/капсулирование операций, связанных с пылением
б	Использование закрытых конвейеров и элеваторов
в	Уменьшение мест подсоса воздуха или просыпания материала, герметизация установок
г	Использование гибких шлангов и рукавов, снабженных системой улавливания пыли, при погрузке цемента в цементовоз
д	Противоветровая защита
е	Водное опрыскивание и химические вещества, подавляющие пыление
ж	Покрытие, мытье дорог и их уборка
з	Увлажнение штабелей
10	Снижение выбросов NO_x в отходящих печных газах
а	Оптимизация процесса обжига

б	Охлаждение пламени факела
в	Применение горелок с низким выделением NO_x
г	Постадийное сжигание топлива, сжигание топлива в средней части печи
д	Использование минерализаторов при обжиге клинкера
е	Применение технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота SNCR
ж	Применение технологии селективного каталитического восстановления оксидов азота SCR
11	Поддерживание проскоков аммиака NH_3 на максимально низком уровне при использовании технологии селективного некаталитического восстановления оксидов азота SNCR
а	Обеспечение стехиометрического количества восстановителя при обеспечении снижения выбросов NO_x до необходимого уровня
б	Обеспечение равномерного распределения восстановителя в газовом потоке
12	Снижение выбросов SO_2 в отходящих печных газах
а	Выбор сырьевых материалов, топлива и отходов (при их использовании) с невысоким содержанием свободной серы или серы в виде сульфидов
б	Использование добавок сорбента (абсорбента)
в	Использование мокрого скруббера
13	Снижение содержания CO в отходящих печных газах
а	Выбор (при возможности) сырьевых материалов с низким содержанием органического углерода
б	Оптимизация процесса обжига путем поддержания необходимого коэффициента избытка воздуха в печи
в	Обеспечение однородного состава и свойств топлива, равномерность и постоянство его подачи в печь
г	Стабильный режим работы печи, применение автоматизированных систем управления работой печи
д	Непрерывное автоматическое измерение CO в печных газах посредством использование оборудования для мониторинга с коротким временем отклика, расположенного вблизи источника образования CO.

14	Снижение уровня шума
15	Разработка, реализация, поддерживание в рабочем состоянии и постоянное выполнение определенных требований системы экологического менеджмента (СЭМ)
16	Регулярный мониторинг и измерение параметров и выбросов
а	Непрерывные измерения параметров, свидетельствующих о стабильности процесса, таких, как температура, содержание O_2 в отходящих газах, разрежение и скорость потока газа
б	Мониторинг и стабилизация критических параметров процесса: однородность и постоянство состава сырьевой смеси, топлива, равномерность подачи топлива в печь, коэффициент избытка воздуха в печи
в	Непрерывные замеры выбросов NO_x, SO_2 и CO из печи
г	Непрерывные замеры выбросов NH_3 из вращающейся печи при использовании технологии селективного некаталитического восстановления (SNCR) оксидов азота
д	Периодические замеры выбросов пыли, высоколетучих металлов, HCl, HF [1)]
е	Периодические замеры выбросов летучих органических соединений, ПХДД/ПХДФ
ж	Периодические замеры выбросов пыли из организованных источников, кроме печи

Приложение Г
(обязательное)

Перечень технологических показателей

Технологический показатель	Единица измерения	Диапазон /Значение
Удельный расход тепла на обжиг клинкера:		
- для заводов сухого способа производства	МДж/т	3550–4120
	кг у. т./т клинкера	90–160
- для заводов мокрого способа производства	МДж/т	5750–6900
	кг у. т./т клинкера	196–235
- для заводов комбинированного способа производства	МДж/т	3950–4540
	кг у. т./т клинкера	135–155
Удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента:	кВт·час/т цемента	
- для заводов сухого способа производства;		110–140
- для заводов мокрого способа производства		100–135
Выбросы пыли из вращающейся печи (неорганическая пыль с содержанием SiO_2 до 20 %, код ЗВ 2909):	мг/нм^3	
- для проектируемых технологических линий		Не более 25
- технологические линии, введенные в эксплуатацию после 2008 года		Не более 50
- технологические линии, введенные в эксплуатацию до 2008 года с модернизированными фильтрами		Не более 500
- технологические линии, введенные в эксплуатацию до 2008 года		Не более 1000
Выбросы оксидов азота NO_x из вращающейся печи (код ЗВ 0301, 0304):	мг/нм^3	
- для печей с циклонным теплообменником		Не более 500
- для длинных печей мокрого способа производства и печей Леполь		Не более 800
Проскок NH_3	мг/нм^3	Не более 30–50
Выбросы диоксида серы SO_2 из вращающейся печи (код ЗВ 0330)	мг/нм^3	Не более 400
Выбросы оксида углерода CO из вращающейся печи (код ЗВ 0337)	мг/нм^3	Не более 600

Приложение Д
(обязательное)

Энергоэффективность

1. Краткая характеристика отрасли с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Производство цемента является ресурсо- и энергоемким процессом.

В цементной промышленности РФ при производстве клинкера и цемента используются такие виды топлива как природный газ, уголь и горючие сланцы. (см. раздел 1.3).

Средний удельный расход электроэнергии по цементной промышленности РФ за 2014 год составляет 124,3 кВтч/т, в т.ч. на печах мокрого способа – 121,9 кВтч/т, на печах сухого способа – 129,6 кВтч/т (см. раздел 1.4).

Сырьевая база для производства цемента представлена месторождениями карбонатных пород (известняки, мел, мергели, мрамор), глинистых пород (глины, суглинки, глинистые сланцы) и гидравлических добавок (опоки, диатомиты, трепелы). В последние годы в цементной промышленности все более широкое распространение находит использование отходов смежных отраслей промышленности вместо природного сырья – карбонатного и глинистого/алюмосиликатного компонентов (см. раздел 1.2).

Внедрение энергосберегающих технологий, снижение доли энергозатратных производств, снижение до минимума потребления природных ресурсов: сырья, топлива, минеральных добавок, улучшение экологического состояния за счет вовлечения в оборот вторичных сырьевых ресурсов и использование экологически чистого оборудования и технологий являются приоритетными задачами отрасли (см. раздел 1.9).

2. Основные технологические процессы, связанные с использование энергии

Современный цементный завод перерабатывает 5…20 тыс. т сырья в сутки.

Технологические процессы, связанные с добычей, хранением, подготовкой и измельчением сырьевых материалов приведены в разделах 2.2 и 2.3, использования отходов в качестве сырьевых материалов – в разделе 2.7.2.

Основные характеристики используемого топлива, технологические процессы подготовки и сжигания топлива приведены в разделе 2.5, использования отходов в качестве топлива - в разделе 2.7.3.

Процесс обжига цементного клинкера подробно рассмотрен в разделе 2.8.

3. Уровни потребления:

- удельный расход сырьевых материалов на производство 1 т портландцементного клинкера и портландцемента – см. раздел 3.3;

- удельный расход топлива на обжиг 1 т портландцементного клинкера - см. раздел 3.4;

- удельный расход энергии на производство 1 т портландцемента – см. раздел 3.5.

4. Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Номер и наименование НДТ	Раздел/пункт справочника
НДТ 1. Снижение удельных расходов сырьевых материалов для производства портландцементного клинкера и цемента	5.1
НДТ 3. Сокращение/минимизация удельных расходов тепла на обжиг клинкера	5.2
НДТ 4. Снижение потребления тепловой энергии путём выработки дополнительного количества электроэнергии или тепла путём объединения заводов с теплоэлектростанциями или теплоцентралями на базе полезной рекуперации тепла, в пределах схем регулирования энергии, которые экономически устойчивы	5.2
НДТ 6. Снижения удельного расхода энергии на производство 1 т портландцемента	5.3
НДТ 7. Разработка, реализация, поддерживание в рабочем состоянии и постоянное выполнение определенных требований системы энергетического менеджмента (СЭнМ)	5.3.1

5. Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Применение сухого способа производства цемента ведет к снижению расходов на топливно-энергетические ресурсы в среднем на 30-40 % по сравнению с мокрым способом производства. Основное влияние на энергоэффективность сухого способапроизводства оказывает снижение удельного расхода технологического топлива при производстве цемента (см. раздел 6).

6. Перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления:

- технология применения метода химической регенерации тепла – см. дел 7.2;

- технология эффективной утилизации тепла и очистки отходящих газов при мокром способе производства цемента – см. раздел 7.3;

- технология использования отвальных электрометаллургических шлаков для производства цемента – см. раздел 7.4.

Библиография

1. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изм. И доп., вступ. в силу с 01.01.2016 г.)

2. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 21–2014 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника. — М. : Стандартинформ, 2014. — 14 с.

3. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 23–2014 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий. — М: Стандартинформ, 2014. — 15 с.

4. Предварительный национальный стандарт ПНСТ 22–2014 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения. — М. : Стандартинформ, 2014. — 14 с.

5. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ (ред. от 29.12.2014) «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации».

6. Федеральный закон от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

7. Постановление Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».

8. «Комплекс мер, направленных на отказ от использования устаревших и неэффективных технологий, переход на принципы наилучших доступных технологий и внедрение современных технологий», утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2014 г. № 398-р.

9. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)/ Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies Sustainable Production and Consumption Unit European IIPPC Bureau — 2013. — 501 p.

10. The Commission decision of March 26, 2013 on establishment of the conclusions of the best available methods (BAT) according to the Directive 2010/75/EU of the European parliament and Council for industrial issue for production of cement, lime and a magnesium

oxide (2013/163/EU)/ Official Journal of the European Union. — 2013.. — V. 56. — 9 April 2013. — L 100. — P. 1–49.

11. «Поэтапный график создания в 2015–2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий», утвержденный распоряжением правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р.

12. Компания ООО «СМ Про». «Карта цементной промышленности стран СНГ И Балтии».

13. Компания ООО «СМ Про». Потребление: баланс спроса и предложения // Годовой отчет «Рынок цемента — 2014». С. 47.

14. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Цементное сырье. М. 2013 г.

15. Жарко В. И. Сырьевая база вторичных ресурсов. Материалы доклада на Международном Строительном Форуме «Бетон. Цемент. Сухие смеси-2010».

16. Компания ООО «СМ Про». Требования к сырьевым компонентам // Годовой отчет «Рынок цемента — 2011». С. 71–75.

17. Сборник «Цементная промышленность в 1990 году. ВГНИИ «НИИЦемент».

18. Жарко В. И., Гузь В. А., Кабанов А. А., Высоцкий Е. В. Сырьевая база вторичных ресурсов в производстве строительных материалов. Журнал «АЛИТинформ» № 2, 2011. С. 11–27.

19. Компания ООО «СМ Про». Цементные заводы СЗФО // Аналитический отчет: Рынок цемента северо-западного федерального округа, 2007–2012 гг., прогноз до 2020 г. С. 17.

20. Высоцкий Е. В. Выпуск цемента по способам производства // Доклад «Цементная промышленность России и стран СНГ. Проблемы, новизна, перспективы» в Международной промышленной академии — 2015, С. 5–6.

21. Компания ООО «СМ Про». Производство. Выпуск цемента по энергосберегающим технологиям. Производители цемента, работающие по энергосберегающему способу производства // Годовые отчеты СМПРО по рынку цемента за 2010–2014 гг. стр. 29, 40–45, 139.

22. Башмаков И. А. Потенциал энергоэффективности в России. Журнал «Энергетические системы» 23.07.2015 г.

23. Высоцкий Е. В. Оценка энергоэффективности российских цементных производств. Перспективы отрасли: вывод из эксплуатации мощностей в 1990–2014 гг., ввод новых мощностей в 2008–2014 гг. // Доклад на конференции CemEnergy-2014. С. 6–8.

24. Гузь В. А. Промышленность строительных материалов. Основные проблемы и перспективы развития: Старение основных фондов // Доклад в рамках рабочего визита министра промышленности и торговли Дениса Мантурова в Краснодарский край. С. 13.

25. Компания ООО «СМ Про». К 2017 году действующие цементные заводы должны быть модернизированы или вынуждены будут закрыться // gost.e-ecolog.ru

26. Классен В. К. Сравнительный анализ энергоемкости сухого и мокрого способов производства цемента // Цемент и его применение. 2011. № 6. С. 20–23.

27. Осокин А. П., Кривобородов Ю. Р., Потапова Е. Н. Модифицированный портландцемент. — М. : Стройиздат, 1993. 328 с.

28. Потапова Е. Н. Наследование структурных особенностей материалов на разных стадиях производства портландцементного клинкера и их влияние на качество цемента/ Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. доктор технич. Наук. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2009. 32 с.

29. Альбац Б. С., Коугия М. В., Судакас Л. Г. и др. Технические требования к цементному сырью. — М. : Концерн Цемент, 1996. 94 с.

30. Йоргенсен С. В. Вертикальная мельница для помола цемента и шлака // Цемент и его применение. 2005 г. № 2. С. 22–26.

31. Уфимцев В. М., Капустин Ф. Л., Пьячев В. А. Техногенное сырье в производстве цемента: вчера, сегодня, завтра // Технологии бетонов. 2012 г. № 1/2. С. 22–25.

32. Шимосака К. Возможности восстановления хрома (VI) при обжиге клинкера в заводских условиях / К. Шимосака и др. // Цемент и его применение. 2010. № 2. С. 67–71.

33. Пат. 2187043 Российская Федерация, МПК7 F 23 D 14/20/ Диффузионная газовая горелка / В. К. Классен, А. Ф. Матвеев, И. Н. Борисов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова. — № 20012280/06, заявл. 08.08.2001; опубл. 10.08.2002, Бюлл.№ 22.

34. Пат. 2319073 Российская Федерация, МПК F23D 14/24/ Горелка инжекционная диффузионная (варианты) / В. М. Коновалов, Д. А. Мишин, А. В. Литовченко,

В. Н. Шевченко, И. П. Стрепетов; заявитель и патентообладатель БГТУ им. В. Г. Шухова, Общество с ограниченной ответственностью производственная фирма «Аян» (ООО ПФ «Аян»). — № 2006122053, заявл. 22.06.2006; опубл.10.03.2008, Бюлл.№ 7.

35. Василик Г. Ю. Цементная промышленность России в 2013 году // Цемент и его применение. 2013 г. № 6. С. 20–32.

36. Материалы Международного Цементного Форума «Цемент, известь, гипс. Производство и экология» 6–11 марта 2007 года: Международный Цементный Форум — выездное заседание в Германии // Цемент. Известь. Гипс. 2007. № 1. С. 19–22. Выездное заседание цементного форума «Цемент, известь, гипс. Производство и Экология»// Цемент. Известь. Гипс. 2007. № 2. С. 22–27.

37. Михайлова Н. В. Экологические вопросы применения топлива из твердых коммунальных отходов в цементной промышленности // Цемент и его применение. 2013. № 2. С. 82–86.

38. Твердые коммунальные отходы и цементная промышленность России / International Finance Corporation (FC), группа Всемирного банка, Россия // Цемент и его применение. 2009 г.. № 4. С. 48–49.

39. Уфимцев В. М., Пьячев В. А. Твердое топливо в производстве цемента // Цемент и его применение. 2012 г. № 1/2. С. 22–25.

40. Шубин В. И. Применение техногенных материалов, в том числе горючих отходов, при производстве цемента // ЦементИнформ. 2014. № 1. С. 3–8.

41. ГОСТ Р 55099–2012 Ресурсосбережение. Наилучшие доступные технологии обращения с отходами в цементной промышленности, 2013 г.

42. Борисов И. Н., Мандрикова О. С. Применение топливосодержащих отходов в производстве цемента // ЦементИнформ. 2014 г. № 1. С. 9–11.

43. Классен В. К. Техногенные материалы в производстве цемента: монография / В. К. Классен, И. Н. Борисов, В. Е. Мануйлов Под общ. ред. В. К. Классена. Белгород: Изд-во БГТУ, 2008г.. 126 с.

44. Федеральный закон от 24.06.1998 г. № 89-ФЗ (в ред. От 29.06.2015 г.) «Об отходах производства и потребления».

45. Приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 15 июня 2001 г. № 511 «Об утверждении критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей среды».

46. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 18 июля 2014 г. № 445 «Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов».

47. Беляева В. И. Взаимное влияние процессов охлаждения клинкера, гранулообразования и эффективности работы колосникового холодильника / В. И. Беляева, С. Ф. Миндолин, В. К. Классен, С. А. Перескок // Цемент и его применение. 2003 г. № 2. С. 44–46.

48. Компания FLSmidth A/S. Новая технология многоприводных ригелей: максимальная простота и эффективность// Цемент и его применение. 2005 г. № 5. С. 10–12.

49. Классен В. К., Беляева В. И. Улучшение условий труда на участках охлаждения и транспортировки цементного клинкера // Безопасность жизнедеятельности. 2006 г. № 3. С. 31–33.

50. Логачев И. Н., Логачев К. И. Аэродинамические основы аспирации: монография. Санкт-Петербург: Химиздат, 2005 г. 695 с.

51. Шахова Л. Д., Маркова С. В., Мишин Д. А. Опыт применения интенсификаторов процесса помола нового поколения // Цемент и его применение. 2011 г. № 4. С. 123–125.

52. Беляева В. И., Кулешов М. И. Снижение выбросов пыли и вредных газов при обжиге цементного клинкера // Экология и промышленность России. 2007 г. № 2. С. 25–27.

53. Основные источники образования выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.// Электронный ресурс: gost.e-ecolog.ru

54. Российская энциклопедия по медицине труда. — Рос. акад. мед. наук. — Москва : Медицина, 2005. — С. 349.

55. МВИ-172—06. Методы выполнения измерений массовой концентрации и определения массового выброса в отходящих газах топливосжигательных установок с применением газоанализаторов «МОНОЛИТ».

56. М-15. Методика выполнения измерений массовой концентрации диоксида серы в промышленных выбросах в атмосферу фотоколориметрическим методом.

57. Перечень и коды веществ, загрязняющих атмосферный воздух. — Сп-б, 2015 г.

58. М-МВИ-34-04 « Методика выполнения измерений массовой концентрации металлов в воздухе рабочей зоны и выбросах в атмосферу промышленных предприятий атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией».

59. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. № 665 «Об утверждении Методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии».

60. ГОСТ Р 54194–2010 Ресурсосбережение. Производство цемента. Наилучшие доступные технологии повышения энергоэффективности.

61. ISO 50001:2011 Energy management systems — Requirements with guidance for use.

62. ГОСТ Р ИСО 50001–2012 Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению.

63. ГОСТ Р ИСО 14001–2007 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.

64. ГОСТ ISO 9000–2005 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.

65. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. М. : Эколайн, 2012 г. 458 с.

66. Журавлев П. В., Классен В. К. Синтез низкоосновного малоэнергоемкого клинкера с использованием шлаков и получение высококачественного смешанного цемента // Известия вузов. Строительство. 2000 г. № 10. С. 40–44.

67. Коновалов В. М., Ткачев В. В. Химическая конверсия топлива в технологии портландцемента // Цемент и его применение. 2012 г. № 4. С. 106–108.

68. Беляева В. И., Кулешов М. И. Нейтрализация оксидов серы и азота в отходящих газах печей цементных заводов // Химическая технология. 2005 г. № 7. С. 37–39.

69. Пат. 2124385 Российская Федерация, МПК[8] B01D47/04 Скруббер энерготехнологической обработки газов / М. И. Кулешов; заявитель и патентообладатель М. И. Кулешов. — № 96104132/25 заявл. 29.02.1996; опубл. 10.01.1999.

70. Классен В. К. Энергосбережение и повышение прочности цемента при использовании сталеплавильных шлаков в качестве сырьевого компонента / В. К. Классен, И. А. Морозова, И. Н. Борисов, О. С. Мандрикова // Middle-East Journal of Scientific Research [Электронный ресурс. Систем. требования: URL:http://idosi.org/mejsr/mejsr18(11)13/11.pdf]. 2013. № 18 (11). С. 1597–1601.

gost.e-ecolog.ru