РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ВИНИТИ)

НАУЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Обзорная информация

Выпуск № 1

Издается с 1979 г. Москва 2014 Выходит 6 раз в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – академик РАН *Ю.М. Арский*

Члены редакционной коллегии:

к.т.н. *В.А. Быков,* к.т.н. *М.П. Гречиков*,
д.т.н. *С.П. Иванков*, к.э.н. *А.Н. Лаверов,* к.т.н. *Г.А. Лопухов,*
к.т.н. *П.П. Потапов* (зам.главного редактора),
д.т.н. *С.М. Резер, П.А. Щетинина* (ученый секретарь),
к.т.н. *А.Г. Юдин*

© ВИНИТИ, 2014

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ВОСПРОИЗВОДСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

МИРОВАЯ ПРАКТИКА МАЛООТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ

Д.т.н. С.П. Иванков, Д.Г. Петкевич

(Институт ФГУП «ВИМС»)

1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ МАЛООТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ РОССЫПЕЙ

В настоящее время в мировой практике переработки титан-циркониевых россыпей процесс обогащения этого вида минерального сырья обычно осуществляют в две стадии:

– первичное обогащение;

– доводка черновых коллективных концентратов.

Для первичного обогащения россыпей обогатительные установки сооружают непосредственно на месте добычи песков. При получении из них коллективного концентрата в основном применяют *экологически малонапряженные гравитационные методы обогащения*, с помощью которых в отвальные хвосты удаляется в среднем от 50 до 90% пустой породы. Первичное обогащение россыпей проводят на винтовых и струйных сепараторах, отсадочных машинах, концентрационных столах, на стационарных и подвижных шлюзах, иногда в тяжелых суспензиях [4,5,9]. При этом наблюдается тенденция максимальной утилизации отвальных хвостов в различных отраслях промышленности (закладка горных выработок, дорожное строительство, стекольное и керамическое производство).

Исследования по применению флотационного метода концентрирования рудных минералов показывают его преимущество как по извлечению рудных минералов в концентрат, так и по производительности обогатительного оборудования по сравнению с концентрационными столами. Однако схема флотационного обогащения не получила распространения не только в силу своей относительной дороговизны, но и в связи с трудностями последующего выделения селективных концентратов и неустойчивостью результирующих показателей процесса [2,5].

В погребенных россыпях, к которым относятся все титано-циркониевые месторождения СНГ, рудные пески более тонкозернистые и глинистые по сравнению с зарубежными месторождениями, что существенно снижает извлечение полезных компонентов. Классическим примером успешного обогащения таких россыпей является технология переработки песков Малышевского месторождения на обогатительной фабрике ВДГМК на Украине.

1.1. Первичное обогащение

Первичное обогащение включает несколько технологических операций с выводом из процесса основной массы исходного материала (рис. 1). Основные потери рудных минералов в процессе первичного обогащения связаны со следующими продуктами технологического процесса: галя, шламы, хвосты гравитации. Каждой статье потерь соответствуют определенные факторы вещественного состава конкретных месторождений [5,9].

Выход «гали» в процессе первичного обогащения связан в первую очередь с ее содержанием в исходных песках. Данные гранулометрического анализа в сочетании с распределением полезных компонентов по классам крупности позволяют определить границу отсева этой непродуктивной фракции. Например, для Центрального месторождения она определяется в классе +0,56 мм, для Бешпагирского – в классе +0,28 мм.

Максимальное содержание «гали» отмечено в Центральном месторождении, где крупные размеры имеют в основном фосфоритовые зерна и обломки песчаников с фосфатным и глинисто-кремнистым цементом.

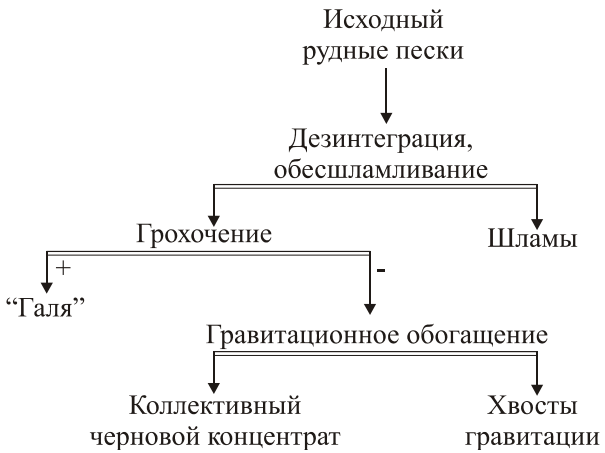

Рисунок 1 – Принципиальная технологическая схема
первичного обогащения рудных титан-циркониевых песков

Потери полезных компонентов с «галей» часто бывают обусловлены *наличием сростков* рудных минералов с нерудными, что существенно увеличивает размер зерен. Так, в минеральном составе рудных песков Центрального месторождения 0,7% составляют фосфатно-кварцевые агрегаты, представленные сростками кварца с ильменитом, так что потери TiO_2 с данным продуктом довольно существенны – 6,4%, в то время как для других месторождений они либо отсутствуют, либо исчисляются существенно меньшей величиной.

Третий фактор, способный увеличить потери полезных компонентов с «галей», – *форма зерен рудных минералов.* Выполненные статистические морфологические исследования с помощью автоматического анализа изображения TOMANALYSIS зерен ильменита, рутила и циркона показали, что

для всех месторождений среднее удлинение их больше или приближается к 2, что выше стандартного удлинения 1,5. При этом доля зерен с удлинением от 1,5 до 3 составляет около 50%. При грохочении на стандартных ситах эти зерна останутся на верхней сетке и будут потеряны. Выявленная особенность позволила рекомендовать использование высокочастотных грохотов, принцип работы которых позволяет избежать отрицательного влияния фактора удлинения.

При обесшламливании из исходных песков уходит главным образом фракция -0,044+0 мм, представленная в основном глинистыми минералами. Количественно доля этой фракции отражена в данных *гранулометрического и минералогического анализов,* которые хорошо коррелируют с данными по выходу шламов в процессе первичного обогащения (табл. 1).

Таблица 1

Влияние минерального и гранулярного состава технологических проб на потери полезных компонентов со шламами

Показатели	Бешпагирское	Центральное	Лукояновское	Ордынское	Тарское	Туганское
Минеральный анализ						
Глинистые и тонкодисперсные минералы	0,81	зн	21,05	16,65	7,06	20,4
Гранулометрический анализ						
Содержание класса -0,044+0 мм, %	0,81	4,1	36,33	17,65	15,93	18,01
Выход от исходного в процессе первичного обогащения и потери, %						
Шламы	–*	3,5	20,57	13,2	12,4	–**
Потери TiO_2	–*	1,29	7,52	18,2	9,28	–
Потери ZrO_2	–*	0,4	6,14	24,72	3,17	–
Доля полезных компонентов в классе крупности -0,044 мм, %						
TiO_2	0,5	1,6	37,56	25,2	17,6	–
ZrO_2	1,5	2,6	55,52	44,2	12,2	–

* – Учтено в отвальных хвостах первичного обогащения в целом.

** – Нет данных.

Особенно четко намечается корреляция между выходом шламов с содержанием тонкодисперсных фаз в минеральном составе, представленных глинистыми минералами, и другими тонкодисперсными продуктами, состоящими обычно из глинистых минералов, кварца и полевого шпата. Со шламами теряется только часть полезных компонентов, содержащаяся в классе -0,044+0 мм.

Чем больше распределение полезных минералов в мелкие классы, тем больше вероятность их потери со шламами.

Гравитационное обогащение обычно проводится в несколько стадий. На винтовых шлюзах получают «грубый» черновой коллективный концентрат и отвальные хвосты 1. На концентрационных столах сначала осуществляется доводка грубого чернового концентрата, при этом образуются отвальные хвосты 2. Контрольная доводка осуществляется с грохочением по

классу крупности 0,1 мм и выводом из продукта породообразующих минералов (хвосты 3). В хвосты гравитации уходит большая часть исходного зернистого материала – обычно более 70% (табл. 2).

Таблица 2

Потери полезных компонентов с хвостами гравитации

Показатели	Бешпагирское	Центральное	Лукояновское	Ордынское	Тарское
Выход в хвосты гравитации, %	51,35	82,175	69,9	92,16	80,65
Потери TiO_2 с хвостами гравитации	2,82	0,25	8,67	8,58	6,95
Потери ZrO_2 с хвостами гравитации	0,47	4,61	8,89	4,88	4,23
Содержание TiO_2 в классе -0,044+0 мм	0,51	1,55	37,56	25,21	17,56
Содержание ZrO_2 в классе -0,044+0 мм	2,57	1,45	55,52	44,36	12,25

Второй важный фактор, обусловливающий потери полезных компонентов с хвостами гравитации – *наличие сростков рудных минералов с менее плотными нерудными.* Сростки присутствуют во всех классах, но обычно концентрируются в более крупных, тогда как в мелких ильменит, рутил и циркон представлены преимущественно свободными зернами.

Так, в пробе Центрального месторождения в классе -0,56+0,25 мм ильменит представлен только сростками с кварцем (0,17%) и фосфатом (0,16%). В классе -0,25+0,14 мм более 70% ильменита находится в сростках, в классе -0,14+0,074 мм – около 67%, в классе -0,074+0,044 мм количество ильменита в сростках снижается до 6,25%.

Имея более низкую плотность по сравнению со свободными зернами, сростки, содержащие ценные минералы, часто концентрируются в легкой фракции с плотностью менее 2,7 г/см^3, что обуславливает их потери при обогащении. Это особенно характерно для Центрального месторождения, и возможно это одна из основных причин более низкого сквозного извлечения титана на Центральном месторождении по сравнению с более тонкозернистыми россыпями. Особо следует отметить, что даже в материале -0,074+0,044 мм присутствует ильменит в сростках.

Сростки с кварцем очень богаты и распределяются на 99,61% в тяжелую фракцию плотностью >3,6 г/см^3, а сростки с фосфатом, наоборот, более бедны и на 77% распределяются в легкую фракцию. Если сростки богаты по содержанию рудных минералов, классы, содержащие их в значимом количестве, после доизмельчения направляются на доводку (например, для ильменита методами магнитной сепарации уже на стадии первичного обогащения), и потери уменьшаются.

Третий главный фактор, обуславливающий потери в хвостах гравитации, в особенности с породообразующими минералами – это *распределение полезных компонентов по минералам,* которое показывает теоретический предел возможного извлечения титана и циркония.

Таким образом, при первичном обогащении основные потери полезных компонентов происходят со шламами и хвостами гравитации, что обусловлено главным образом тонкозернистостью и глинистостью песка, а на некоторых объектах - также наличием сростков, из-за которых возможны большие потери с легкой фракцией. Для наиболее тонкозернистых и глинистых песков объем потерь может достигать 15-16% и более от исходного.

Объем потерь титановых минералов обычно выше по сравнению с цирконом [2,5,7,11].

Перед разделением коллективного концентрата применяются различные методы их очистки. В ЮАР они обезвоживаются в гидроциклоне и поступают на мокрые магнитные сепараторы для удаления магнетита. Немагнитную фракцию обезвоживают, репульпируют и направляют в аппараты для оттирки и удаления с минеральных зерен глины и железистых покрытий. Концентрат разбавляют пресной водой и подают в реечный классификатор для обезвоживания и дальнейшей промывки водой.

1.2. Доводка черновых коллективных концентратов

Для селективного выделения ценных минералов из коллективного концентрата используются различия в электрических и магнитных свойствах минералов. Так как требования к качеству выпускаемых концентратов и извлечению высоки, то особенностью технологической схемы доводки является многократное повторение однотипных операций электрической сепарации.

Технологическая схема доводки коллективных титан-циркониевых концентратов на всех объектах более или менее однотипна и состоит из ряда перечистных операций электромагнитной и электрической сепарации, сопровождаемых гравитационным обогащением на концентрационных столах (рис. 2) [4,5,8].

В магнитной фракции концентрируется ильменит, в немагнитной - циркон и рутил, которые затем разделяются на проводниковую фракцию (рутил) и непроводниковую (циркон). На всех стадиях сепарации и многочисленных перечисток возможны потери полезных компонентов или ухудшение качества концентратов за счет попадания в них нерудных минералов с близкими электрическими и магнитными свойствами. Для их удаления используются различные приемы, например, применяются магниты различной мощности, проводится обогащение получаемых фракций гравитацией и т.д. (табл. 3).

В этом процессе получают и некоторые попутные полезные продукты: глауконитовый, эпидотовый, дистеновый, гранатовый и др. Промежуточные продукты, получаемые в процессе доводки коллективного концентрата, отправляют на перечистку.

Таблица 3

Распределение рудных и второстепенных минералов по технологическим фракциям

Сильно электромагнитная	Электромагнитная и средне электромагнитная	Слабомагнитная	Немагнитная электропроводящая	Немагнитная неэлектропроводящая
Ильменит, магнетит, титаномагнетит	Ильменит, лейкоксен, ставролит, хромшпинелиды, глауконит, гранат, эпидот, Амфиболы	Лейкоксен, циркон (метамиктная разновидность с микровключениями или пленками ильменита и магнетита), монацит, турмалин, глауконит, агрегаты сульфидов с эпидотом, фосфаты	Рутил, золото, циртолит, монацит, глауконит	Циркон, дистен, силлиманит, сульфиды железа, фосфаты

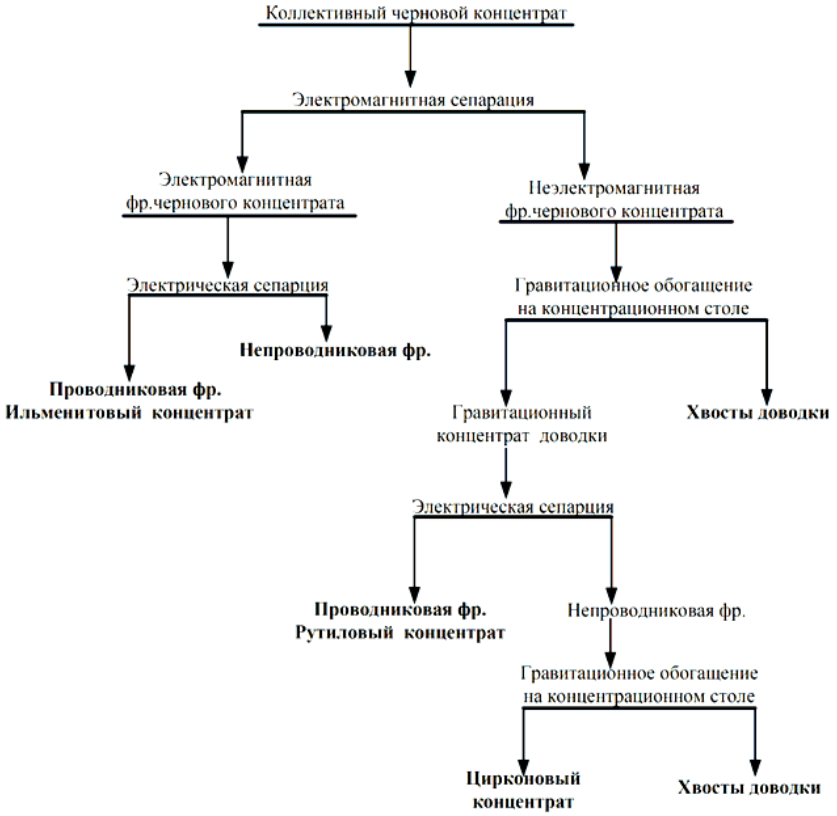

Рисунок 2 – Принципиальная технологическая схема доводки чернового коллективного концентрата при обогащении рудных титан-циркониевых песков

Наибольшие трудности при доводке концентратов возникают в связи со степенью измененности ильменита, которая сильно влияет на его магнитные свойства. Особенно трудной задачей является выделение лейкоксенового концентрата, поскольку изменение ильменита при лейкоксенизации выражается главным образом в выщелачивании железа. С повышением ее степени понижается магнитная восприимчивость ильменита. При испытании пробы Бешпагирского месторождения ВИМСом в 1993 г. был даже сделан вывод, что в промышленных условиях выделить селективно лейкоксен не удастся, в лучшем случае можно получить лейкоксеновый промпродукт с содержанием TiO_2 до 50%. Повышенным содержанием в хвостах лейкоксена объяснялось и низкое извлечение в коллективный концентрат TiO_2 на Туганском месторождении.

На Вольногорском ГМК первой операцией доводки было разделение коллективного концентрата в электрокоронных сепараторах ЭКС 2250 на проводники (ильменит, рутил, хромит) и непроводники (циркон, ставролит,

дистен-силлиманит, монацит, турмалин). Вторая операция – получение из проводников ильменитового концентрата на электромагнитных сепараторах 2ВК-5в и нестандартного рутилового концентрата, который доводится здесь же на электрокоронных сепараторах ЭКС-1250. Третья – производство цирконового, ставролитового и дистен-силлиманитового концентратов разделением непроводников на электромагнитных сепараторах МС-2 на ставролитовый продукт, который далее доводят на электрокоронных сепараторах ЭКС 1250, и циркон-дистен-силлиманитовый продукт с незначительными примесями кварца, разделяемый на концентрационных столах ЯСК-2.

В последние годы низкопроизводительные концентрационные столы были заменены на конусные сепараторы, а электрокоронные сепараторы заменили на пластинчатые собственной конструкции, увеличив производительность в 2,5 раза. Вместо низко производительных электромагнитных сепараторов 2ВК-5в и МС-2 были внедрены высокопроизводительные высокоградиентные 2ЭВС, что позволило повысить извлечение полезных минералов более чем на 20%.

К новым аппаратам, разработанным и успешно испытанным в последнее время на россыпях различных месторождений, относятся винтовой шлюз, центробежные аппараты, отсадочные машины нового типа. Лучшие показатели по первичному обогащению исходных песков получены на винтовом шлюзе ВШ-750.

2. Разработка рациональных технологических схем обогащения в опытно-промышленных масштабах и на действующих фабриках

2.1. Титан-циркониевые россыпи России

В Российской Федерации нет действующих предприятий по обогащению циркон-рутил-ильменитовых рудных песков прибрежно-морского типа. Для многих месторождений этого типа различными НИИ (Гиредмет, ВИМС, ИМГРЭ и др.) разработаны и испытаны в опытно-промышленных масштабах технологические схемы их обогащения. Ниже будут приведены показатели обогащения и качества полученных титановых, циркониевых, ильменитовых и др. концентратов а также принципиальные технологические схемы обогащения наиболее изученных в минералого-технологическом плане россыпных месторождений России – *Центрального в Тамбовской и Лукояновского в Нижегородской областях, Бешпагирского в Ставропольском крае, а также Туганского и Тарского в Сибири*. Эти схемы легли в основу проектных разработок по их освоению [1,5,10,16,].

Рудные пески ***Центрального месторождения*** состоят на 85-90% из мелкозернистых хорошо отсортированных кварцевых песков, слабо сцементированных глиной. До 12% по массе в них присутствует глауконит, до 3% – полевые шпаты, до 0,5 % – гранат, до 1% – алюмосиликаты (дистен, эпидот, турмалин). Циркон в количестве до 0,5% представлен мелкими зернами (-0,071 мм); несколько крупнее рутил и ильменит, содержащиеся в песках в количестве 0,5 и 2,5% соответственно [1,5,6,13].

Гравитационно-магнитно-электрическая схема обогащения песков испытана в опытно-промышленных условиях и обеспечивает получение из них циркониевого, ильменитового, рутилового и других концентратов. Для обогащения фосфоритовых руд пород вскрыши принята гравитационно-флотационная схема с получением фосфоритового концентрата [1,5,16].

Цирконовый концентрат на 97% состоит из циркона при его извлечении 90%, представлен цирконовым песком с крупностью зерен менее 0,1 мм, главным образом 0,063+0,044 мм, содержание ZrO_2+HfO_2 в нём 65%, в том числе HfO_2 около 1%. Концентрат можно использовать для переработки на металл, диоксид и другие соединения циркония.

Рутиловый концентрат по химическому составу соответствует ГОСТ 22938-78 и может использоваться для производства обмазок электродов, а также непосредственно для получения тетрахлорида титана; извлечение рутила составит 88%.

Ильменитовый концентрат содержит 57-59% TiO_2, Fe_2O_3 – 31%, извлечение ильменита 85%. Из-за повышенных концентраций Cr_2O_3 (0,36%) и P_2O_5 (0,31%) его нельзя использовать непосредственно для сернокислотного получения титановых пигментов. Возможный путь его использования - плавка на титановый шлак и хлорирование последнего с получением тетрахлорида титана, пригодного для производства титановой губки и (или) пигмента.

Из крупногалечной части песков +2 мм и пород вскрыши можно получать фосфоритовый концентрат, содержащий 13-17% P_2O_5, пригодный для использования в качестве фосмуки. Технологическими исследованиями выявлена возможность получения глауконитового, эпидотового, гранатового концентратов. Попутной продукцией, получаемой при обогащении рудных песков, могут быть дистеновый концентрат, кварцевые строительные пески.

Заметно повысить эффективность отработки месторождения может комплексное использование рудных титано-циркониевых песков, в первую очередь за счет использования отходов обогащения глауконита, граната и кварцевых песков. Схема комплексного использования песков Центрального месторождения показана на рис. 3. [5,16].

Лукояновское титан-хром-циркониевое месторождение, представлено серией крупных прибрежно-морских россыпей батского яруса средней юры, погребенных на глубинах от 5 до 42 м, где наиболее крупная и богатая является ***Итмановская россыпь*** [5,6,13,16].

Вещественный состав рудных песков Итмановской россыпи Лукояновского месторождения весьма своеобразен. Рудные пласты сложены мелкозернистым полевошпат-кварцевым песком с прослоями глинистого материала. Количество полевого шпата достигает 15% от легкой фракции (с $a < 2{,}9$ г/см^3), кварца – около 85%. В тяжелой фракции песков более 60% ее составляют циркон, рутил, лейкоксен, ильменит + хромит + гематит, алюмосиликаты (дистен, ставролит, эпидот и др.). Содержание полезных компонентов в песках по данным технологического опробования следующее: циркона – около. 1%, рутила – 0,2-0,4%, ильменита – 2-3%, хромита – 1-1,5%, гематита – 1%. Своеобразие состава россыпи заключается в том, что ильменит вместе с хромитом и гематитом попадают в силу схожести своих физических свойств в один промпродукт, полное разделение которого на ильменитовую, хромитовую и гематитовую составляющие – трудная технологическая задача [13,15,16].

Технология обогащения рудных песков Итмановской россыпи разработана на лабораторном уровне и проверена укрупненными испытаниями. Она включает следующие процессы: рудоподготовку (дезинтеграция и обесшламливание), первичное обогащение гравитацией на винтовых сепараторах отмытой зернистой массы с перечистками хвостов и промпродуктов, доводку черновых концентратов методами электрической и магнитной сепарации с предварительным отжигом циркон-рутилового продукта (рис. 4).

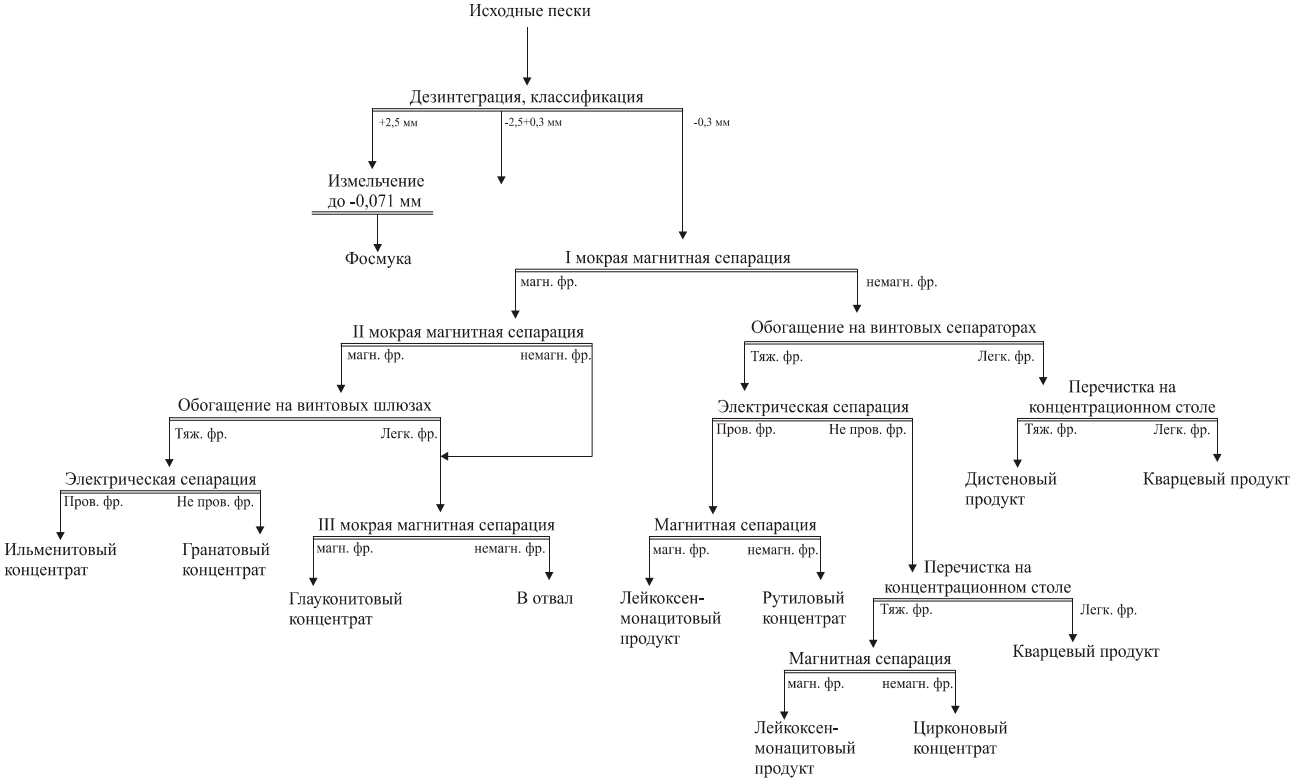

Рисунок 3 – Принципиальная технологическая схема обогащения рудных песков Восточного участка месторождения Центральное

В результате обогащения получен высококачественный цирконовый концентрат, состоящий на 99,4% из мелкозернистого (0,01-0,1 мм) циркона при извлечении 89,9% от исходных песков. Концентрат содержит 60% диоксида циркония, минимальные, ниже требований ОСТ 48-82, содержания оксидов железа и титана; радиоактивность его около 0,l% $Th_{экв}$. Он может успешно использоваться для переработки на металл, диоксид, соединения циркония, производства противопригарных смесей, огнеупоров, керамики, стекла, глазурей и других изделий [5,10,16,].

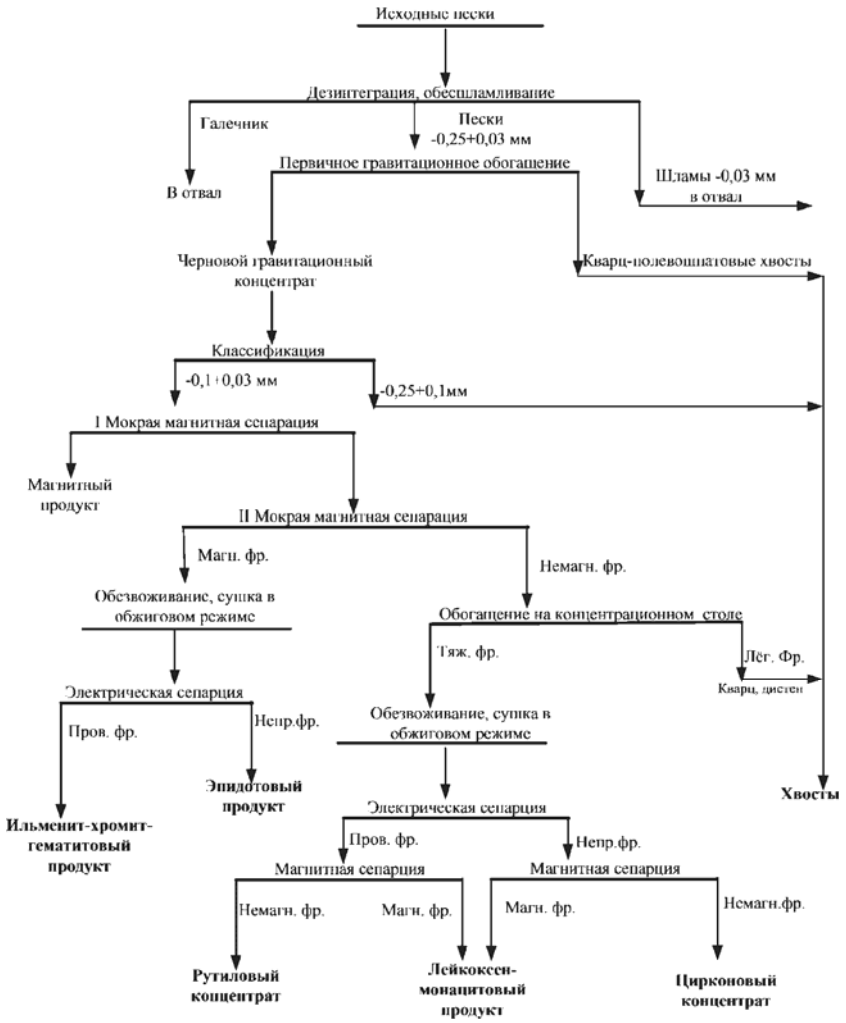

Рисунок 4 – Принципиальная технологическая схема обогащения рудных песков Итмановского участка Лукояновского месторождения

Титановые концентраты представлены двумя видами продукции: рутиловым и гематит-хромит-ильменитовым. Первый из них состоит из мелкозернистого рутила на 95,2%, извлечение его от исходных песков – 85,7%; рутиловый концентрат соответствует по примесям ГОСТу 22938-78 и может быть использован при производстве обмазочных материалов для электродов.

Гематит-хромит-ильменитовый промпродукт состоит на 99,8% из агрегатов этих трех минералов, разделить которые методами механического обогащения затруднено. Извлечение суммы данных минералов составляет 77,1% от исходных песков; в нем содержится до 50% Fe_2O_3, 9-10% Cr_2O_3 и 30% TiO_2. Это нестандартный продукт, однако, испытания по его плавке, проведенные Институтом титана и ИМЕТ РАН, показали возможность получения из него титанового шлака и высокохромистого чугуна [16].

Рудные пески ***Бешпагирского месторождения*** в Ставропольском крае представляют собой миоценовые тонко-мелкозернистые малоглинистые или почти безглинистые пески, состоящие на 94% из мелких зерен кварца и небольшого количества полевых шпатов крупностью в основном - 0,14+0,044 мм. В составе минералов тяжелой фракции превалируют ильменит и псевдорутил, меньше – рутила, циркона, дистена, эпидота, граната и др [13,15,16]. Технология обогащения бешпагирских песков, начиная с 60-х годов прошлого века неоднократно занимались разные организации, в т.ч. ВИМС. Принятая в настоящее время технологическая схема обогащения (рис. 5) разработана ИМГРЭ и согласована с Гиредметом. Она включает рудоподготовку (дезинтеграцию исходных песков и отсев класса крупности +0,56 мм с выводом его из технологического процесса), первичное обогащение (концентрацию песков на винтовых шлюзах с получением чернового коллективного концентрата отвальных хвостов) и селекцию коллективного чернового концентрата (методами магнитной и электрической сепарации) [5,10,16].

Основные товарные продукты – ильменитовый, рутиловый и цирконовый концентраты.

Ильменитовый концентрат содержит 62% TiO_2 и 27,3% Fe_2O_3. Содержание шлакообразующих оксидов SiO_2 и Al_2O_3 меньше нормы. По этим параметрам концентрат практически соответствует вольногорскому концентрату (Украина): он почти идентичен марке КИМ (ТУ-48-286-72) Иршанского ГОКа, однако превышает требования по содержанию Cr_2O_3.

Рутиловый концентрат содержит 94% TiO_2 и по своему химическому составу полностью соответствует ГОСТу 22938-78.

Цирконовый концентрат стандартный, отвечает ОСТу 48-82-81. Он содержит 65,4% ZrO2+HfO2, в том числе около 1% HfO2, 0,39% TiO2, 0,07% Fe2O3, 0,085% Thэкв. и может быть использован в любых областях применения.

Из нерудных продуктов обогащения наибольшие перспективы использования имеет кварц-полевошпатовый продукт в качестве формовочных песков, для получения темного бутылочного стекла, производства стройматериалов (силикатного кирпича) и др. [5,15,16].

Туганское месторождение в Томской области представляет собой погребенную на глубинах от 5 до 100 м пластовую россыпь прибрежно-морского типа в песках кусковой свиты эоцен-олигоценового возраста.

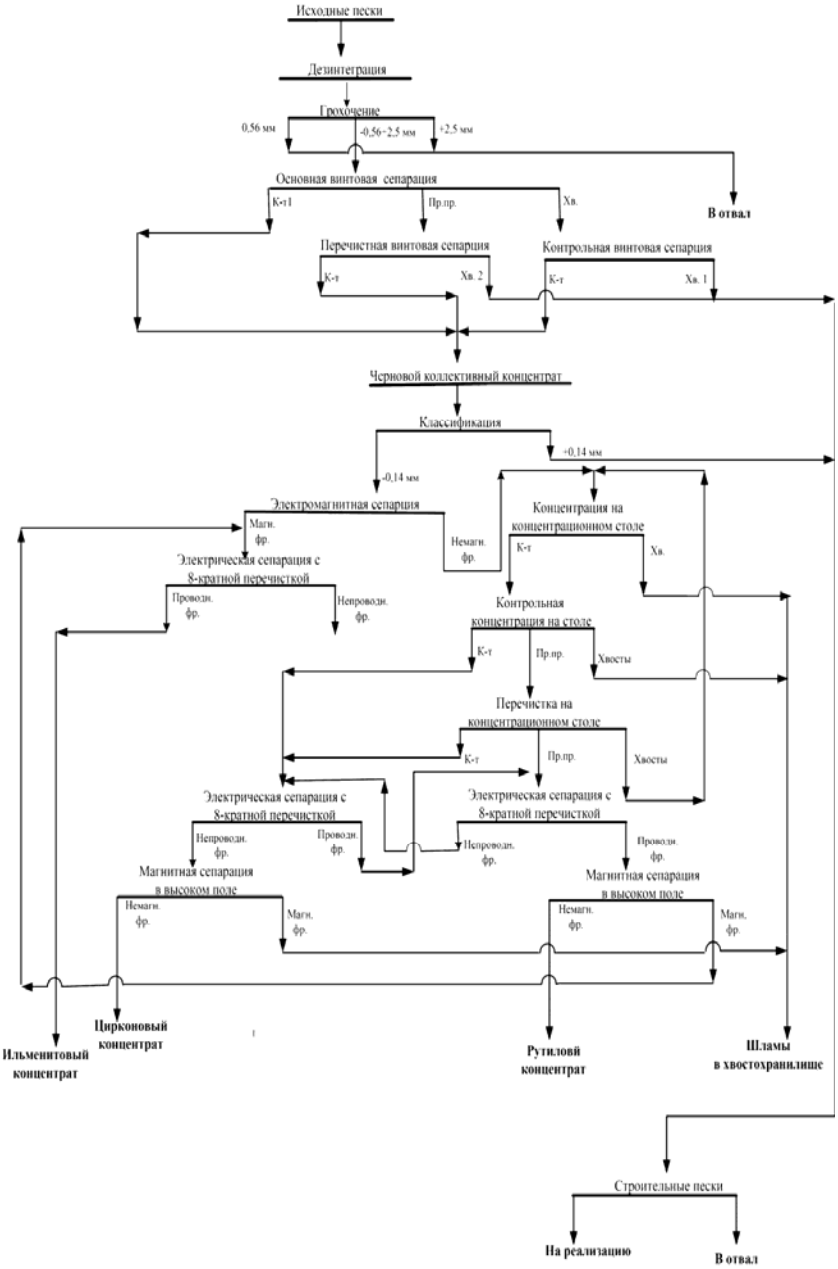

Рисунок 5 – Схема обогащения рудных песков Бешпагирского месторождения

Технология обогащения титано-циркониевых песков Туганского месторождения испытана в полупромышленных условиях и включает операции рудоподготовки (дезинтеграцию, грохочение, обесшламливание и сгущение продуктивной зернистой массы), гравитационное обогащение на конусных сепараторах, сгущение и сушку чернового концентрата, доводку последнего и разделение на селективные товарные концентраты циркона, рутила, ильменита и др. методы электрической и магнитной сепарации [1,13,16].

Получаемый из песков цирконовый концентрат содержит около 96% циркона с небольшой примесью лейкоксена и дистена. Содержание ZrO_2 в концентрате 65,0%, извлечение ZrO_2 от исходных песков 86,2%. Циркон мелкозернистый с размером зерен от 0,1 до 0,04 мм.

Циркониевые концентраты Туганского месторождения высококачественные по содержанию основного компонента (65% ZrO_2) с низкими примесями железа (0,1% Fe_2O_3) и титана (0,2-0,3% TiO_2), однако имеют повышенную радиоактивность (более 0,1% $Th_{экв}$). Они могут использоваться для переработки на металл, диоксид и другие соединения циркония. Содержание TiO_2 в циркониевом концентрате – 1,24%.

Помимо циркониевого концентрата из рудных песков Туганского месторождения при обогащении можно получать рутил-лейкоксеновый продукт, содержащий 85,2% TiO_2 при извлечении 11,54%, ильменитовый концентрат – 54,64% TiO_2 при извлечении 55,35%, стекольные кварцевые пески марки ВС-050, обогащенный каолин марок КР, КК, ККТ и другие продукты [1,13,16].

Тарское месторождение расположено в Омской области в районе с. Тара на берегу р. Иртыш.

Рудные пески Тарского титан-циркониевого месторождения характеризуются однообразием гранулярного, минерального и химического составов. По гранулометрическому составу они относятся к тонкозернистым пескам [16].

Коллективный концентрат, полученный на стадии первичного обогащения, представлен в основном сложным комплексом полезных минералов: ильменитом, цирконом, рутилом, анатазом, магнетитом, гранатом, кварцем.

Технологическая схема переработки коллективного концентрата включает: коронно-электростатическую сепарацию с выделением ильменитового концентрата с выходом 46,3% и содержанием диоксида титана 53,2%; сухую магнитную сепарацию непроводниковой фракции основной коронно-электростатической сепарации; коронно-электростатическую сепарацию магнитной фракции с выделением дополнительно 2,43% ильменитового концентрата с массовой долей диоксида титана 52,34% [14].

Немагнитная и непроводниковая фракции перечистных операций направляются на концентрационные столы, с помощью которых выделяются в голове гравитационного процесса 4,38% в тяжелой фракции с массовой долей диоксида титана 1,85%, массовой долей диоксида циркона 62,84%.

Тяжелая фракция, выделенная в голове гравитационного процесса, поступает на магнитную сепарацию, с помощью которой выделяется 4,29% циркониевого концентрата с массовой долей диоксида с титана 1,75% и массовой долей диоксида циркона – 64,3%

Перечистка промпродукта и хвостов основной концентрации на столах позволяет получить 8,22% тяжелой фракции с массовой долей диоксида титана 22,85% и диоксида циркона 26,39%; сушка и переработка данной тяжелой фракции на коронно-электростатической сепарации и магнитной сепарации позволяет дополнительно получить 3,83% ильменитового

концентрата с массовой долей диоксида титана 48,0% и массовой долей диоксида циркона 0,13%. Кроме того, дополнительно получается 3,43% циркониевого концентрата с массовой долей диоксида титана 0,45% и массовой долей диоксида циркона 62,9%.

По данной технологии можно получить из коллективного концентрата Тарского месторождения 52,88% ильменитового концентрата с массовой долей диоксида титана 53,79% и содержанием диоксида циркона 0,6%; 7,72% циркониевого концентрата с массовой долей диоксида титана 1,18% и диоксида циркона 63,68%; 39,4% отвальных хвостов с массовой долей диоксида титана 0,74% и массовой долей диоксида циркона 0,27%. Извлечение в ильменитовый концентрат составило 98,64%, извлечение диоксида циркония в циркониевый концентрат составило 92,07% [1,13,14,15].

2.2. Титан-циркониевые россыпи стран СНГ

Малышевское (б. Самотканское) россыпное месторождение в Днепропетровской обл. Украины долгие годы было единственным разрабатываемым титан-циркониевым месторождением на территории СНГ; перерабатывается Верхне-Днепровским горно-металлургическим комбинатом (ВДГМК – ныне Вольногорский ГМК). Месторождение относится к числу крупных эксплуатируемых объектов мирового масштаба [12].

Рудоносные титан–циркониевые пески ***Малышевского месторождения*** представляют собой комплексное сырье, в котором почти все минералы можно считать полезными компонентами: кварц высокой степени чистоты; циркон, содержащий гафний, скандий, и др; высокотитанистые рутил и ильменит; высокоглиноземистые дистен, силлиманит и ставролит – все эти основные полезные минералы в результате сложных схем обогащения выделяются на обогатительной фабрике ВГМК в мономинеральные концентраты с высокими технологическими показателями.

Полезные минералы месторождения характеризуются рядим особенностей, повышающих их промышленную ценность. Так, кварц отличается высокой чистотой и низким содержанием примесей, в том числе Fe_2O_3 и TiO_2, что позволяет использовать его в стекольной промышленности, ильменит – высоким содержанием TiO_2, низким – Fe_2O_3, но относительно высоким – P_2O_5 и Cr_2O_3. Высокой чистотой обладает циркон, который к тому же обладает низкой радиоактивностью, что делает его особенно привлекательным для керамической промышленности [12,13].

Малышевская россыпь – типичный пример комплексного месторождения. Помимо запасов основных рудных минералов – циркония и титана – в сарматской россыпи учтены запасы ставролита, дистена и силлиманита, а также запасы Hf – в цирконе, в хвостах обогащения – запасы кварцевых (формовочных и стекольных) песков.

Добычной горизонт отрабатывается экскаваторами с выгрузкой в автотранспорт и транспортировкой руды передвижными пульпонасосными станциями. Дальше, путем гидромониторного размыва, пульпа по пульповодам грунтовыми насосами подается на обогатительную фабрику [12].

Ранее, до внедрения гидротранспорта схема подготовки песков включала две стадии дезинтеграции (в барабанных скрубберах и в мечевых корытных мойках): промывку в гидроциклонах; контрольное грохочение и промывку в струйных зумпфах. Отделение дезинтеграции состояло из двух секций, ра-

ботающих параллельно. Гидромеханический способ подачи песков на фабрике сократил все эти операции.

Технология на обогатительных фабриках Вольногорского ГГМК включает три стадии: рудоподготовку, первичное обогащение, доводку чернового концентрата и получение товарных концентратов [12]. Цикл рудоподготовки включает грохочение исходных песков с выводом в отвал надрешетного продукта контрольного грохота (класс +6 мм); обесшламливание в гидроциклонах диаметром 1,0 и 0,75 м и струйных зумпфах диаметром 15, 18 и 10 м, сгущение и складирование отмытых песков в зумпфах.

Цикл первичного обогащения отмытых песков предусматривает основную, промпродуктовую и контрольную концентрации на конусных сепараторах с получением коллективного концентрата и отвальных хвостов.

Цикл доводки включает электрическую сепарацию высушенного коллективного концентрата, отдельную обработку проводниковой и непроводниковой фракций с использованием магнитной сепарации, гравитационного обогащения, а также электрическую и магнитную сепарацию черновых концентратов. На рис. 6 представлена принципиальная схема обогащения титан-циркониевых песков Вольногорского ГГМК [5, 12,16].

Особенностью технологической схемы фабрики являются многократное повторение технологических операций таких, как гравитационное обогащение на конусных сепараторах, электрическая и магнитная сепарации и концентрация на столах. Это объясняется многокомпонентностью перерабатываемых песков и требованиями высокого качества готовых концентратов при максимальных показателях извлечения.

Основные технологические показатели работы гравитационного отделения приведены в табл. 4.

Таблица 4

Средние технологические показатели работы гравитационного отделения обогатительной фабрики ВГМК (усреднённые показатели)

Продукты	Выход, %	Тяжелая фракция	Циркон	Рутил, лейкоксен	Ильменит	Дистен-силлиманит	Ставролит
Коллективный концентрат	8,9	89,50	10,10	16,23	41,72	9,29	9,97
		83,90	97,90	92,80	90,10	57,80	78,60
Отвальные хвосты	91,1	1,68	0,02	0,12	0,45	0,66	0,27
		16,10	2,10	7,20	9,90	41,20	21,40
Обесшламленные пески	100,0	9,51	0,92	1,56	4,12	1,43	1,13
		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Примечание. В числителе – содержание, %; в знаменателе - извлечение, % от операции.

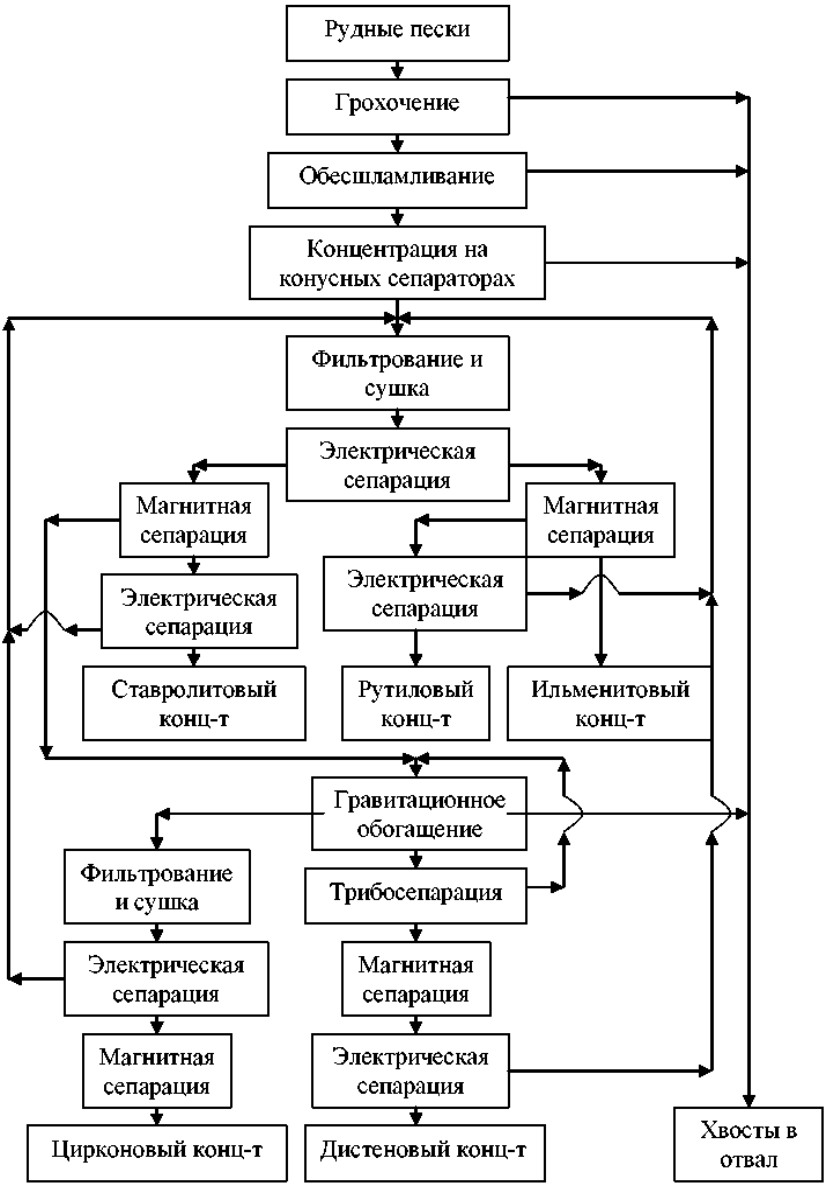

Рисунок 6 – Принципиальная схема обогащения титан-циркониевых песков ВГТМК

Основными причинами потерь ценных минералов в гравитационном отделении являются периодические перегрузки оборудования песками с высоким содержанием тяжелой фракции, вызывающие ухудшение разделения минералов.

Обеспечение равномерной бесперебойной подачи усредненных песков является вторым, наиболее существенным резервом повышения извлечения.

Для селективного выделения из коллективного концентрата ценных минералов и доводки моноконцентратов на фабрике широко применяются специальные методы обогащения: коронная электрическая; сухая магнитная в сильном поле и трибоэлектрическая сепарации.

После сушки в барабанных сушилках коллективный титан–циркониевый концентрат посредством электрической сепарации на сепараторах ЭКС–1250 и СЭС–2000 разделяется на два продукта: минералы-проводники (ильменит, рутил, лейкоксен и в качестве нежелательных примесей хромит, магнетит, ставролит) и минералы–непроводники (циркон, дистен, силлиманит, ставролит, турмалин, кварц, монацит).

Ильменит выделяется из проводниковой фракции методом магнитной сепарации как магнитный минерал и является готовым товарным концентратом.- рутиловый продукт (немагнитная фракция) после трехкратной очистки от примесей (циркон, дистен, кварц и др.) электрической коронной сепарацией становится готовым товарным рутиловым концентратом.

Минералы-непроводники подвергают магнитной сепарации для выделения ставролита и турмалина. Ставролитовый продукт (магнитная фракция непроводников) доводят до готового концентрата электрической коронной сепарацией. Немагнитную фракцию непроводников направляют на гравитационное обогащение для разделения циркона, дистена и кварца.

Циркониевый продукт после сгущения, обезвоживания и сушки доводят до готового товарного концентрата электрической коронной и магнитной сепарацией.

Дистен–силлиманитовый продукт сгущается, обезвоживается и после сушки доводится до готового концентрата трибоэлектрической и магнитной сепарацией.

Для увеличения производительности на всех стадиях доводочных операций, снижения потерь и улучшения качества товарной продукции на комбинате неоднократно модернизировали технику и технологию разделения коллективного концентрата на товарные моноконцентраты [5,12].

Электрическая коронная сепарация - основной процесс в схеме доводки коллективного титано-циркониевого концентрата. Схема имеет пять самостоятельных технологических узлов электросепарации: разделение коллективного концентрата на проводниковую и непроводниковую фракции и узлы доводки рутилового, циркониевого и дистенового продуктов с получением соответствующих концентратов. По схеме электрической сепарации коллективный концентрат проходит 15 технологических операций. В каждой образуется оборотный продукт, создающий в соответствующем технологическом узле циркуляционную нагрузку 80-120%. Потому количество продукта, подвергающегося электрической сепарации, в три-пять раз больше, чем поступающего на доводку коллективного концентрата.

В принципиальной конструкции сепараторов не произошло коренных изменений, однако разработка режимов и схем сепарации, модернизация узлов и отдельных элементов конструкции сепараторов существенно повлияли на производительность сепараторов и эффективность процесса, значительно повысив эти показатели [12].

Основной рабочий орган сепаратора – вращающийся заземленный электрод, был также изменен. Вместо электрода диаметром 130 мм на всех сепараторах установлены электроды ди-ам. 150 мм, что позволило расширить зоны зарядки и разрядки сепарируемого материала и увеличить окружную скорость электрода.

Проволочные коронирующие электроды были заменены игольчатыми. Это дало возможность интенсифицировать процесс за счет увеличения плотности коронного тока и его равномерности по длине электрода. При этом практически полностью исключено искровое повреждение электродов и увеличена их механическая прочность. Все сепараторы были обустроены трубчатыми эбонитовыми отклоняющими электродами, диэлектрическими экранирующими шторками и электродержателями новой конструкции.

Вследствие низкой надежности затвора барабанно-щелевого питателя сепараторы были оборудованы дополнительными секторными затворами, перекрывающими подачу материала перед питателями. В дальнейшем барабанные питатели были заменены питателями самотечного типа. Это позволило на тех же производственных площадях почти в четыре раза превзойти проектную мощность по выпуску концентратов и повысить извлечение.

Совершенствование технологии, повышение эффективности технологических схем электрической сепарации дало возможность довести качество основных концентратов до уровня мировых стандартов (табл. 5).

Таблица 5

Качество товарных концентратов, выпускаемых обогатительной фабрикой ВГМК (усреднённые данные)

Концентрат	Содержание, % (усредненные данные)				
	ZrO_2	TiO_2	$A1_2O_3$	Fe_2O_3	SiO_2
Цирконовый	65,60	0,24	1,36	0,10	-
Рутиловый	0,46	95,0	0,34	2,22	1,24
Ильменитовый	-	64,10	2,67	-	1,60
Дистен-силлиманитовый	1,15	0,73	57,70	0,66	-
Ставролитовый	1,63	3,08	45,97	-	28,07

Совершенствование процесса электрической сепарации потребовало увеличения производительности и эффективности работы магнитных сепараторов, переставших соответствовать возросшим требованиям. Магнитные сепараторы МС-2 производительностью 0,20-0,25 т/час были заменены сепараторами 2ВК-5, переоборудованными с мокрой на сухую сепарацию. При этом их производительность повысилась от 0,75 до 4,5 т/час за счет увеличения числа оборотов валков и изменения формы полюсных наконечников и валков. Затем электромагнитные сепараторы 2ВК-5 были на 90% заменены сепараторами ЭРС-6 конструкции «Механобрчермет», производительность которых в 1,5 раза выше. Кроме того, использование этих сепараторов позволило ликвидировать промежуточные транспортные операции [1,12,16].

В последние годы была разработана технология попутного получения концентратов дистен, ставролита, кварца на основе селекции минералов-диэлектриков с близкими электрофизическими свойствами (дистен и кварц). Кроме этого, для аппаратурного осуществления технологии был создан трибоэлектрический сепаратор СТЭ. Внедрение новой технологии и сепараторов СТЭ дало возможность извлекать из ранее отвальных продуктов дистен, ставролит, кварц, а также обеспечен стабильный выпуск нового вида продукции – дистен-силлиманитового концентрат, являющийся ценным сырьем в производстве высокоглиноземистых огнеупоров в точном литье по выплавляемым моделям и при выплавке силумина [12,16].

Обеспечен стабильный выпуск нового вида продукции – дистен-силлиманитового концентрат, являющийся ценным сырьем в производстве высокоглиноземистых огнеупоров в точном литье по выплавляемым моделям и при выплавке силумина [12,16].

Освоен выпуск и отгружается потребителям (предприятиям черной металлургии и др.) еще один вид продукции - ставролитовый концентрат, который используется в черной металлургии для разжижения шлаков взамен бокситов.

В результате усовершенствования технологического процесса доводочного отделения значительно повысилось качество товарных концентратов, и снизились потери ценных компонентов.

Потери основных ценных минералов при разделении коллективного концентрата в настоящее время характеризуются данными, приведенными в табл. 6, которые наглядно демонстрируют, что с освоением выпуска пяти видов товарных концентратов дальнейшее повышение извлечения зависит от снижения взаимопотерь в различные концентраты, т.е. от повышения качества концентратов и от снижения потерь с кварцевым продуктом.

Помимо пяти основных концентратов доводочного отделения, на комбинате была разработана и освоена технология получения из хвостов гравитационного обогащения кварцевого песка для формочной и стекольной промышленности. Ведутся работы по получению особо чистых песков для варки хрусталя. В небольшом количестве производится кварцевый концентрат для изготовления электронного стекла. Завод по его изготовлению находится практически на промплощадке Вольногорского комбината [12].

Успешная многолетняя работа единственного в СНГ горно-металлургического пред приятия – ВГМК по добыче и переработке песков титан-циркониевой прибрежно-морской россыпи показывает, что освоение имеющихся подобных месторождений в России, может также дать значительный экономический эффект.

Иршанский ГОК осуществляет разработку ильменитсодержащих россыпных месторождений Иршанской группы. В настоящее время в процессе разработки находятся *Иршанское, Верхне-Иршанское, Лемненское и Междуреченское* месторождения [12,13,16].

На Иршанском ГОКе первичное обогащение выполняется на обогатительных фабриках карьеров №№ 5, 6, 7, 8 и 9. Доводка ильменитовых концентратов осуществляется с применением гравитационных и магнитных методов и разделяется на четыре основных обогатительных цикла [12]:

1. Подготовка песков к обогащению – осуществляется с целью размыва (дезинтеграции) песков, поданных на фабрику, удаления крупных (больше 4,0 мм) и мелких (меньше 0,05 мм) классов, которые практически не содержат ильменит. В состав этих классов входит крупный кварц, галька, полевой шпат, каолин, глина и т.п.

Подготовку песков проводят в мокром режиме (в виде пульпы) с помощью нескольких стадий операций дезинтеграции, грохочения и обесшламливания. Основным оборудованием этих операций служат скрубберы, инерционные грохоты и гидроциклоны. Продуктом подготовки песков является так называемая «зернистая масса», которая содержит 8-15% ильменита.

2. Гравитационное обогащение – осуществляется с целью удаления основной массы пустой породы, то есть кварца, и проводится с помощью нескольких стадий винтовой сепарации. Продуктом гравитационного обогащения служит черновой ильменитовый концентрат, который содержит до 70% ильменита.

3. Мокрая магнитная сепарация, в процессе которой осуществляется доочистка большей части чернового ильменитового концентрата до массовой доли ильменита больше 94,5% (готовая продукция). Сепарацию проводят на валковых электромагнитных сепараторах типа ЭВС.

4. Сухая магнитная сепарация – поскольку магнитная сепарация в мокром режиме недостаточно эффективна и не позволяет достичь максимального извлечения ильменита в конечный продукт, то для доизвлечения ильменита из отходов мокрой магнитной сепарации применяется сухая магнитная сепарация, которая проводится на валковых электромагнитных сепараторах типа 2ЭВС-36/100. Конечным продуктом является ильменитовый концентрат с массовой долей ильменита не менее 94,5%.

Таблица 6

Распределение ценных минералов по продуктам доводочного отделения ОФ ВГМК (товарные концентраты)

Продукт	Извлечение, % (усредненные данные)				
	циркон	рутил	ильменит	дистен-силлиманит	ставролит
Концентраты:					
цирконовый	96,0	0,1	-	5,1	-
рутиловый	0,3	97,4	2,3	0,4	-
ильменитовый	0,7	2,3	95,5	1,4	4,6
дистен-силлиманитовый	1,2	0,1	-	70,7	0,5
ставролитовый	1,2	-	1,1	2,2	82,0
Хвосты доводки:	0,6	0,1	1,1	20,2	12,9
в том числе хвосты доводки дистена	0,4	0,1	0,6	20,2	12,2
продукт «Х»	0,2	-	0,5	-	0,7
Коллективный концентрат	100,	100,0	100,0	100,0	100,0

Кроме вышеперечисленных основных операций, в технологической схеме обогащения применяются вспомогательные операции: обезвоживание и сушку. Они осуществляются с помощью обезвоживающих конусов, вакуум-фильтров и барабанных печей [12,16].

Принципиальная схема обогащения ильменитовых песков Иршанского ГОКа представлена на рис. 7.

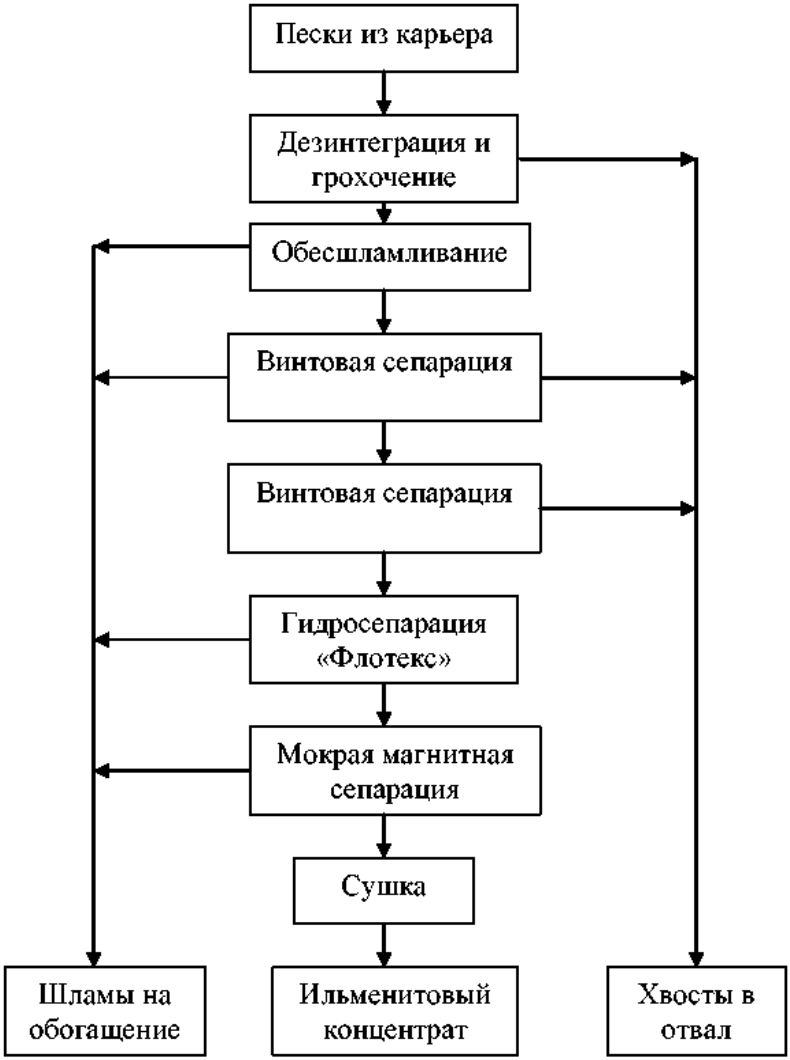

Рисунок 7 – Принципиальная схема обогащения ильменитовых песков Иршанского ГОКа

Для повышения эффективности процесса обогащения на Иршанском ГОКе планируется выполнение следующих мероприятий: приобретение и установка на фабрике Лемненского рудника дополнительного магнитного сепаратора 4ЭРМ; реконструкция доводочной фабрики № 1 с установкой двух магнитных сепараторов 4ЭРМ; поэтапная замена винтовых сепараторов на фабриках первичного обогащения [12].

Повышение качества ильменитового концентрата связано с особенностью его минерального состава и предусматривает разделение на «неизмененный» и «измененный», что достигается магнитным фракционированием, то есть разделением зерен ильменита по степени магнитной восприимчивости (измененный ильменит характеризуется меньшими магнитными свойствами). Альтернативным вариантом магнитному фракционированию является процесс барьерной магнитной сепарации, в котором сведено к минимуму влияние механических факторов на процесс разделения (магнитная флокуляция, центробежные силы, распределение зерен в потоке и т.п.). Напротив, при работе валковых сепараторов (типа ЭВМ, ЭВС) данные факторы значительно влияют на процесс магнитного фракционирования. Альтернативным вариантом процессу барьерной магнитной сепарации является обогащение на роторных сепараторах 6 ЕРМ-100 НТЦ «МАГНИС» (Украина).

Обуховское месторождение в северном Казахстане является самым богатым по содержанию циркона из титано-циркониевых россыпей СНГ.

Отличительная особенность вещественного состава рудных песков Обуховского участка и месторождения в целом – их тонкозернистый, почти пылевидный характер и наличие около 18% (в среднем) глинистого материала. Крупность зерен песка менее 0,1 мм, а рудных минералов менее 0,071 мм.

Разработана следующая технологическая схема обогащения песков: рудоподготовка, дезинтеграция, грохочение, обесшламливание, сгущение, первичное обогащение – гравитация на конусных сепараторах, высокоградиентная магнитная сепарация, сушка, доводка и селекция черновых коллективных концентраторов – сухая магнитная и электрическая сепарации, гравитация.

Основная товарная продукция обогащения песков – цирконовый концентрат. Извлечение циркона в концентрат составляет 86%. Он представлен тонкозернистым цирконсодержащим песком с размером зерен -0,071+0,03 мм, состоит на 97% из циркона. Циркон содержит 65% ZrO_2, примеси железа и титана - в пределах нормы. Следует отметить повышенную радиоактивность концентрата: содержанке $Th_{экв}$ – 0,18-0,20%. Концентрат может быть использован в производстве стекловолокна, но в основном – для переработки на металл диоксид, другие соединения циркония.

Помимо циркониевого концентрата разработанная технология обогащения позволяет получать из песков рутиловый и ильменитовый концентраты, а также кварцевые строительные пески для производства силикатного кирпича. Рутиловый концентрат содержит 94% TiO_2, примеси в пределах нормы, может использоваться в качестве обмазки для электродов. Извлечение рутила + лейкоксена – 70% от исходных песков.

Ильменитовый концентрат содержит 55% TiO_2: он прошел полупромышленные испытания и признан пригодным для плавки на шлак. Извлечение ильменита 82% от исходных песков.

Кара-Откельское месторождение в Восточно-Казахстанской области представлено своеобразной россыпью аллювиально-элювиального типа, с двумя продуктивными пластами.

Содержание циркона в верхнем горизонте 3,6 кг/м^3, ильменита – 23,6 кг/м^3, рутила + лейкоксена – 0,45 кг/м^3. В нижнем горизонте содержание этих минералов значительно ниже [12,13,16].

Ценный компонент песков – маложелезистый полевой шпат с высоким калий-натриевым отношением: он может быть использован в производстве спецэлектрокерамики.

Технология обогащения сложна из-за высокой глинистости (60% глины) и низких содержаний полезных минералов. Гравитационная схема позволяет получать цирконовый концентрат с содержанием ZrO_2 63% при извлечении 79,6%, а также ильменитовый концентрат с содержанием TiO_2 54% при извлечении 65%.

Получение электрокерамического полевошпатового концентрата может осуществляться по очень сложной технологии. Вероятно, в будущем из-за технологических трудностей из караоткельских песков будет выделяться лишь один ильменитовый концентрат.

2.3. Титан-циркониевые россыпи стран дальнего зарубежья

Основные промышленные типы месторождений титана и циркония за рубежом представлены комплексными прибрежно-морскими россыпями.

Практически *все промышленные мировые запасы циркония* (свыше 95%) заключены в прибрежно-морских россыпях (ПМР), где циркон находится вместе с титановыми (ильменит, рутил) и редкоземельными (монацит, ксенотим) минералами. За рубежом эти россыпи называют heavy minerals placer – россыпи тяжелых минералов. Среднее содержание циркона в песках ПМР варьирует в широких пределах – от сотых долей процента до 3%, редко достигая 8% [5,12,16].

Наибольшими в мире запасами титана и циркония обладает ***Австралия***. Ее запасы сконцентрированы в россыпных прибрежно-морских комплексных ильменит-рутил-циркониевых месторождениях. Страна за счет эксплуатации своих прибрежно-морских россыпей получает ежегодно около 2,0 млн. т ильменитовых 0,2–0,3 млн. т рутиловых концентратов. Кроме того, здесь производятся циркониевый (около 70% мировой добычи) и другие концентраты.

Схема обогащения россыпей для всех месторождений примерно одинакова. Первичное обогащение песков и получение коллективных концентратов осуществляется на высокопроизводительных гравитационных аппаратах (винтовых и конусных сепараторах) на месте добычи песков или вблизи него. При этом из них извлекается 90-98% всех тяжелых минералов, а отвальные хвосты сбрасываются для закладки выработанного пространства. Применяемые на первичной стадии обогащения аппараты имеют высокую степень автоматизации, нередко управляются всего несколькими рабочими, и дают при этом высококачественные коллективные концентраты, которые далее селективно доводятся до товарных продуктов магнитной и электрической сепарацией.

На доводочных установках Австралии применяется электромагнитные сепараторы как высокой, так и низкой интенсивности. Электростатическая сепарация, применяемая для доводки и разделения концентратов, основана на различии минералов по электропроводности. Минералы, входящие в состав концентратов, в порядке уменьшения их электропроводности, распола-

гаются следующим образом: магнетит, ильменит, рутил, хромит, лейкоксен, монацит, турмалин, циркон, кварц.

Кроме комбинированных схем обогащения коллективного концентрата с применением магнитной и электростатической сепарации в Австралии применяются и схемы с применением флотации, магнитной и электростатической сепарации.

Применение флотации для выделения циркона практикуется компанией "Zircon Rutile Ltd" (Циркон Рутайл Лимитед) с 1935 г. Процесс состоит (рис. 8) из: перемешивания в почти кипящем концентрированном мыльном растворе; промывки, способствующей удалению излишков мыла; обработки в кислоте; удалении избытка кислоты и флотации в разжиженной кислой пульпе. Флотационный концентрат фильтруют, чтобы удалить кислый раствор, на горизонтальном дисковом вакуум-фильтре. Кек фильтра репульпируется и вновь фильтруется, а затем пески направляются в сушилки с угольными или древесными топками. После сушилки материал поступает на магнитную сепарацию, где выделяется магнитный продукт и часть циркона с железными примесями. Магнитный продукт направляется в отвал, а окончательный концентрат содержит 99,4% циркона и выше.

Хвосты флотации, содержащие рутил, ильменит, гранат, монацит, кварц и немного циркона, фильтруют и сушат в другой вращающейся сушилке, и пропускают через магнитный сепаратор. В этой операции удаляется ильменит, хромит, немного граната и незначительное количество монацита. Хвосты этого сепаратора пропускают через индукционно-роликовый магнитный сепаратор высокой интенсивности, который выделяет магнитный продукт, содержащий ильменит, гранат, монацит и немного рутила. Этот продукт направляют на однороликовый электростатический сепаратор, чтобы выделить ильменит и рутил. Ильменито-рутиловый продукт повторно перерабатывают на магнитном сепараторе. Магнитный продукт представляет собой отвальные хвосты, немагнитный продукт, содержащий, в основном, рутил, объединяется с исходным материалом, поступающим на высокоинтенсивную магнитную сепарацию. Немагнитный продукт высокоинтенсивного сепаратора пропускают через паровой нагреватель, после чего подвергают электростатической сепарации на роликовых сепараторах. При этом удаляется в хвосты кварцево-цирконовый продукт и выделяется окончательный рутиловый концентрат (табл. 7).

Таблица 7

Химический состав продуктов на предприятии «Циркон Рутайл Лтд»

Содержание в концентратах, %		
Ильменитовый	Цирконовый	Рутиловый
50,4 TiO_2	66,75 ZrO_2	97,75 TiO_2
0,4 SiO_2	32,65 SiO_2	0,45 SiO_2
0,8 Cr_2O_3	0,07 TiO_2	0,6 ZrO_2
0,4 MnO	0,02 Fe_2O_3	0,18 FeO
2,0 CaO и MgO	0,07 Al_2O_3	0,2 Cr_2O_3, 0,6 V_2O_5

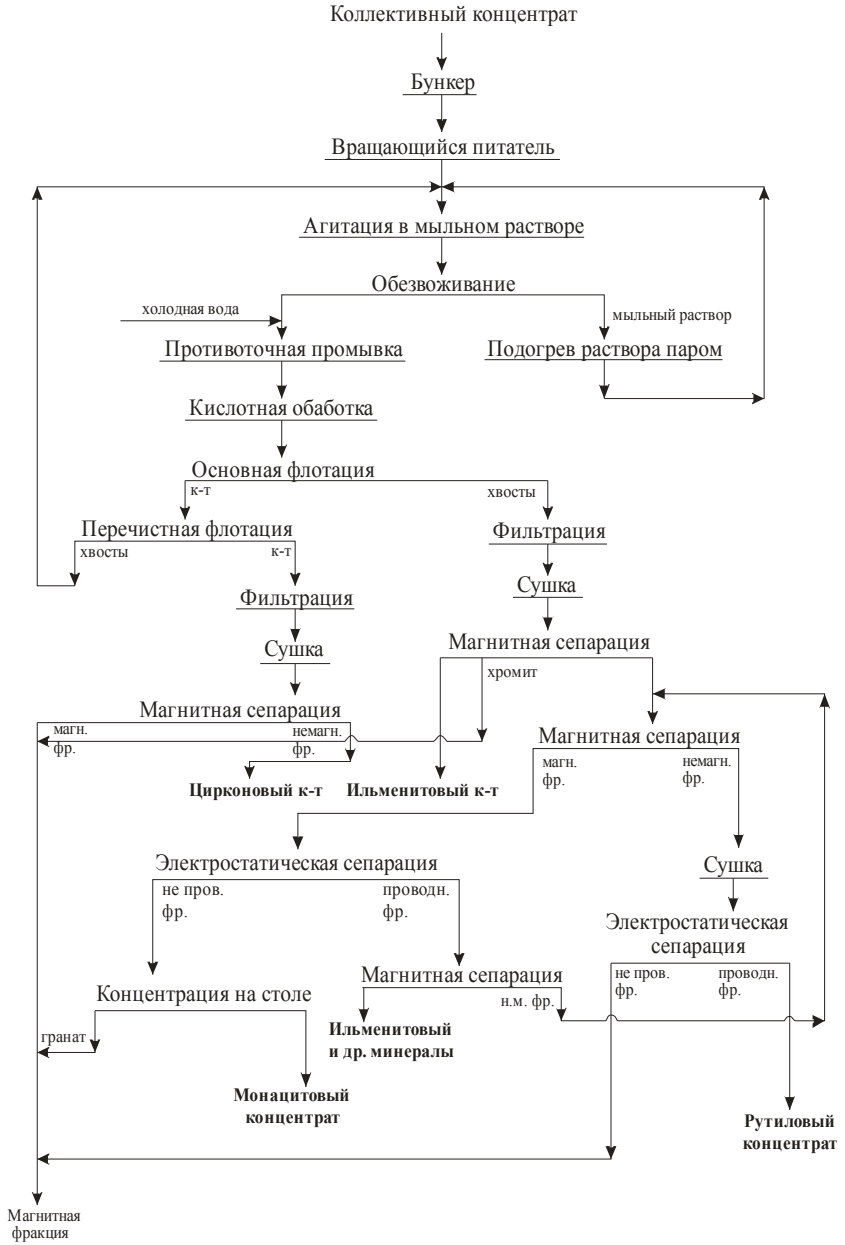

Рисунок 8 – Схема разделения коллективного концентрата
с применением флотации циркона компанией Циркон Рутайл Лтд

На других фабриках Австралии флотационный процесс не применяется по ряду причин, в особенности, из-за развития электростатической сепарации, которая считается экономически выгодным процессом.

Преимуществом электростатического обогащения является то, что гравитационный концентрат может быть высушен и затем обработан всухую с применением менее дорогого оборудования и по более простой технологической схеме, чем это требуется для флотации.

Использование комбинированных схем с применением магнитной и электростатической сепарации осуществляются по двум направлениям:

– схемы, в которых в первой стадии обогащения применяется магнитная сепарация;

– схемы, в которых в первой стадии обогащения применяется электростатическая сепарация.

Фабрик, работающих по схемам, относящимся к 1-й группе немного, так как применять в первой стадии электростатическое обогащение выгоднее: меньше расход электроэнергии.

Примером может служить практика разделения коллективных концентратов на фабрике компании «Минерал Депозитс Синдикэйт». Первоначально на этой фабрике была принята схема с магнитной сепарацией в голове процесса (рис. 9). По мере развития методов обогащения взгляды на технологию в компании изменились, в результате чего электростатическая сепарация осуществляется в голове процесса перед магнитной сепарацией (рис. 10), благодаря чему основная часть циркона удаляется перед магнитной сепарацией, производительность основных магнитных сепараторов увеличилась, а также увеличилась эффективность извлечения магнитных минералов. Расход электроэнергии на переработку 1т исходного материала значительно уменьшился. Состав концентратов, получаемых на фабрике, приведен в табл. 8.

Таблица 8

Состав концентратов на фабрике компании «Минерал депозитс Синдикэйт»

Содержание в концентратах, %			
Рутиловый	Цирконовый	Ильменитовый	Монацитовый
97,6 TiO_2 0,21 Fe_2O_3 0,1 Cr_2O_3 0,59 V_2O_5 0,26 ZrO_2 0,12 SiO_2 (связан.) 0,10 SiO_2 (свободн)	66,9 ZrO_2 32,8 SiO_2 (общий) 0,14 SiO_2 (свободн) 0,02 Fe_2O_3 0,15 TiO_2	49,0 TiO_2 1,0 Cr_2O_3 28,64 FeO 13,94 Fe_2O_3 0,23 V_2O_5	5,9 TiO_2 25,6 Cr_2O_3 32,7 V_2O_5 25,3 P_2O_5 3,9 CaO 1,2 Al_2O_3+ZrO_2 0,12 Fe_2O_3 0,82 SiO_2

Несмотря на наличие крупных разведанных запасов тяжелых минералов в Австралии интенсивно ведутся геологоразведочные работы с целью поисков новых месторождений [12].

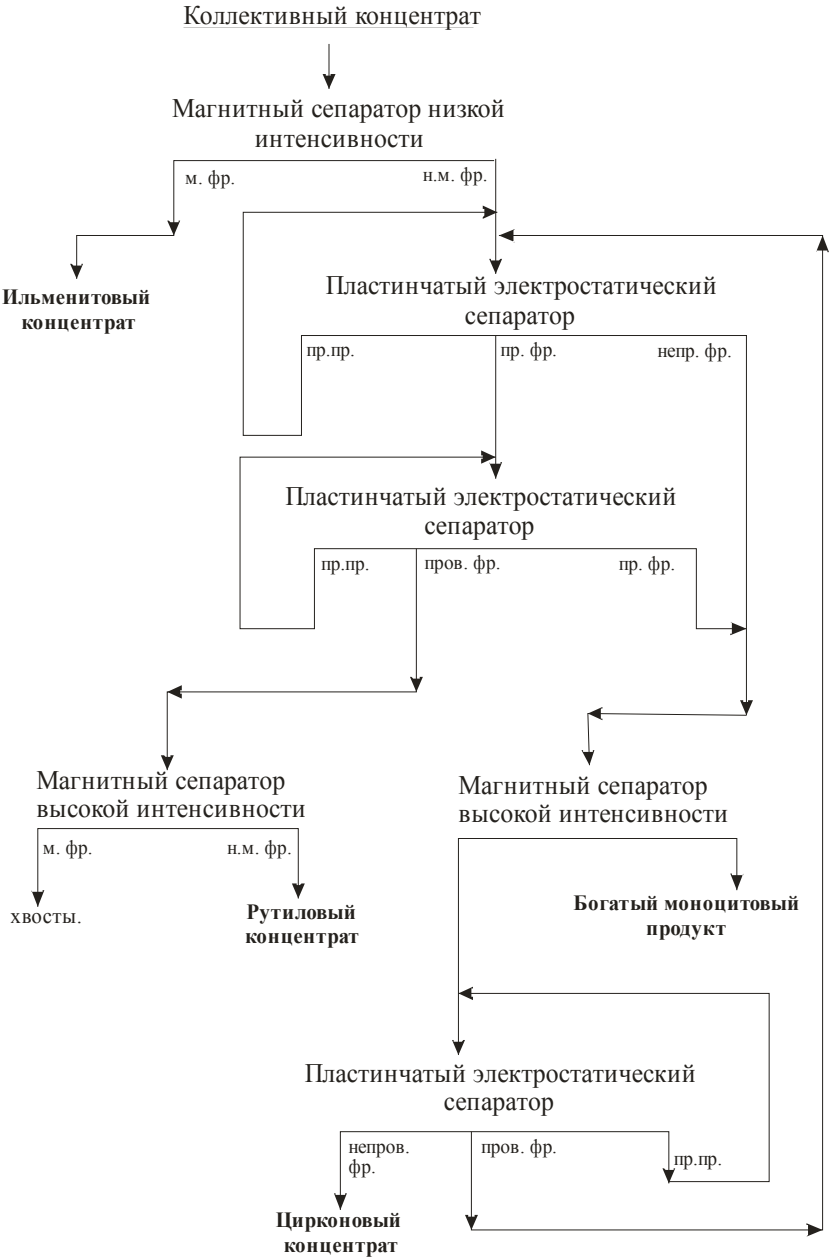

Рисунок 9 – Схема доводочной фабрики Минерал Депозитс Синдикэйт

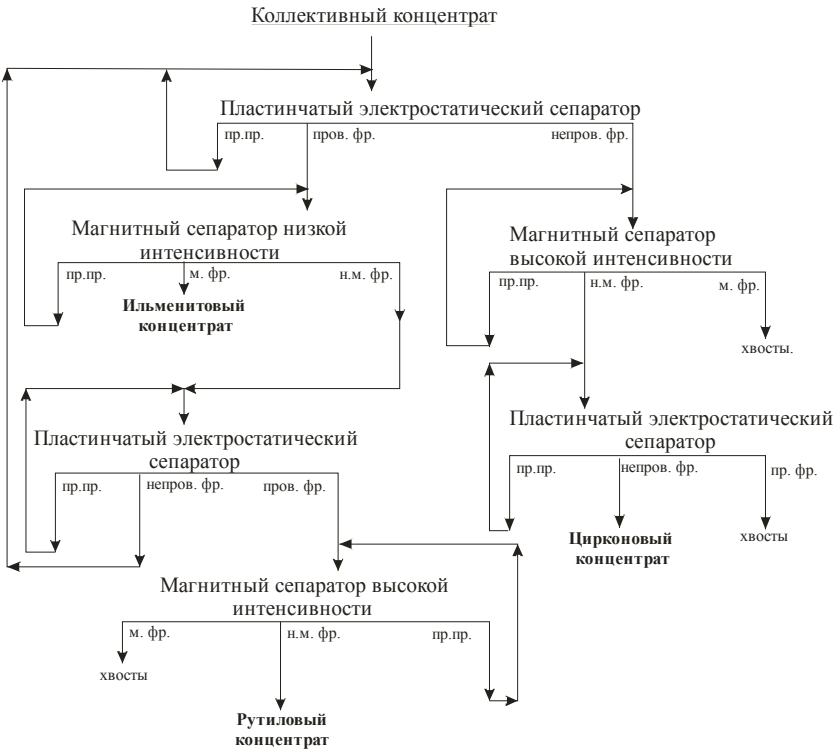

Рисунок 10 – Усовершенствованная технологическая схема переработки коллективных концентратов компании Минерал Депозитс Синдикэйт

На севере провинции Муррей-Бейсин австралийская компания Бетах Resources NL осуществляет проект Пункари (Pooncarie Project) по разработке крупнейших месторождений Гинкго (Ginkgo) и Снаппер (Snapper).

Ассоциация рудных минералов на месторождении Гинкго состоит, главным образом, из ильменита и его продуктов изменения, рутила, циркона с небольшим количеством турмалина, силиката алюминия и силиката титана (табл. 9).

Кроме того, на месторождении установлено минимальное, менее 5%, количество верхнего продукта грохочения (+3 мм).

Содержание шламов (<45 микрон) в рудных песках месторождения Гинкго в среднем составляет менее 2,5 процентов и вряд ли может представлять какие-либо технические трудности в процессе добычи и переработки исходных песков или удаления и утилизации отходов.

Укрупненно-лабораторные исследования по обогащению титан-циркониевых песков месторождения Гинкго проводились с целью разработки технологической схемы и получения ильменитовых, рутиловых и циркониевых концентратов [21].

Таблица 9

Состав ассоциации тяжелых минералов месторождения Гинкго

Минерал	Количественный анализ
Рутил (+95% TiO_2)	8,8-12,5%
Циркон	6,7-12,6%
Первичный ильменит (<54% TiO_2)	0,7-21,2%
Измененный ильменит (54-66% TiO_2)	32,4-9,0%
Лейкоксен (66-85% TiO_2)	4,5-12,6%
Силикаты алюминия	2,7-10,5%
Силикаты титана	5,5-11,4%
Моназит	0,3-0,8%
Хромит	0,7-1,1%
Шпинель	0,0-0,1%
Гетит	0,1-0,4%
Другие	1,2-6,2%

Первая стадия обогащения осуществлялась при использовании винтовых сепараторов в цикле получения чернового коллективного титан-циркониевого концентрата с последующей его доводкой на концентрационном столе Холмана.

Селективное разделение чернового титан-циркониевого коллективного концентрата осуществлялась методами магнитной и электрической сепарации. При этом были использованы:

– магнитный сепаратор Хемс при низкой и высокой напряженности магнитного поля в I и II стадиях доводки;

– высокоэффективные электростатические сепараторы компании Roche Mining (MT)'s Carrara и Ore Kinetic's Coronastat.

Применение эффективных электростатических сепараторов, производства компаний Roche Mining (MT)'s Carrara и Ore Kinetic's Coronastat, позволило значительно увеличить продуктивность процесса разделения ассоциации минералов на месторождении Гинкго. Это высокотехнологичное оборудование объединяет стандартные характеристики традиционных электростатических сепараторов с некоторыми характеристиками электростатических пластинчатых сепараторов для получения сепарации с высокой производительной мощностью, сочетаемой с увеличенной производительностью аппаратов. Аппараты этого типа будут использоваться во всех циклах сухого обогащения на фабрике.

В результате проведенных испытаний была установлена возможность получения ильменитового концентрата с содержанием 50-52% диоксида титана и 0,1% триоксида хрома, а также рутилового и циркониевого концентратов. При этом было показано, что черновой ильменитовый концентрат после предварительного обжига возможно методом магнитной сепарации довести до более качественного с содержанием триоксида хрома <0,05% при извлечении >90% диоксида титана.

Данный продукт будет приемлем для производства пигментного диоксида титана сульфидным способом и для плавки на шлак с целью получения металлического титана.

В заключение на опытно-экспериментальной установке было продемонстрировано, что восстановление обжигом ильменита на месторождении Гинкго приведет к снижению в нем большей части хромовых примесей и получению продуктов приемлемого качества, имеющих хороший сбыт, при извлечении диоксида титана более 80% от исходного [12,21].

В **ЮАР**, которая занимает третье место в мире по промышленным запасам титана, большая часть месторождений размещена в многочисленных комплексных прибрежно-морских россыпных ильменит-лейкоксен-рутиловых месторождениях. Среднее содержание тяжелой фракции в песках достигает 9%.

В настоящее время прибрежные пески месторождения Ричардс- Бей,, перерабатываемые фабрикой «Умгабага», содержат 8% тяжелой фракции, состоящей из ильменита, рутила, циркона, монацита и др., подвергаются первичному обогащению со сбросом в море 90% породообразующих ("пустых") минералов. Обогащение их производится принципиально по той же схеме, что и для других комплексных россыпей: первичное гравитационное обогащение и разделение коллективных концентратов магнитными, электрическими и гравитационными методами.

Особенностью процесса обогащения здесь является применение соленой морской воды и оттирки коллективных концентратов перед доводочными операциями. Из песков получают ильменитовый, рутиловый, циркониевый концентраты, а также монацитовый и гранатовый продукты.

Месторождения тяжелых минеральных песков Corridor Sands, расположенные в Центральной Африке около города Чибуто в Области Газа южного Мозамбика, представляют на сегодняшний день крупнейший источник добычи диоксида титана.

Титан-циркониевые пески по своему минеральному составу характеризуются следующим образом: - тяжелые минералы включают магнетит, ильменит, измененный ильменит, гематит, гетит, лейкоксен, хромит, рутил, анатаз, эпидот, пироксен, амфибол, андалузит, ставролит, циркон, сфен, монацит, гранат и кианит в переменных пропорциях. Ценные тяжелые минералы (ильменит, рутил, лейкоксен и циркон) – более мелкозернистые, чем другие тяжелые минералы и более мелкозернистые, чем вмещающий песок. Магнетит, ильменит, измененный ильменит, и хромит составляют большую часть магнитных фракций. Рутил, циркон и андалузит по существу представлены немагнитной фракцией.

В результате укрупнено-лабораторных испытаний была разработана технологическая схема, включающая гравитационное обогащение на спиральных концентраторах и вибрационных столах, позволяющая выделить черновые ильменитовый, а также богатые цирконом и рутилом концентраты. Последние два концентрата были высушены и доведены по сухой схеме обогащения на электростатических сепараторах с получением товарного рутилового концентрата и цирконового промпродукта, который требует дальнейшей доводки.

Технологическая схема для влажного гравитационного цикла использовала большое количество вибрационных столов, которые являются трудоемкими, приводя к высоким эксплуатационным расходам. Для сокращения числа столов было предложено альтернативное оборудование. Дополнительная классификация в голове процесса и применение отсадочных машин Kelsey для влажного гравитационного цикла значительно упростило технологическую схему на стадии выделения черновых концентратов.

Ранее предложенная технологическая схема доводки рутилового и циркониевого концентратов не позволяла получить высокосортные одноименные концентраты из-за высокого содержания олова и оксидов железа соответственно. Усовершенствование технологии доводки концентратов рутила и циркона была основана на использовании отсадочных машин Kelsey и введением операции концентрации на вибрационных столах [12].

В **США** практический интерес представляют россыпные прибрежно-морские месторождения побережья Флориды и Вирджинии, комплексные по минеральному составу. Наибольшим в США россыпным месторождением является Трейл-Ридж. Активно эксплуатируется и месторождение Олд-Хистори в штате Вирджиния, содержащее высококачественные руды, общие запасы которых составляют 73 млн. т (8,1 % тяжелых минералов), а подтвержденные – 27 млн. т (12 % тяжелых минералов) [12,16].

Рудоносные пески добываются земснарядом и подвергаются первичному обогащению на плавучей обогатительной установке, где пески, добытые земснарядом, предварительно разрыхленные взрыванием, подвергаются грохочению для отделения крупного материала и обезвоживанию. Галя (более +6,4 мм) додрабливается и тоже поступает на обогащение. С помощью винтовых сепараторов производится первичное гравитационное обогащение песков крупностью -6,4+0 мм, а затем на винтовых сепараторах производят их перечистку, в результате которой получают коллективный концентрат тяжелых минералов и отвальные хвосты.

Коллективный концентрат по пульпопроводу перекачивается на береговую доводочную фабрику, где с использованием электрических и магнитных методов получают селективные ильменитовый и циркониевый концентраты (рис. 11).

Компания Пика Resources разрабатывает россыпное титаново-циркониевое месторождение Грин-Коув-Спринг (Green Cove Springs), расположенное в штатах Флорида и Джорджия, где работают дражный рудник, карьер, две обогатительных установки и установка сухой сепарации, а также (месторождение Оулд-Хикори (Old Hickory) в штате Вирджиния, разрабатываемое карьером, руда с которого поступает на фабрику сухой сепарации в штате Вирджиния.

Таким образом, Америка является одним из крупнейших в мире производителей титановых и циркониевых концентратов.

Крупным производителем ильменитовых, рутиловых, циркониевых и монацитовых концентратов из прибрежно-морских песков является **Индия**. Запасы протягивающихся на сотни километров вдоль современного берега песков весьма значительны. В тяжелой фракции песков преобладает ильменит (60-80%), 3-6% составляет рутил, 3-7%– циркон, 1-10% – монацит, 2-5% – силлиманит и др. [12,16].Эти пески являются природными концентратами и операции по первичному обогащению прибрежно-морских песков в Индии практически отсутствуют. Затем этот коллективный концентрат предварительным грохочением на ситах освобождают от обломков пород, ракушек, корней растений и разделяют методами магнитной, электрической сепарации, гравитации и флотации на почти мономинеральные ильменитовый, рутиловый, монацитовый, циркониевый и силлиманитовый концентраты [12].

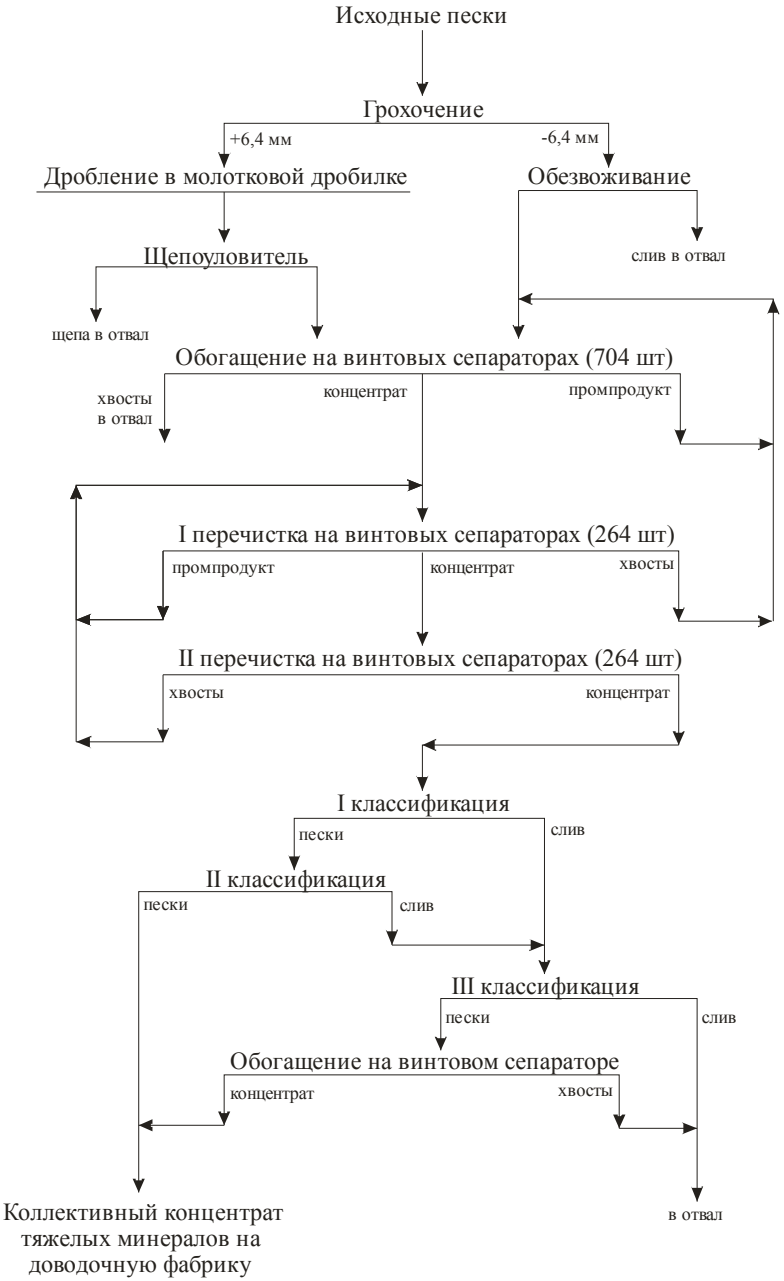

Рисунок 11 – Схема получения коллективного концентрата на фабрике «Трейл-Рэдж» (США).

Выводы

1. В мировой практике сложились стандартные экологически малонапряженные технологические схемы обогащения титан-циркониевых россыпей: мокрая концентрация тяжелых минералов на гравитационных аппаратах (винтовых, конических сепараторах, концентрационных столах и др.); черновой концентрат гравитации обычно доводится мокрой или сухой магнитной сепарацией на электромагнитных валковых, роликовых или роторных сепараторах; концентрат магнитной сепарации далее подвергается электросепарации на коронных электростатических сепараторах.

2. Для первичного обогащения россыпей обогатительные установки рекомендуется устанавливать непосредственно на месте добычи песков («на борту карьера»). Для получения из них коллективного концентрата в основном применяют гравитационные методы обогащения, с помощью которых в отвальные хвосты удаляется в среднем от 50 до 90% пустой породы.

3. Для селективного выделения ценных минералов из коллективного концентрата используются различия в электрических и магнитных свойствах минералов.

Технологическая схема доводки коллективных титан-циркониевых концентратов на всех объектах более или менее однотипна и состоит из ряда перечистных операций: электромагнитной и электрической сепарации, сопровождаемых гравитационным обогащением на концентрационных столах.

В магнитной фракции концентрируется ильменит, в немагнитной - циркон и рутил, которые затем разделяются на проводниковую фракцию (рутил) и непроводниковую (циркон).

4. В Российской Федерации нет действующих предприятий по обогащению циркон-рутил-ильменитовых рудных песков прибрежно-морского типа. Для многих месторождений этого типа различными НИИ (Гиредмет, ВИМС, ИМГРЭ и др.) разработаны и испытаны в опытно-промышленных масштабах технологические схемы обогащения наиболее изученных в минералого-технологическом плане россыпных месторождений России – Центрального в Тамбовской и Лукояновского в Нижегородской областях, Бешпагирского в Ставропольском крае, а также Туганского и Тарского в Сибири. Эти схемы легли в основу проектных разработок по их освоению.

5. Разработанные принципиальные гравитационно–магнитно–электрические схемы обогащения этих титан–циркониевых россыпей показали возможность выделения из них ильменитового (содержание диоксида титана 52–62% при извлечении от руды 70–80%), цирконового (содержание диоксида циркония 60–65% при извлечении от руды 86–88%), рутилового (содержание диоксида титана 85–94% при извлечении от руды до 40%), а также лейкоксеновых и рутил–лейкоксеновых продуктов.

6. Сравнение применяемых технологий показывает, что принципиальная схема обогащения продуктивных песков примерно однотипна и различия сводятся в основном к применяемому оборудованию. Операции получения гравитационного чернового коллективного концентрата проводятся обычно на винтовых сепараторах, винтовых шлюзах и концентрационных столах, а последующая его доводка - методами электрической и магнитной сепарации, в ряде случаев с применением восстановительного обжига.

Использование нового оборудования особенно эффективно для обогащения труднообогатимых тонкозернистых песков, поскольку оно позволяет гравитационными методами снизить нижний предел извлекаемой крупно-

сти рудных минералов до 0,03 мм и даже до 0,02 мм, тогда как ранее гранулометрические классы <0,074 мм могли быть извлечены только флотацией

7. Одной из основных задач в настоящее время является усовершенствование технологии обогащения титан–циркониевых россыпей России с целью повышения извлечения ильменита до 85%, циркона до 91%, рутила до 90% при одновременном повышении содержания титана и циркония и снижении вредных примесей железа, алюминия, фосфора, серы.

Наряду с вышесказанным следует решить задачу создания высокопроизводительных передвижных модулей для первичного обогащения титан–циркониевых песков, способных функционировать в системе «на борту карьера» эксплуатируемых месторождений.

8. Из анализа зарубежного промышленного опыта обогащения титан-циркониевых россыпных месторождений, можно установить следующее – в мировой практике титан-цирконовые россыпи обогащаются в два приема:

– выделение всех тяжелых минералов (ильменит, рутил, циркон, монацит, магнетит и пр.) в черновой коллективный концентрат, обычно гравитационными методами, при этом стремятся получить максимальное извлечение ценных минералов в коллективный концентрат. Также могут использоваться комбинированные схемы с применением магнитной и электростатической сепарации по двум вариантам: схемы, в которых в первой стадии обогащения применяется магнитная сепарация и схемы, в которых в первой стадии обогащения применяется электростатическая сепарация.

– доводка черновых коллективных концентратов с целью получения высококачественных кондиционных мономинеральных концентратов. В схемах доводки обычно применяют магнитные, электрические методы обогащения, а также гидравлическую или пневматическую сепарацию на столах. В большинстве случаев в голове процесса доводки используется электростатическая сепарация.

Список литературы

1. *Быховский Л.З., Блинов В.А., Зубков Л.Б., Патык–Кара Н.Г.* Перспективы комплексного использования титаноциркониевых россыпных месторождений России//Горный журнал, 1997, № 8, с. 22–26;

2. *Быховский Л.З., Зубков Л.Б., Патык–Кара Н.Г.* Перспективы промышленного освоения титано–циркониевых россыпей Русской платформы//Руды и металлы, 1996,№ 2, с. 28–38;

3. Бюллетень иностранной коммерческой информации//ВНИКИ.– 2009. № 4. –С.16;

4. Древние редкометально–титановые россыпи, методы их поисков и оценки/ «Недра», М., 1964;

5. *Е.Н. Левченко* Прогнозирование технологических свойств титан–циркониевых россыпей России на ранних стадиях геологоразведочных работ/ М.: ИМГРЭ, 2007 197 с.;

6. *Корзун В.К., Зубков Л.Б., Чистов Л.Б.* Современное состояние сырьевой базы титана и циркония в России и эффективные пути промышленного освоения российских месторождений/ГИРЕДМЕТ–70 лет в металлургии редких металлов и полупроводников. Юбилейный сборн. научн. тр. к 70-летию ГИРЕДМЕТА. М.: 2001. с 41–51;

7. *Левченко Е.Н.* Влияние вещественного состава на технологические свойства титан–циркониевых россыпей//Разведка и охрана недр, 2004, 311,с. 44–48;

8. *Левченко Е.Н.* Использование нового оборудования при переработке титан–циркониевых россыпей//Геологическая служба и минерально–сырьевая база России на пороге XXI века. –Спб:2000, с. 407–409;

9. *Левченко Е.Н.* Новые подходы при извлечении сырья с трудноизвлекаемыми компонентами// Разведка и охрана недр, 2004, №3, с.91–94;

10. Левченко Е.Н. Новые прогрессивные технологии добычи и переработки титан–циркониевых россыпей России/М.: ИМГРЭ, 2004;

11. *Левченко Е.Н., Башлыкова Т.В., Чантурия Е.Л.* Использование новых методов и технологий при изучении комплексных редкометалльных песков.//Цветные металлы.–М.:2000, № 5, с. 8–12;

12. *Олейник Т.А., Гурьянова Т.П., Колобов Г.А. и др.* Развитие технологий добычи, обогащения и переработки титанового сырья в мире и Украине/ Криворожский государственный технический университет. с. 1-14;

13. *Осокин Е.Д., Бойко Т.Ф., Линде Т.П.* минеральное сырьё. Цирконий и гафний. Справочник/М:ЗАО «Геоинформмарк», 1997. 40 с.;

14. Перспективы развития добывающей и перерабатывающей промышленности Тарского района. Бесчастный А.М., Ницевич О.А., Холодов П.И.. Значение минерально–сырьевой базы в социально–экономическом развитии Омской области//материалы областной научно–практической конференции, посвящённой 300–летию горно–геологической службы России. Омск: Курьер. 200, с. 156–159;

15. Титано–циркониевые месторождения России и перспективы их освоения. Тезисы докладов/М.:ИГЕМ РАН, 2006, 86 с.;

16. Цирконий и гафний России: Современное состояние, перспективы освоения и развития минерально–сырьевой базы. Л.З. Быховский, Л.П. Тигунов, Л.Б. Зубков, Е.А. Калиш, Е.Н. Левченко, Л.И. Ремизова//Минеральное сырьё, серия геолого–экономическая № 23, –М.: ВИМС, 2007, 127 с.;

17. Alluvial mining and dredge mining - sound History and bright future. // International Mining and Minerals, 2000, v. 3, № 30, p. 144-147. №31, p. 179-182;

18. Easing the zircon supply squeeze. // Industrial minerals, 2004, June, p. 10-11. Mineral Annual Review, 1995, p. 68-70;

19. Heavy Minerals Conference "Current challenges in heavy mineral exploitation". The South African institute of mining and metallurgy. Johannesburg. 2003.242 p.;

20. Heavy Minerals Conference Proceedings. Edited Mustafa Akser and John Elder, Ponte Vedra, Jacksonville, Florida. 2005,280 p.;

21. *FVERETT, S.C, SCHACHE, I.S., BALDERSON, G.F. и BANNISTER, P.A.* Проект разработки месторождения Pooncarie - Технические проблемы. *Тяжелые минералы 2003,* Йоханнесбург, Южно-Африканский Институт горного дела и металлургии, 2003г. с. 81-93.

ОПТИМИЗАЦИЯ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНОЙ СУЛЬФИДНОЙ РУДЫ, СОДЕРЖАЩЕЙ БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Д.т.н. С.П. Иванков, Д.Г. Петкевич

(ФГУП «ВИМС»)

Прогресс в области обогащения в значительной мере определяется усовершенствованием реагентных режимов флотации как одного из основных методов переработки минерального сырья. При этом решаются принципиальные задачи, другими методами не решаемые или решаемые неудовлетворительно: вовлечение в переработку труднообогатимого сырья, создание малоотходных технологий, *решение экологических вопросов (использование малотоксичных реагентов, вовлечение в переработку отходов горно-обогатительных комбинатов, рекультивация земель, занятых под хвостохранилища и т.д.), повышение технологических показателей в уже освоенном процессе.*

Реагентные режимы флотации во многом определяют возможности технологии обогащения рудного сырья и её показатели – извлечение ценных компонентов и качество получаемых концентратов – и, как следствие, экономику процесса в целом.

Таким образом, оптимизация флотационного обогащения представленной сульфидной медной руды, содержащей благородные металлы, является актуальной задачей при разработке технологии её обогащения.

Исследования по магнитно-флотационной схеме обогащения медно-сульфидной руды, содержащей благородные металлы, были проведены на продуктах предварительной крупнокусковой рентгенорадиометрической сепарации (концентрат + отсев) исходной руды.

Представленная на исследования проба исходной руды характеризует средние медно-сульфидные руды, представленные средне-мелкозернистыми меланогаббро-диоритами (40-50%), крупно-среднезернистыми субщелочными габбро-диоритами (20-30%) сканированными карбонатными породами (20-30%).

Основными ценными компонентами в пробе являются: медь – 0,53%; платина – 0,26 г/т; палладий – 0,97 г/т; золото – 0,24 г/т; серебро – 1,18 г/т.

В результате предварительного крупнокускового радиометрического обогащения был получен суммарный продукт, направляемый на обогащение по магнитно-флотационной схеме, при содержании в нем ценных компонентов и их извлечении от руды, соответственно: медь – 0,64%, 93,92%; платина – 0,32 г/т, 93,68%; палладий – 1,17 г/т, 94,19%; золото – 0,29 г/т, 95,11%; серебро – 1,41 г/т, 93,58%.

Минеральный состав пробы исходной руды приведён в табл. 1.

Гранулометрическая характеристика объединенного продукта РРС, дробленого до крупности -1+0 мм, представлена в табл. 2.

Анализируя данные гранулометрической характеристики можно установить следующее:

– крупные классы (-2+0,2 мм), суммарный выход которых составляет 71,6%, практически равномерно обогащен ценными компонентами, при этом распределение меди, платины, палладия и золота в них составляет, соответственно: 57,75%, 53,55%, 65,40%, 67,90%;

– в мелких классах (флотационной крупности) (-0,2+0 мм), суммарный выход которых составляет 28,4%, содержание ценных компонентов повышенное по сравнению с крупными классами (медь – 0,63-0,97%, платина – 0,34-0,62 г/т, палладий – 1,20-1,89 г/т, золото – 0,31-0,47 г/т), при этом суммарное распределение этих элементов составляет, соответственно, %: 42,25; 46,45; 34,60; 32,70;

– максимально обогащены тонкие классы -0,071+0,10 мм, однако при этом класс -0,010+0 мм, практически необогащаемый, беднее предыдущих при минимальном распределении в нем ценных компонентов;

– выход наиболее раскрытого по минеральному составу класса -0,1+0 мм (по данным изучения вещественного состава Б.И. Пироговым) составляет всего 18,65%, причем в необогащаемых шламах -0,010+0 мм масса материала распределена по выходу на 2,2%, что свидетельствует о возможном минимальном ошламовании руды при последующем измельчении;

– суммарный выход класса, поступающего на измельчение (-2+0,071 мм), составляет 84,65%.

Таблица 1

Минеральный состав пробы исходной руды

№ пп	Минералы	Содержание, %
Рудные		
1	Халькопирит	4,0
2	Пирротин	3,2
3	Пентландит + Co-пентландит	1,4
4	Пирит	1
5	Ковеллин	2,0
6	Борнит	
7	Гидрооксиды Fe	
8	Кобальтин	2,0
9	Арсенопирит	
10	Ti-магнетит и магнетит	6,0
11	Ильменит	2,5
12	МПГ, сульфиды – миллерит, бравоит и др., сульфоарсениды	1,6
Нерудные		
13	Плагиоклаз	23,8
14	Калиевый полевой шпат	6,9
15	Слюда, гидрослюда	4
16	Пироксены	10
17	Амфиболы	7,0
18	Серпентин	10,
19	Хлорит + Эпидот	2,6
20	Кварц	5,0
21	Кальцит	5,0
22	F-апатит	2,0

Таблица 2

Гранулометрический анализ объединенного продукта РРС крупности -1+0 мм, %

Класс крупности, мм	Выход	Медь		Серебро		Палладий		Платина		Золото	
		Сод-е	Распр-е	Сод-е, г/т	Распр-е	Сод-е, г/т	Распр-е	Сод-е, г/т	Распр-е	Сод-е, г/т	Распр-е
-2+1	10,60	0,48	7,80	1,7	11,05	1,01	9,00	0,13	6,70	0,28	9,70
-1+0,5	38,30	0,51	29,80	1,3	30,50	1,12	36,10	0,18	31,55	0,30	37,50
-0,5+0,2	22,70	0,58	20,15	1,5	20,85	1,06	20,30	0,13	14,30	0,28	20,70
-0,2+0,1	9,75	0,68	10,10	1,4	8,35	1,20	9,85	0,17	8,05	0,31	9,85
-0,1+0,071	3,30	0,84	4,25	1,9	3,85	1,29	3,60	0,34	4,45	0,32	3,45
-0,071+0,045	2,45	0,97	3,70	2,2	3,30	1,44	3,00	0,59	7,00	0,38	3,00
-0,045+0,020	7,50	1,48	17,00	2,6	11,95	1,89	11,90	0,62	22,60	0,47	11,50
-0,020+0,010	3,20	0,94	4,60	2,9	5,70	1,51	4,05	0,19	2,95	0,28	2,70
-0,010+0	2,20	0,76	2,60	3,3	4,45	1,18	2,20	0,13	1,40	0,22	1,60
Объединенный продукт РРС	100,0	0,65	100,0	1,6	100,0	1,19	100,0	0,21	100,0	0,31	100,0

На первом этапе исследований был осуществлен выбор оптимальной тонины помола и режима измельчения данной руды для последующей технологии магнитно-флотационного обогащения.

По данным предыдущих исследований на пробах медно-сульфидной руды и результатам изучения вещественного состава данной пробы, максимальное раскрытие медных минералов наблюдается при тонине помола -0,071+0 мм. Вследствие этого были проведены лабораторные исследования по выбору оптимальных режимов мокрого шарового измельчения перед операциями магнитной сепарации и флотации.

Измельчение проводилось в шаровой мельнице 40МЛ с поворотной осью при соотношении Т : Ж : Ш = 1 : 1 : 6 и начальной продолжительности помола 35 минут. Для улучшения флотации сульфидов в измельчение подавали известь при расходе 1 кг/т.

Исследования проводились по магнитно-флотационной схеме, представленной на рис. 1 при постоянных условиях эксперимента:

– масса навески 500 г;

– объем флотационной камеры 1,5 л;

– предварительная мокрая магнитная сепарация при напряженности магнитного поля 500 эрст;

– расход собирателя (бутиловый ксантогенат) в основную флотацию 40 г/т;

– расход вспенивателя (Т-80) в основную флотация 30 г/т;

– продолжительность перемешивания с собирателем и вспенивателем по 3 минуты;

– продолжительность основной флотации 8 минут;

– расход собирателя в контрольную флотацию 20 г/т;

– расход вспенивателя в контрольную флотацию 20 г/т;

– продолжительность контрольной флотации 7 минут;

Результаты экспериментов по изучению зависимости качества хвостов флотации от продолжительности измельчения, приведенные в табл. 3 и иллюстрированные графиками (рис. 2-5), показывают, что оптимальная продолжительность измельчения составляет 50-55 минут для исходного материала крупностью -1+0 мм, что подтверждено минералогическим изучением характера раскрытия халькопирита и минералов нерудной фазы по классам крупности (-0,1+0,071 мм и -0,071+0,045 мм) в измельченном исходном продукте (табл. 4 и 5).

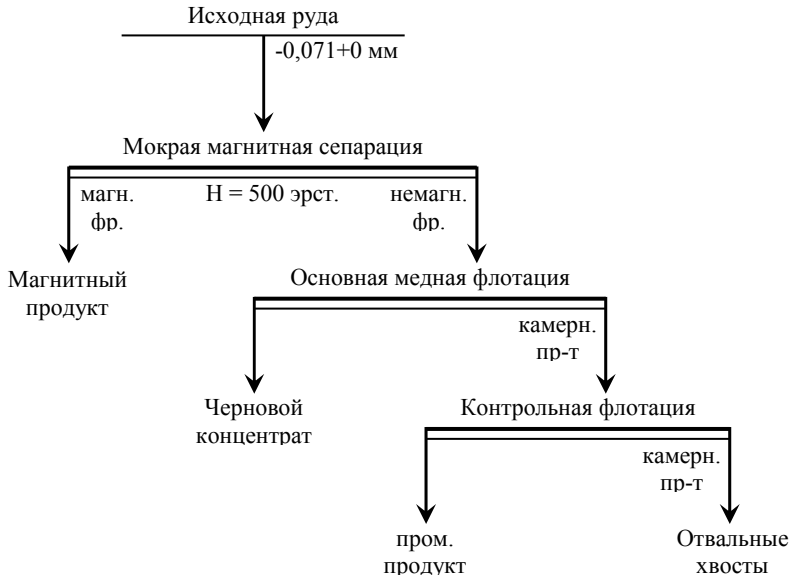

Рис. 1. Магнитно-флотационная схема обогащения при оптимизации режима измельчения

Таблица 3

Зависимость качества хвостов флотации от продолжительности измельчения

Продолжительность измельчения, мин	Содержание элементов в хвостах флотации			
	Медь, %	Золото, г/т	Платина, г/т	Палладий, г/т
35	0,097	0,13	0,06	0,46
40	0,084	0,12	0,06	0,43
45	0,081	0,11	0,05	0,41
50	0,075	0,12	0,07	0,42
60	0,072	0,11	0,04	0,39
65	0,070	0,11	0,05	0,37
70	0,070	0,11	0,07	0,39
75	0,070	0,11	0,07	0,39
Содержание в исходном продукте	0,650	0,31	0,21	1,19

Таблица 4

Особенности раскрытия халькопирита и минералов нерудной фазы по классу крупности -0,1+0,071 мм при оптимальном режиме измельчения

Типы сростков	Изменение содержаний (объемные %) в сростках с учетом их классификации	Характер раскрытия по содержанию сростков (объемные %)		
		Общее содержание	Доля фазы в сростках	
			Рудной	Нерудной
Свободные рудные зерна	96-100, Ср-98	11,2	11,2	0
Богатые сростки	95-71, Ср-83	5,1	4,2	0,9
Рядовые сростки	70-31, Ср-50,5	6,9	3,5	3,4
Бедные сростки	30-6, Ср-18	13	2,3	10,7
Свободные нерудные зерна	0-5, Ср-2,5	50,8	0	50,8
Свободные зерна преимущественно пентландита, пирротина и др. сульфидов и магнетита		13	13	0
Раскрытие халькопирита – $K_p^{хп}$=52,8%; $K_{нр}$=77%				

Таблица 5

Особенности раскрытия халькопирита и минералов нерудной фазы по классу крупности -0,071+0,045 мм при оптимальном режиме измельчения

Типы сростков	Изменение содержаний (объемные %) в сростках с учетом их классификации	Характер раскрытия по содержанию сростков (объемные %)		
		Общее содержание	Доля фазы в сростках	
			Рудной	Нерудной
Свободные рудные зерна	96-100, Ср-98	19,5	19,5	0
Богатые сростки	95-71, Ср-83	3,1	2,6	0,5
Рядовые сростки	70-31, Ср-50,5	2,3	1,2	1,1
Бедные сростки	30-6, Ср-18	6,3	1,1	5,2
Свободные нерудные зерна	0-5, Ср-2,5	45,8	0	45,8
Свободные зерна магнетита, преимущественно пирротина, пентландита и др. сульфидов		23	23	0
Раскрытие халькопирита – $K_p^{хп}$=79,9%; $K_{нр}$=87%				

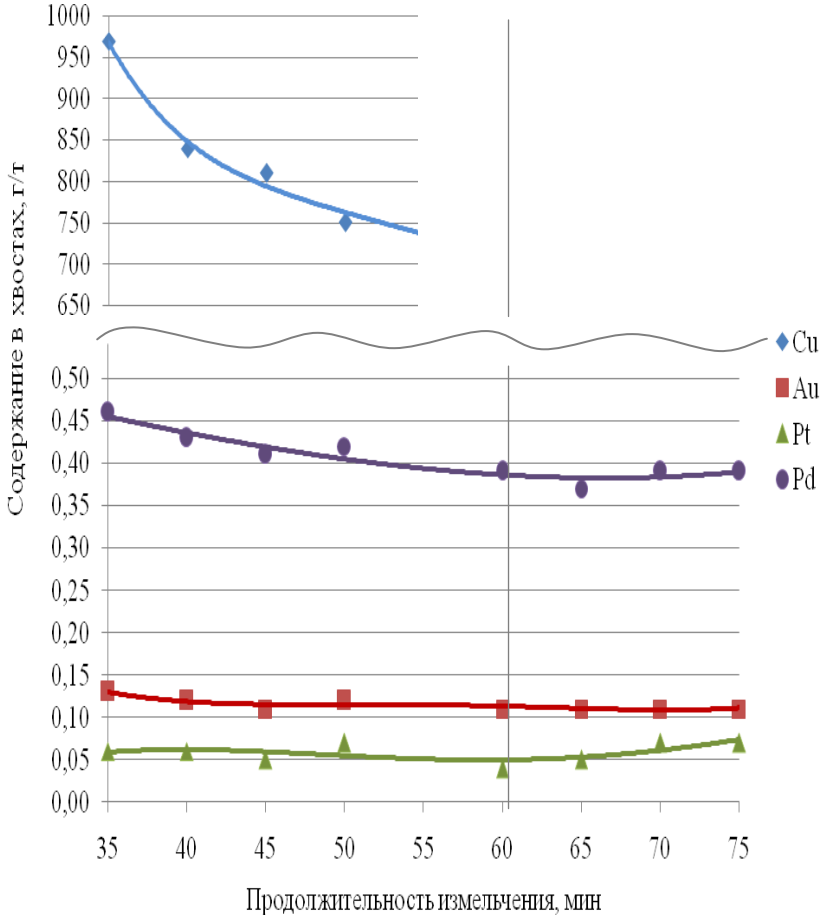

Рис. 2. Зависимость качества хвостов флотации
от продолжительности измельчения

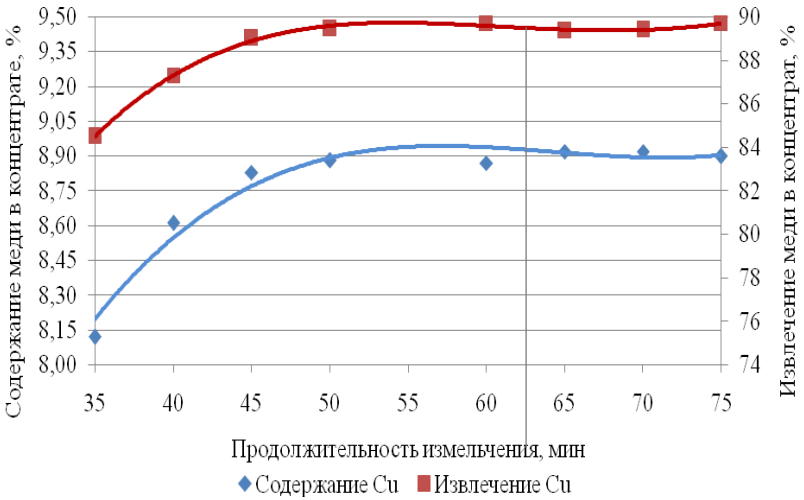

Рис. 3. Зависимость технологических показателей медной флотации от продолжительности измельчения

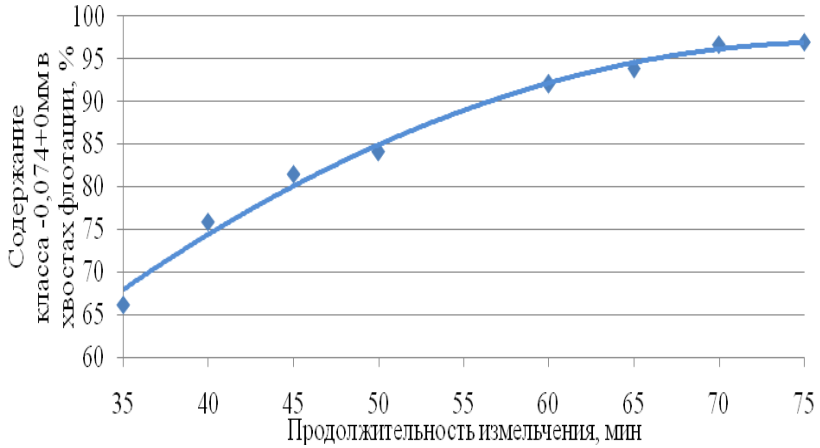

Рис. 4. Зависимость содержания класса крупности -0,071+0 мм в хвостах флотации от продолжительности измельчения

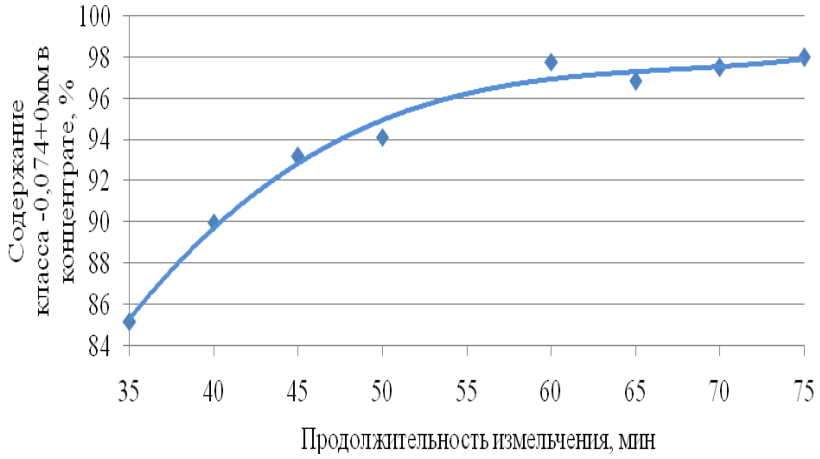

Рис. 5. Зависимость содержания класса крупности -0,071+0 мм в концентрате от продолжительности измельчения

На втором этапе исследований решалась задача получения концентрата с содержанием меди 22-25% при максимальном извлечении (80-85%) и установлением возможности извлечения в медный концентрат палладия, платины и золота. Ввиду крайне низкого содержания серебра как в руде (1,18 г/т) так и в суммарном продукте рентгенорадиометрической сепарации (1,4 г/т), концентрация этого благородного металла в медном продукте не представлялась целесообразной.

Проведенные эксперименты по флотации меди и благородных металлов в оптимальном режиме измельчения с использованием стандартного реагентного режима (бутилового ксантогената в качестве основного собирателя и вспенивателя Т-80 при их расходах, соответственно, 40 и 20 г/т), показали, что в этих условиях получить качественный медный концентрат с высоким извлечением не удается, кроме того, перечистные операции в присутствии извести проходят неэффективно ввиду сложного минерального состава пустой породы, представленной плагиоклазом (23,8%), пироксенами (10%), серпентином (10%), амфиболами (7%), полевым шпатом (6,9%), гидрослюдой (4%) и др. (по данным Б.И. Пирогова).

Результаты экспериментов, проведенных в этом направлении, представленные на рис. 6 и в табл. 6, подтверждают вышесказанное.

Анализируя полученные результаты, можно отметить следующее:

– получен концентрат с содержанием меди 18,6% при извлечении 67,95%, при этом содержание палладия, платины и золота составляет в нем, соответственно, г/т: 13,13; 3,8; 2,88 при их извлечении, соответственно, %: 25,4; 33,7; 21,4;

– значительные потери ценных компонентов связаны с промпродуктами и хвостами, что свидетельствует о неудовлетворительном протекании процесса флотации в стандартном реагентном режиме с использованием в качестве собирателя бутилового ксантогената.

В связи с этим были проведены исследования с использованием в качестве основного собирателя менее активного, но более селективного реагента – изобутилового ксантогената при минимальном («голодном») его расходе (15-20 г/т), при этом было резко сокращено время основной флотации (2 мин) и была проведена вторая основная флотация (3 мин), а также было сокращено время контрольной флотации с 12 до 7 мин [1,2,3].

Эти изменения преследовали следующее:

– выделение медной «головки» (22-24% меди) при извлечении 55-60%;

– получение медного концентрата второй основной флотации с содержанием 8-10% при извлечении меди 15-20%;

– снижение загрязнения медного концентрата первой и второй основной флотации, а также контрольной флотации флотоактивными минералами пустой породы, которые, по-видимому, потребуют использования, кроме извести, более сложной номенклатуры реагентов-депрессоров.

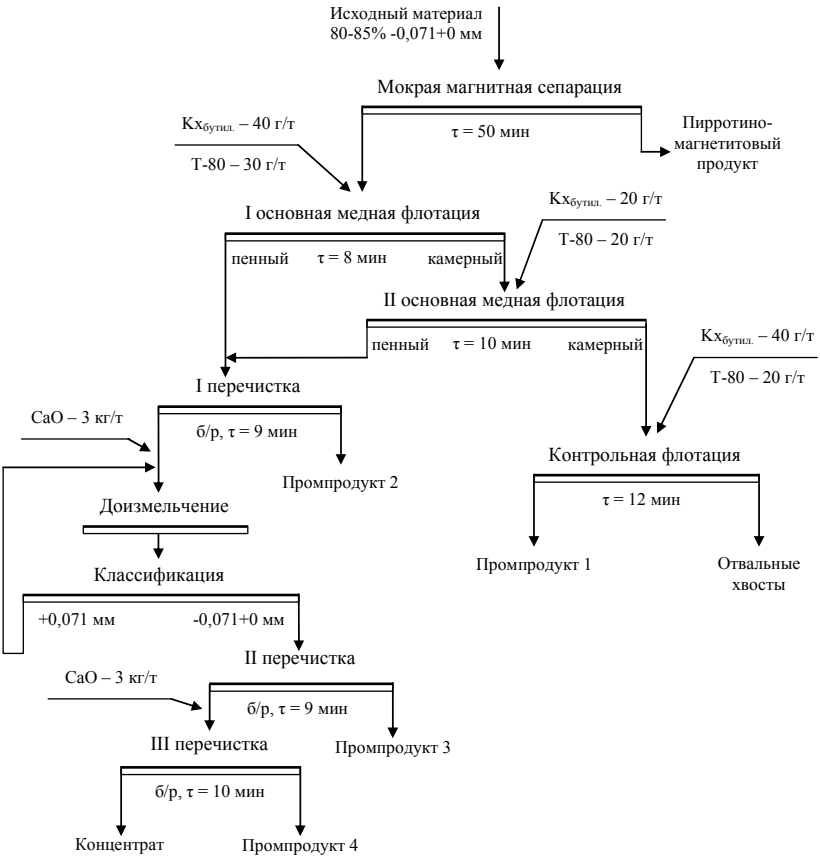

Рис. 6. Магнитно-флотационная схема обогащения в открытом цикле по стандартному реагентному режиму

Таблица 6

Результаты обогащения при оптимальном режиме измельчения с использованием стандартного реагентного режима, %

Наименование продуктов	Выход	Медь		Золото		Платина		Палладий	
		Содержание	Извлечение	Содержание, г/т	Извлечение	Содержание, г/т	Извлечение	Содержание, г/т	Извлечение
Пирротино-магнетитовый продукт	4,90	0,31	2,40	0,85	13,4	0,30	7,0	1,91	7,9
Медный концентрат	2,30	18,60	67,95	2,88	21,4	3,80	33,7	13,13	25,4
Суммарный промпродукт	4,55	3,80	17,3	2,5	36,7	0,99	21,5	8,92	34,1
Отвальные хвосты	88,25	0,088	12,35	0,10	28,5	0,09	37,8	0,44	32,6
Исходный продукт	100,0	0,65	100,0	0,31	100,0	0,21	100,0	1,19	100,0

Магнитно-флотационная схема обогащения с использованием изобутилового ксантогената представлена на рис. 7, а результаты эксперимента – в табл. 7.

Таблица 7

Результаты флотации в открытом цикле с использованием изобутилового ксантогената, %

Продукты	Выход	Медь	
		Содержание	Извлечение
Пирротино-магнетитовый продукт	4,0	0,4	2,45
Концентрат I	1,6	23,9	58,6
Концентрат II	1,2	8,64	15,9
Суммарный медный концентрат	2,8	17,36	74,5
Концентрат контрольной флотации	2,2	3,16	10,65
Хвосты	91,0	0,089	12,4
Исходный продукт	100,0	0,65	100,0

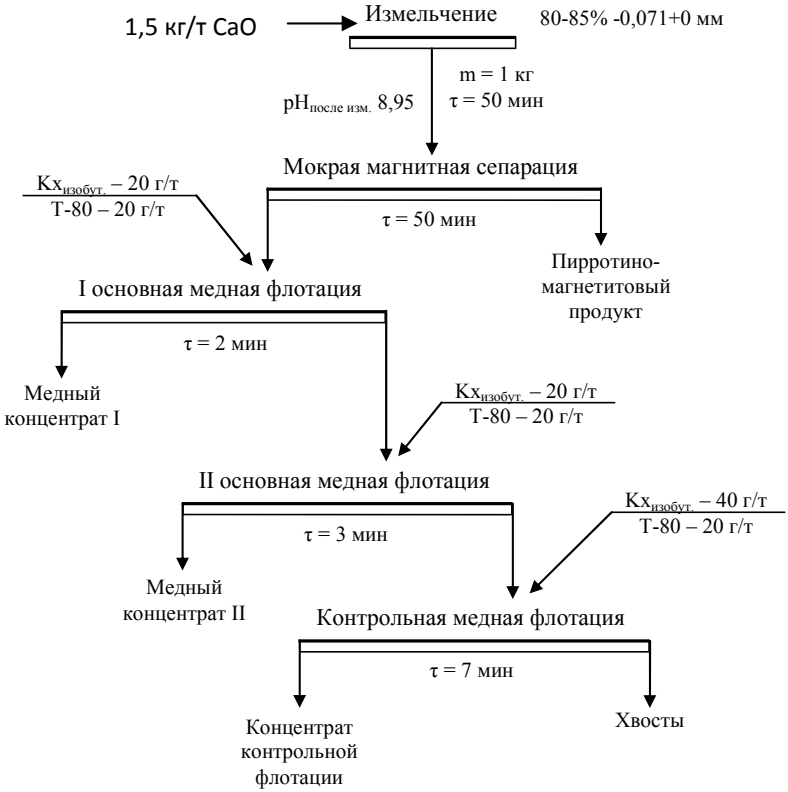

Рис. 7. Магнитно-флотационная схема обогащения в открытом цикле с использованием изобутилового ксантогената

Анализируя полученные результаты, можно отметить следующее:

– выделена медная «головка» с содержанием меди 23,9% при извлечении 58,6%;

– получен черновой медный концентрат (II основной флотации) с содержанием меди 8,64% при извлечении 15,9%;

– получен концентрат контрольной флотации с содержанием меди 3,16% при извлечении 10,65%, который является резервом повышения суммарного извлечения меди в перечистных операциях;

– общее извлечение меди в суммарный медный продукт, содержащий 12,62% меди, составило 85,15%.

Далее были проведены эксперименты на массе пробы 3,0 кг (в каждом опыте) с целью установления режима перечистных операций концентратов I и II основной флотации. Кроме того, в схему флотации была введена операция III основной флотации, а продукты перечисток поступали на доизмельчение до крупности 100% -0,071+0 мм.

Результаты эксперимента представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты обогащения в открытом цикле с перечистками черновых медных концентратов

Продукты	Выход, %	Медь		Золото		Платина		Палладий	
		Содержание, %	Извлечение, %	Содержание, г/т	Извлечение, %	Содержание, г/т	Извлечение, %	Содержание, г/т	Извлечение, %
Пирротино-магнетитовый продукт	4,0	0,40	2,4	1,29	16,6	0,268	5,1	1,65	5,6
Концентрат I	0,95	26,10	37,70	5,84	36,0	3,14	28,5	16,9	27,1
Концентрат II	0,95	22,40	32,6						
Концентрат III	0,40	5,00	5,30						
Суммарный концентрат	2,30	21,00	75,60						
Суммарный промпродукт	3,50	2,06	10,95						
Концентрат контрольной флотации	2,10	0,89	2,85						
Отвальные хвосты	88,10	0,061	8,20	0,12	34,1	0,0836	35,1	0,382	28,3
Исходный продукт	100,0	0,66	100,0	0,31	100,0	0,21	100,0	1,19	100,0

Следует отметить, что в качестве депрессоров пустой породы были использованы жидкое стекло и декстрин [1,2,3].

Список литературы

1. *Л.Я. Шубов, С.П. Иванков.* Запатентованные флотационные реагенты. Справочное пособие. г. Москва, НЕДРА, 1992г.,

2. *Л.Я. Шубов, С.П. Иванков, Н.К. Щеглова.* Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. Книга 1.Справочник. г. Москва, НЕДРА, 1990г.;

3. *Л.Я. Шубов, С.П. Иванков, Н.К. Щеглова.* Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья. Книга 2.Справочник. г. Москва, НЕДРА, 1990г.;

МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ ВЯЖУЩИЕ КАК СОВРЕМЕННЫЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

Д.т.н. С.П. Иванков (ФГУП «ВИМС»),

к.т.н. В.В. Иванова (НИИСУ),

Д.Г. Петкевич (ФГУП «ВИМС»)

Введение

Вяжущие на основе магнезиальных составов открыты в 1867 году французским инженером и изобретателем Станиславом Сорелем. А уникальность бетонов на основе магнезиальных составов впервые опробованы в России в 30-е годы XX века. Мосты, здания, наливные полы, построенные по данной технологии, великолепно служат уже более 80 лет и не потеряли своих технических и потребительских характеристик.

За рубежом в середине 50-х годов XX века, благодаря большому объему исследований и появлению новых материалов, старые идеи обрели новую жизнь. Немаловажную роль сыграла также *практически идеальная экологическая безопасность материалов на основе магнезиального камня*. Разработанные технологии позволили создать целый ряд новых составов, существенно увеличить влагостойкость и сохранить уникальные физико-механические свойства материала.

Очень важной для комплекса физико-механических свойств материала является игольчато-древовидная структура кристаллов, которая и обеспечивает материалу, несмотря на высокую твердость, устойчивость к ударным нагрузкам.

Магнезиальное вяжущее – быстротвердеющие составы: через сутки прочность магнезиального камня составляет 35-50%, а через 7 суток 60-90% от конечной прочности. Сроки схватывания магнезиального вяжущего несколько короче, чем у портландцемента: начало – не ранее 20 мин., конец - не позднее 6 ч от момента затворения. По совокупности показателей магнезиальное вяжущее можно отнести к нормально схватывающимся быстротвердеющим высокопрочным вяжущим, твердеющим на воздухе.

Магнезиальные вяжущие имеют существенные преимущества перед портландцементом, главные из которых:

– отсутствие усадки при твердении, что позволяет делать материалы из него большой площади без швов;

– высокая твердость, износостойкость и ударная прочность затвердевшего магнезиального камня, что определяет долговечность материалов;

– высокие адгезионные свойства, позволяющие укладывать растворы и бетоны практически на любую поверхность и работать с органическими и неорганическими наполнителями;

– светлый цвет, обеспечивающий чистые яркие тона при окрашивании составов;

– высокая пластичность;

– термостойкость в довольно большом интервале температур и негорючесть.

Совокупность перечисленных выше свойств делает магнезиальный камень идеальным материалом для строительных работ.

Современные строители научились сводить к минимуму недостаток магнезиальных материалов, водопоглощение, комплексом мероприятий:

– устройством водонепроницаемого грунтовочного слоя;

– модификацией вяжущего специальными минеральными и полимерными добавками;

– пропиткой поверхности конструкции полимерными составами для повышения водостойкости.

Современной строительной наукой описан своеобразный «портрет» идеального материала будущего: «Он должен быть универсален – обладать одновременно высокими конструктивными способностями и теплоизолирующими свойствами; совершенно обязательно, чтобы он был негорючим, долговечным, влагостойким, экологически чистым и обладал достаточными декоративными качествами, исключающими необходимость в дополнительной наружной и отчасти внутренней отделки зданий и сооружений; желательно, чтобы он был получен из минерального сырья». К этому следует добавить, что подобный материал должен производиться на существующем технологическом оборудовании и, самое главное, быть конкурентоспособным в сравнении с узкопрофильными материалами-аналогами.

Но, как часто это бывает, все новое – это хорошо забытое старое, с которого лишь необходимо стряхнуть «вековую пыль» и слегка модернизировать. Оказывается, предшествующие поколения решили нашу проблему еще 150 лет назад.

Каустический магнезит, получаемый после обжига при относительно невысоких температурах некоторых природных минералов, в составе которых значительное количество карбоната или гидроксида магния (магнезит, доломит), затворенный водным раствором магниевых солей (сульфатом или хлоридом магния – бишофитом) близких по составу к морским, образует пластическую массу, обладающую вяжущими свойствами. Состав и свойства этого вяжущего были описаны еще в середине XIX века французским инженером Сорелем, положившим начало его применению в строительстве, а также названию московской производственно-строительной компании «Сорель-Экоджи». Уникальность магнезиального вяжущего заключается в сочетании его высоких вяжущих свойств и совместимости практически с любыми видами заполнителей, в том числе органического природного и искусственного происхождения.

Цементный камень, образующийся на основе магнезиального вяжущего, является твердым раствором солей сложного состава. Именно на основе магнезиальных вяжущих получают различные камнеподобные материалы с заранее заданными свойствами под общим названием «магнолит».

В зависимости от того, какие наполнители используются, магнолит обладает следующими свойствами:

– механической прочностью при сжатии, на уровне самых высокопрочных бетонов, (а при изгибе прочность превосходит бетоны в 3-5 раз, без использования дополнительных армирующих материалов), а также короткими сроками ее набора. Кроме того, это наиболее прочный из всех известных теплоизоляционных строительных материалов на минеральных вяжущих при равной с ними плотности;

– атмосферостойкостью на уровне большинства традиционных строительных материалов;

– абсолютной маслостойкостью и солестойкостью (при воздействии масел, нефтепродуктов, морской воды магнолиты только набирают прочность);

– декоративностью, то есть возможностью достоверно имитировать многие природные материалы (от дерева до малахита), чему способствует совместимость с различными пигментами, отличная полируемость, прозрачность вяжущего в тонком слое;

– пожаробезопасностью – при достаточной массивности конструкции из магнолита выдерживают пожар 5-й категории без деструкции материала и выделения каких-либо канцерогенных веществ;

– фунгицидностью, бактерицидностью и биоцидностью, что не позволяет развиваться грибкам и бактериям, а горько-соленый вкус бишофита препятствует также появлению насекомых и грызунов;

– обладает низкой диэлектрической проницаемостью и электропроводностью, стабильной во времени и мало зависящей от влажности окружающей среды. Для производства конструкций специального назначения, предназначенных для защиты от электромагнитных излучений, этот материал не заменим. Поверхности конструкций из магнезита не электризуются и исключают образование искр;

– магнезиальные напольные покрытия беспыльны, практически не имеют усадки, т.е. устраиваются сплошным покрытием не требуется нарезка деформационных швов, долговечны и высокопрочны, обладают высокой твердостью и низкой истираемостью, устойчивы к ударным нагрузкам. Обладают высокой адгезией практически ко всем видам органических и минеральных заполнителей в составе вяжущего, а также хорошим сцеплением к бетонным, кирпичным, деревянным основаниям.

Помимо прочих достоинств, консервирующие свойства магнолита позволяют применять даже токсичные заполнители при производстве строительных изделий, которые впоследствии будут иметь фон, удовлетворяющий санитарным нормам. А значительное количество химически связанной воды в магнезиальном цементном камне делает магнолит лучшим из существующих бетонов для биологической защиты от радиационного поражения. Магнезиальное вяжущее и изделия на его основе являются биологически инертными, то есть экологически безопасными.

Нет никаких сомнений в том, что у такого материала в России, где сосредоточено более половины мировых запасов магнезиального сырья, могут быть просто блестящие перспективы. И не случайно в последнее время наблюдается значительный всплеск интереса к нему.

Современные технологии позволяют делать из магнолита практически все, что угодно: стеновые материалы, конструкционные брусы, пеномагнолитовые блоки с фасадной облицовкой под кирпич или колотый камень, разнообразные половые покрытия, детали интерьера. Следует отметить, что в домах из магнолитовых конструкций создается благоприятный для человека микроклимат, сочетающий в себе достоинства деревянного дома и соляной пещеры, оказывающей бальнеологический эффект для больных астмой и другими аллергическими заболеваниями.

Большинство препятствий на пути массового применения магнолита как строительного материала уже преодолены. Наряду с действующим предприятием по добыче магнезиального сырья разведаны и подготовлены к добыче ряд новых месторождений магнезитов на Урале и в Восточной Сибири, ведется промышленная добыча бишофита скважинным методом. Бишофит представляет собой уникальный по своему составу экологически

чистый минерал - водный хлорид магния $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ и является продуктом кристаллизации солей замкнутых водных бассейнов. Впервые выявлен в цехштейнових отложениях Германии немецким ученым Густавом Бишофом, в честь которого со временем этот минерал был и назван.

Разработаны и эксплуатируются опытно-промышленные обжиговые агрегаты кипящего слоя, позволяющие получать недорогое магнезиальное вяжущее из самого распространенного магнезиального сырья – доломита.

Однако для широкого внедрения магнезиального вяжущего в строительную практику сегодня потребуется решить ряд проблем федерального масштаба: от разработки государственных стандартов и строительных норм касательно магнезиального вяжущего и строительных материалов на его основе – до организации добычи и переработки магнезиального сырья в промышленных объемах.

В начале 90-х годов вновь появился интерес к магнезиальному вяжущему. Немало этому способствовали такие уникальные свойства этого материала, как ценные экологические характеристики, а именно – способность защиты от электромагнитных излучений радиочастотного диапазона, антиэлектростатические свойства, искробезопасность и негорючесть.

1. Сырье для магнезиальных вяжущих

Сырьём для магнезиальных вяжущих выступают главным образом карбонаты. В природе встречаются карбонаты магния $MgCO_3$, двойные карбонаты кальция и магния $CaMg(CO_3)_2$.

Магнезит ($MgCO_3$), как и кальцит, кристаллизуется в виде ромбовидных кристаллов. Цвет магнезита – белый с жёлтым или сероватым оттенком. Иногда снежно-белый. Встречается и «аморфный» магнезит с характерным фарфоровидным раковистым изломом, кристаллическое строение которого обнаружили лишь рентгенографически. Твёрдость магнезита 4-4,5, плотность – 2,9-3,1 г/см^3.

Основным отличием магнезита от кальцита является то, что он под действием соляной кислоты не вскипает на холоде, а растворяется лишь при нагревании. Также, в отличие от кальцита, магнезит значительно меньше распространён в природе. Залежи кристаллического магнезита образовались гидротермальным путём и встречаются в тех районах, где есть месторождения доломита или доломитизированных известняков.

Предполагают, что магнезит может выщелачиваться из доломитов горячими щелочными растворами:

$$CaMg(CO_3)_2 + Mg(HCO_3)_2 = 2MgCO_3 + Ca(HCO_3)_2.$$

Скрытокристаллические разновидности магнезита возникли в результате выветривания ультраосновных пород. Магнезиальные силикаты, содержащиеся в этих породах, под влиянием воды и CO_2 полностью разрушаются:

$$Mg_2SiO_4 + H_2O + 2CO_2 = 2MgCO_3 + SiO_2 + H2O;$$
$$3MgO \bullet 2SiO_2 \bullet 2H2O + 2H_2O + 3CO_2 = 3MgCO_3 + 2SiO_2 + 4H_2O.$$

При этом магний выделяется в виде гидрокарбоната, выветривающийся в нижних горизонтах коры и превращающийся в магнезит.

В кристаллическом магнезите всегда есть примеси доломита. А в скрытокристаллическом – примеси свободного (опал) или связанного (силикаты магния) кремнезёма, что объясняется происхождением этих минералов.

Кроме того, в магнезите обычно имеются примеси сидерита $FeCO_3$, кальцита Al_2O_3.

К месторождениям гидротермального происхождения относится Саткинское. К месторождениям, образованным при выветривании ультраосновных пород, – Халиловское (Южный Урал).

Мощность пластов магнезита в Саткинском месторождении достигает 40 м.

Халиловское месторождение находится на западе большого змеевикового массива и представляет собой жилы различной мощности, длина которых достигает 10 м, а ширина – 0,05-1,0 м. Халиловский магнезит содержит существенное количество примесей кремниевой кислоты, а также CaO.

Кроме того, небольшие месторождения кристаллического магнезита встречаются и в других районах Урала (Усть-Катав, Белорецкий завод), а также в Сибири.

Доломит распространён больше магнезита. Химическая формула доломита $CaMg(CO_3)_2$. В его кристаллической решётке ионы Ca^{2+} и Mg^{2+} попеременно чередуются вдоль тройной оси. Цвет доломита – серовато-белый, иногда с желтоватым, буроватым или зеленоватым оттенком. Твёрдость 3,5-4,0, плотность 2,8-2,9 г/см^3. По растворимости в HCl он занимает промежуточное положение между кальцитом и магнезитом.

Мнения о происхождении доломитов довольно противоречивы. Часть доломитовых месторождений, очевидно, представляет собой химические осадки. Очень часто доломит встречается в древних отложениях докембрийского и палеозойского периодов.

Доломит мог образоваться в результате химического взаимодействия $CaCO_3$ и $MgSO_4$ в морской воде по реакции:

$$2CaCO_3 + MgSO_4 + 2H_2O - CaMg(CO_3)_2 + CaSO_4 \cdot 2H_2O.$$

В пользу этой гипотезы говорит то обстоятельство, что доломитовые породы зачастую сопровождаются залежами гипса и ангидрита.

Также доломит образовывался и при доломитизации известняков.

Месторождения доломита широко распространены вдоль западного и восточного склонов Уральского хребта, на Волге, в Донбассе и других районах СНГ.

Брусит $Mg(OH)_2$ имеет слоистую структуру. Цвет белый, твёрдость 2,5, плотность 2,3-2,4 г/см^3. Встречается в массивах Урала, Кавказа, Сибири; а его волокнистая разновидность обнаружена в Баженовском месторождении асбеста.

Магнезиальное сырье служит для получения металлического магния, а также для нужд химической и нефтехимической промышленности и производства высококачественных огнеупоров.

2. Свойства магнезиальных вяжущих

Магнезиальные вяжущие вещества являются активным компонентом строительных композиционных материалов: магнезиальных растворов, штукатурных смесей, ксилолитовых масс, искусственного мрамора, пеномагнезита, декоративных облицовочных плит. Магнезиальные вяжущие, приготовленные на основе магнезиально-карбонатного сырья, ограничены в применении в виду малого количества месторождений магнезита, высоких затрат на перевозку на дальние расстояния. С другой стороны, техногенные и природные некондиционные магнийсодержащие отходы в больших количествах накапливаются на горно-обогатительных комбинатах, предпри-

ятиях огнеупорного, металлургического производства, получения солей магния. Вследствие этого высокомагнезиальное и магнезиально-силикатное сырье исчисляется сотнями тысяч тонн, и количество его продолжает увеличиваться, что ведет к загрязнению окружающей среды и осложнению экологической обстановки в целом. Особую актуальность приобретает вопрос разработки водостойких композиционных магнезиальных вяжущих материалов с вовлечением в производство как местных техногенных, так и природных силикатов магния. В результате целенаправленного управления процессами гидратации и оксохлоридообразования, формирования водостойких кристаллизационных структур твердения в системе MgO-$MgCl_2$-силикат магния, возможно получение композиционных магнезиальных вяжущих материалов с одновременным повышением прочности, водостойкости и других эксплуатационных характеристик. Разработка составов и технологии водостойких композиционных магнезиальных вяжущих на основе силикатов магния способствует решению проблемы получения качественных вяжущих и расширению номенклатуры строительных материалов, и вместе с этим улучшению экологической обстановки в регионах Российской Федерации.

При изучении свойств магнезиальных вяжущих решаются следующие важнейшие задачи: установление физико-химических закономерностей, критериев оценки гидратационной активности, методов управления процессами фазообразования и формирования структур твердения и свойств композиционных магнезиальных вяжущих материалов с использованием природных силикатов магния и кальция, техногенных сырьевых компонентов; разработка технологических принципов их рационального использования для изготовления композиционных магнезиальных вяжущих и строительных материалов на их основе.

Для решения поставленных задач применяются нижеперечисленные анализы и методы исследований:

– анализ состава и структуры различного техногенного и природного магнийсодержащего сырья, проведение его классификации и определение области применения при получении композиционных вяжущих веществ;

– определение методов активации и условий термообработки, позволяющих получить вяжущие вещества из таких отходов производства, как отсевы при обогащении брусита, пыли при обжиге брусита, высокомагнезиальные шламы от переработки хлоридных рассолов; исследование состава продуктов гидратации получаемых вяжущих веществ и влияния примесей (хлоридов натрия, кальция, карбоната кальция) на свойства образующегося искусственного камня;

– определение гидратационной активности и методов ее повышения у среднемагнезиальных отходов с содержанием 15-45 мас.% MgO, образующихся при добыче, обогащении и переработке диопсидов, серпентинитов, дунитов;

– исследование изменения структуры и свойств диопсида, дунита, серпентинита при их механической активации в энергонапряженных аппаратах;

– исследование свойств композиционных магнезиальных вяжущих веществ, содержащих в качестве наполнителей волластонит, диопсид, известняк, микрокремнезем;

– исследование влияния добавок солей на структуру и свойства композиционных вяжущих веществ;

– исследование свойств композиционных магнезиальных вяжущих веществ, содержащих в качестве наполнителей техногенные силикаты магния;

– разработка технологических схем получения композиционных магнезиальных вяжущих веществ на основе природных и техногенных силикатов магния.

При изучении свойств магнезиальных вяжущих установлено следующее:

1. *Гидратационная активность* магнезиального сырья определяется содержанием MgO, степенью кристалличности (дефектностью) структуры; дисперсностью; морфологией образующегося оксида магния, что является следствием кристаллохимической природы исходного сырья и способа его переработки, что положено в основу предложенной классификации сырья: высокомагнезиальное с содержанием MgO не менее 65% (I класс); магнезиальное с содержанием MgO 45-65% (II класс); среднемагнезиальное с содержанием MgO 15-45% (III класс); низкомагнезиальное с содержанием MgO не более 15% (IV класс). При использовании техногенного высокомагнезиального сырья, такого как высокодисперсные бруситовые и периклазовые порошки и пыли, магнезиальные шламы от переработки хлоридных рассолов после удаления хлоридов натрия и кальция, необходима их активация механическим измельчением, а в случае бруситовых отходов и магнезиальных шламов также предварительная термическая обработка при температуре 450-500°С. Продукты гидратации в системе $MgO–MgCl_2–H_2O$ представлены в основном гидроксохлоридами магния.

2. *Механическая активация* среднемагнезиального сырья с содержанием 15-45% MgO (III класс) (диопсид, дунит, серпентинит) приводит к аморфизации кристаллических фаз и деструкции их кристаллических решеток, что способствует повышению их активности в процессе гидратационного твердения. Механическая активация серпентина вызывает структурные нарушения в октаэдрическом слое решетки с ослаблением и разрывом связи Mg–OH, нарушением связи Mg–O–Si. Механическая активация диопсида способствует разупорядочиванию кристаллической структуры с разрывом связей Ca-O-Si, Mg–O–Si. Механическая активация дунита приводит к аморфизации оливина и форстерита и механической деструкции серпентина и брусита.

3. Формирование водостойких (прочных) структур в композиционном магнезиальном вяжущем определяется: активностью оксида магния; формированием преимущественно тригидроксохлорида магния; природой модифицирующих ионов в жидкости затворения; природой и активностью микронаполнителя.

4. Критериями качества, определяющими активность микронаполнителя, являются: высокая химическая стойкость в воде, в агрессивных средах; высокая механическая прочность. Эффективность действия веществ, составляющих микронаполнитель, определяется близостью его удельной энтальпии образования, энергии кристаллической решетки, энтропии к аналогичным характеристикам оксида магния. К числу эффективных микронаполнителей композиционных магнезиальных вяжущих веществ относятся диопсид, волластонит. Повышению механической прочности и водостойкости продуктов твердения композиционных магнезиальных вяжущих веществ способствует введение в жидкость затворения солей с многозарядными катионами, способными к обмену с ионом Mg^{2+}. Введение в раствор хлорида магния, используемый при затворении вяжущего, 10% солей с трехзарядными катионами (Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}) способствует ускорению набора прочности при твердении. Наиболее эффективно действие $CrCl_3$ и $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

5. Влияние микронаполнителей на свойства композиционного вяжущего обусловлено их кристаллохимической природой и дисперсностью. При

среднеобъемном размере зерен наполнителя равном 30-40 мкм (волластонит, диопсид) оптимальная концентрация составляет 70-80 мас.%. При среднеобъемном размере зерен 10 мкм и менее (известняковая мука, микрокремнезем) оптимальная концентрация снижается до 40 мас.%.

6. Водостойкость продуктов твердения композиционных магнезиальных вяжущих веществ определяется содержанием микронаполнителя, активацией поверхности микронаполнителя использованием солей трехзарядных катионов, кристаллизацией гидроксохлоридов магния на поверхности микронаполнителя, уменьшением содержания остаточного MgO и метастабильного пентагидроксохлорида магния. Прочность продуктов твердения композиционных магнезиальных вяжущих веществ определяется контактной прочностью на границе микронаполнитель-магнезиальный камень. Высокой механической прочностью и водостойкостью обладают композиционные вяжущие вещества, в которых соотношение силикатов магния и MgO составляет (по массе) 70:30 или 80:20. При этом тонкоизмельченные силикаты магния выполняют в системе с магнезиальным (оксохлоридным) твердением роль как микронаполнителя, способствующего повышению плотности и водостойкости образующегося камня, так и активного компонента, участвующего в образовании прочной кристаллизационной структуры. При взаимодействии активированных силикатов магния с метастабильными гидроксохлоридами образуются смешанные гетероцепные полимеры с прочной силоксановой связью.

3. Магнезиальный цемент и его свойства

Магнезиальное вяжущее и материалы на его основе обладают высокими прочностными характеристиками, приближающимися по своим значениям к природным материалам. Но что еще важнее, в отличие от природных материалов, магнезиальный цемент имеет аномально высокие показатели по прочности на растяжение и изгиб (до 20 МПа и выше), что связано с особенностями затвердевшего магнезита, в котором присутствуют кристаллизующиеся в виде волокон оксихлориды магния. Волокнистые кристаллы не только повышают прочность цемента, но и действуют как армирующий материал.

Материалы на основе магнезиального вяжущего обладают очень высокой, в отличие от других вяжущих, адгезией не только к минеральным, но и к органическим веществам. Из-за высокой плотности материала, малой щелочности и присутствия в составе магнезиальных цементов минерала бишофита органические заполнители в них не гниют, что позволяет сделать предположение о возможной бактерицидности и устойчивости к образованию плесени и грибка.

При использовании магнезиального вяжущего в строительных смесях, особенно с добавками силикатов магния, образуется плотный беспоровый материал, обладающий высокой износостойкостью, масло- и бензостойкостью и водонепроницаемостью.

К достоинствам магнезиального цемента следует также отнести быстрый темп нарастания прочности. Обычно в возрасте одних суток прочность бетонов и растворов достигает 30-50%, а в возрасте 7 суток 60-90% от максимального значения.

В отличие от магнезиальных, цементные бетоны и растворы на основе портландцемента, как известно, имеют замедленное твердение, неоднород-

ный состав и конгломератное строение. Поэтому традиционные бетонные покрытия полов не удовлетворяют современным стандартам по износостойкости и трещиностойкости. Образующиеся в процессе гидратации кристаллические и коллоидные новообразования с течением времени высыхают и уплотняются, что сопровождается усадкой цементного камня.

Оживление интереса к магнезиальным цементам привел к появлению на строительном рынке ряда фирм по производству сухих строительных смесей на основе магнезита – в Москве («Маглит», «Бикам») и в Санкт-Петербурге («Альфа Пол», «Магнезит»).

4. Производство магнезиальных вяжущих

Производство магнезиальных вяжущих заключается в предварительном измельчении сырья, обжиге и помоле.

Дробление производится до кусков различных размеров, что зависит от конструкции печей: для шахтных печей средний размер кусков обычно составляет 50-60 мм, а при обжиге во вращающихся – 10-15 мм.

Диссоциация $MgCO_3$ начинается уже при 400°С. Однако его быстрое разложение происходит при температуре свыше 600°С. При этом выделяется 95-96% CO_2. Остаток СО2 выделяется лишь при 900-1000°С.

Реакция разложения магнезита идёт с выделением тепла Q=121 кДж. Она обратима: $MgCO_3 – MgO + CO_2$.

В зависимости от температуры обжига MgO получается в различном состоянии. При 650-800°С – рыхлый порошок плотностью около 2,3 г/см^3. С повышением температуры наблюдается рост кристаллов, рекристаллизация и повышение плотности. При 1200°С размер кристаллов MgO составляет 0,05-0,08, а при 1400°С – уже 1-4 мкм. На скорость рекристаллизации существенно влияют примеси.

Также с повышением температуры резко снижается активность MgO и скорость гидратации. Например, если обожжённый при 800°С MgO гидратируется на 75,4%, то при 1300°С – лишь 14,62%. Высокая активность MgO, обожжённого при низких температурах, объясняется тем, что он обладает значительным количеством атомных дефектов.

Для получения активного и способного быстро гидратироваться MgO магнезит обжигают при температуре ~700-750°С. С повышением температуры обжига его вяжущие свойства резко ухудшаются. Вплоть до того, что при 1400°С получается так называемый намертво обожжённый магнезит, который используется для изготовления огнеупоров в металлургической промышленности. Плотность металлургического магнезита составляет 3,5-3,6 г/см^3. Твёрдость = 5,5.

Стоит отметить, что MgO получают не только из магнезита, но и из $Mg(OH)_2$. Гидратная вода удаляется при температуре 385-410°С. Но на практике обжиг $Mg(OH)_2$ рекомендуется при температуре ~500°С. Оксид магния, выделенный из $Mg(OH)_2$, более активен, чем из $MgCO_3$.

При изучении процессов получения MgO установлено, что в первоначальный период он сохраняет структуру исходного вещества. Так, при разложении $Mg(OH)_2$ образуется MgO со слоистой структурой брусита, а при разложении $MgCO_3$ своеобразные псевдоморфозы, которые сохраняют внешние очертания магнезита.

Доломит разлагается в интервале температур 700-900°С. Причём на термограмме есть два эндотермических эффекта:

– первый – в интервале температур 720-760°С;

– второй – при 895-910°С.

Это означает, что процесс проходит в две стадии. Относительно характера протекающих на каждой из стадий процессов, существуют разные точки зрения. Наиболее вероятной является диссоциация, на первой стадии которой образуются MgO и $CaCO_3$:

$$CaMg(CO_3)_2 = CaCO_3 + MgO + CO_2,$$

а на второй стадии $CaCO_3 = CaO + CO_2$.

Также есть предположения, что кроме MgO на первой стадии диссоциации образуется твёрдый раствор карбонатов $MgCO_3 \cdot nCaCO_3$ либо основный карбонат $CaCO_3 \cdot MgO$. Но рентгенографически ни твёрдый раствор, ни основный карбонат обнаружить не удалось.

Диссоциация магнезита и доломита является процессом эндотермическим. На разложение 1 кг магнезита расходуется 1440 кДж теплоты, а для полной диссоциации доломита немного больше.

Для обжига магнезита применяют либо шахтные печи с выносными топками, либо вращающиеся печи. В шахтных печах поддерживается температура 700-800, а во вращающихся – 900-1000°С. Более высокая температура обжига во вращающихся печах объясняется тем, что длительность пребывания материала в них значительно меньше. Производительность шахтных печей обычно составляет 20-30 т/сут. при расходе топлива – 10-15% от массы готового продукта. Производительность вращающихся печей – 50-120 т/сут. при расходе топлива в 20-30%.

Если обжиг осуществлялся в шахтной печи, то перед помолом производится дробление в шаровых мельницах. Тонкость помола каустического магнезита должна быть такой, чтобы остаток на сите № 02 не превышал 5%, а на сите № 008 – 25%. Для предотвращения гидратации Магнезит упаковывается в металлические барабаны.

Обожженный материал дробят в шаровых мельницах. Если обжиг ведут в шахтной печи, то перед помолом производится дробление. Тонкость помола каустического магнезита должна быть такой, чтобы остаток на сите № 02 не превышал 5%, а на сите № 008 – 25%. Магнезит упаковывают в металлические барабаны для предотвращения гидратации.

По ГОСТу каустический магнезит делится на 4 марки: ПМК-88, ПМК-87, ПМК-83, ПМК-75, с содержанием MgO соответственно не менее 88, 87, 83 и 75 %. Магнезит ПМК-88 применяют для специальных целей, магнезит ПМК-87 и ПМК-83 предназначены для химической, энергетической и стекольной промышленности, магнезит ПМК-75 можно использовать в качестве вяжущего.

Процесс производства каустического доломита практически не отличается от производства каустического магнезита. В зависимости от температуры обжига из доломита можно получить материалы различного состава и назначения: при температуре ~750°С – каустический доломит, состоящий из MgO и $CaCO_3$, при 800-850°С – доломитовый цемент, состоящий из MgO, CaO, и $CaCO_3$, при 900-1000°С - доломитовую известь, состоящую из MgO и CaO, при 1400-1500°С - металлургический доломит, обжигаемый до спекания.

Для получения каустического доломита обжиг следует вести так, чтобы продукт содержал возможно больше MgO и минимальное коли-

чество CaO. Плотность каустического доломита должна находиться в пределах 2,78-2,85 г/см^3. Более высокая плотность свидетельствует о высоком содержании свободной извести.

В качестве магнезиального вяжущего можно применять кальцинированный магнезит (отход производства металлургического магнезита), представляющий собой пыль, осаждающуюся в пылеосадительных устройствах вращающихся печей.

Важнейшим соединением магния, применяемым в различных отраслях промышленности, и в том числе в строительстве, является оксид магния MgO. В природе он встречается в виде минерала периклаза – бесцветных кристаллов с кубической решеткой типа NaCl, и является исключительно стабильным (высокоэнергоплотным) минералом, встречающимся в нижних горизонтах земной коры и в мантии. Именно поэтому он успешно используется в различных промышленных областях.

В качестве сырья для производства оксида магния обычно используют карбонатные осадочные горные породы морского происхождения, представленные доломитом $CaMg(CO_3)_2$, магнезитом $Mg(CO_3)$, или метасоматически либо гидротермально измененные первичные основные магматические силикатные горные породы, преобразованные в амфибол $Mg_7[Si_8O_{22}](OH)_2$, серпентин $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, тальк $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ и др. Вторая группа указанных Mg-содержащих минералов является менее перспективным сырьем и разрабатывается в странах, бедных магнезитом.

Наиболее ценным для строительной промышленности является так называемый «каустический магнезит» – оксид магния, применяемый в производстве вяжущего материала.

Магнезит каустический получают либо обжигом природного магнезита $Mg(CO_3)$ при температуре выше температуры его разложения (диссоциации) и ниже температуры спекания, либо путем улавливания пыли, образующейся при производстве периклазового порошка.

Крупнейшим заводом по производству магнезиальных огнеупорных изделий на основе спеченного периклаза является всемирно известное предприятие ОАО «Комбинат Магнезит» (г. Сатка Челябинской области). Производственная мощность комбината позволяет получать на вращающихся обжиговых печах свыше 1 млн. тонн спеченного периклаза. Около 500 тысяч тонн пыли улавливается в циклонах и электрофильтрах, и часть этой каустической пыли утилизируется в виде порошков магнезиальных каустических (ГОСТ 1216-87), используемых в строительстве в качестве магнезиального вяжущего.

При обжиге природных магнезитов максимальная гидравлическая активность образующегося каустического магнезита достигается в диапазоне температур 650-900°С, при более высоких температурах активность падает, а при температуре 1400°С и выше образуется «намертво обожженный» магнезит, практически не проявляющий вяжущих свойств.

Каустический магнезит производится также в ООО «Сибирские порошки, где получается в процессе низкотемпературного (Т = 850°С) обжига и имеет преимущество перед пылеуносом по содержанию активного MgO в конечном продукте.

В результате декарбонизации $Mg(CO_3)$ при низких и умеренных температурах образуется свободный оксид магния, отличающийся от периклаза более низкими показателями преломления, увеличенными параметрами ку-

бической элементарной ячейки и более низкой плотностью. Именно такой оксид магния (каустический магнезит) используется в качестве вяжущего вещества, которое при затворении раствором $MgCl_2$ способно быстро твердеть и набирать прочность на воздухе. Ниже приводятся результаты исследований по определению оптимальных условий получения (синтеза) такого материала.

Используя в качестве исходного сырья тонко измельченный магнезит из Сатки, были испытаны различные режимы его обжига и получены порошки каустические магнезитовые высокой активности (в 3 раза превышающие активность порошков каустических магнезитовых по ГОСТу 1216-87). Оптимальная область температур обжига – 660-800°С, причем с увеличением температуры длительность обжига при данной температуре сокращается от 210 минут при 660°С до 45 минут при 800°С (табл. 1). Получающийся каустический магнезит через 6 часов твердения характеризуется прочностью при сжатии ~35 МПа.

Было также установлено, что порошки каустические магнезитовые обладают увеличенным параметром кубической элементарной ячейки (a_o > 4,218 Å по сравнению с периклазом – a_o = 4,212 Å), что можно связать с дефектностью образующегося при разложении $Mg(CO_3)$ каустического магнезита. Кроме того, последний имеет пониженный показатель преломления (N = 1,55-1,72) по сравнению с обычным периклазом (N = 1,738).

Установлены два дополнительных отличия высоко активного каустического магнезита от периклаза: аномальная анизотропия (периклаз изотропен) и более низкая микротвердость (по Виккерсу) – 600-700 кгс/мм^2 в отличие от периклаза (~1000 кгс/мм^2). Кроме того, наиболее крупные из вновь образованных кристаллов каустического магнезита по результатам наблюдений под микроскопом имеют многочисленные поры, обладают своеобразной ячеистой текстурой, что, по-видимому, является благоприятным фактором для его эффективного взаимодействия с раствором бишофита.

Резюмируя представленные материалы, можно сделать следующие выводы:

– для получения магнезиального вяжущего обжиг магнезита следует вести в условиях мягкого обжига (в диапазоне температур 660-800°С), обеспечивающего неполное разложение $Mg(CO_3)$ - до степени декарбонизации 92-95%;

– новообразованный каустический магнезит, будучи по составу и структуре аналогом периклаза, отличается от последнего рядом специфических особенностей: дефектностью структуры, повышенным параметром решетки (a_o), более низким показателем преломления, аномальной анизотропией, более низкой микротвердостью, пористой (ячеистой) текстурой кристаллических индивидов.

В заключение следует отметить, что в России нет промышленного производства, позволяющего прямым обжигом природного магнезита получать качественный активный каустический магнезит целевого назначения (для производства магнезиального вяжущего). Поэтому материал в виде уловленной пыли, образующейся при производстве спеченного периклазового порошка, является пока единственным доступным товарным продуктом для наших целей - производства магнезиального цемента.

Таблица 1

Влияние режима обжига магнезита $Mg(CO_3)$ на степень его декарбонизации

Режим обжига		Содержание $Mg(CO_3)$, %	
Температура, °С	Время, мин	По данным п.п.п.	По данным ИКС-метода
660	150	10,14	10,1
660	180	8,35	8,5
660	210	6,18	6,2
660	240	3,76	4,0
680	90	18,54	18,5
680	120	8,42	8,5
680	150	5,40	5,4
680	180	2,92	3,1
700	90	9,43	9,5
700	120	5,49	5,5
700	135	4,53	4,5
700	180	1,22	1,5
720	30	50,67	50,6
720	60	13,94	14,0
720	90	7,92	8,0
720	120	4,38	4,5
740	30	37,28	37,2
740	60	8,80	8,8
740	90	4,49	4,5
740	120	1,45	1,5
760	30	33,86	34,0
760	60	4,93	5,0
760	75	1,22	1,2
780	30	20,82	20,8
780	45	4,29	4,3
780	60	0,77	0,7
800	30	15,79	16,0
800	45	3,38	3,5
800	60	0,09	0,1
800	90	0	0

Экспериментально установлено, что температура и длительность обжига высокомагнезиального сырья значительно изменяют активность вяжущего, влияют на скорость его гидратации и, соответственно, на набор прочности формирующегося магнезиального камня. Однако до сих пор, изучая гидратацию магнезиального вяжущего, большинство авторов указывают, что использовали MgO марки ч.д.а. свежепрокаленный при температурах от 700 до 1000°С, при этом отсутствуют сведения о длительности прокалки и об

активности используемого в исследованиях вяжущего. Для применения в строительстве магнезиальное вяжущее необходимо обжигать до получения MgO с размером кристаллов 38-43 нм. Анализ современного рынка магнезиальных обожженных продуктов, требований к каустическому магнезиту ГОСТ1216 «Порошки магнезитовые каустические» и других нормативных материалов, а также опыт практического использования в строительстве показывают, что качественное магнезиальное вяжущее для строительных работ на рынке практически отсутствует. Следовательно, нужно знать, как на практике целенаправленно влиять на гидратацию и твердение предлагаемого разными производителями вяжущего, чтобы получить высококачественный строительный материал при использовании слабообожженной – высокоактивной магнезии, изготавливаемой, например, греческой фирмой «Grecian Magnezit» или вяжущего ОАО «Магнезит», содержащего в своем составе неконтролируемое количество пережога.

4.1. Затворение магнезиальных вяжущих

Особенность магнезиальных вяжущих заключается в том, что для затворения используются растворы солей, а не вода.

$MgCl_2 \cdot 6H_2O$ выпускается промышленностью в виде технического плавленого продукта. Сырьем для производства хлорида магния служит карналлит или рапа. Хлорид магния высоко гигроскопичен. Поэтому изделия из каустического магнезита, затворенные хлоридом натрия, весьма гигроскопичны.

Сульфат магния $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ входит в состав рапы всех самосадочных озер это горькая соль. Хотя прочность вяжущих, затворенных сульфатом магния, ниже прочности вяжущих, затворенных $MgCl_2$, гигроскопичность их гораздо меньше. Иногда применяют в смеси с $MgCl_2$ и железный купорос $FeSO_4$, который увеличивает водостойкость изделий и снижает их гигроскопичность.

Чем выше концентрация затворителей, тем медленнее протекает схватывание и твердение и тем выше конечная прочность. Однако применение растворов с плотностью более 1,30 г/см^3 приводит к появлению трещин и образованию высолов.

Б.Г. Скрамтаев предложил затворить магнезиальные вяжущие 5-15%-ми растворами соляной или серной кислоты. При этом могут быть использованы кислотосодержащие отходы химической промышленности. А если учесть, что при производстве $MgCl_2$ и $MgSO_4$ расходуются кислоты, получается значительная экономия. Недостаток этого способа – принятие специальных мер по технике безопасности.

При производстве магнезита из рапы озер вяжущие можно затворять самой рапой.

4.2. Гидратация и твердение магнезиальных вяжущих

MgO по сравнению с CaO характеризуется большей инертностью при взаимодействии с водой. Это происходит потому, что плёнка образовавшегося $Mg(OH)_2$ препятствует проникновению воды вглубь зёрен. Теплота гидратации MgO зависит от условий гидратации и составляет от 38 до 42 кДж/кг. Установлено, что $Mg(OH)_2$ может иметь две формы: стабильную и метаста-

бильную. Метастабильная форма представляет собой гель, который с течением времени кристаллизуется.

При затворении MgO водой реакция начинается не мгновенно, а только спустя некоторое время. Через 3-4 ч., когда температура достигает максимума, вода, ещё не успевшая вступить в реакцию, закипает и гидратация прекращается, а само тесто растрескивается. Прочность получаемых изделий невелика. Именно поэтому магнезиальные вяжущие, затворенные водой, не получили распространения. Если же MgO затворить не водой, а растворами солей, то прочность на растяжение затвердевшего камня достигает 10 МПа и более. Наиболее распространены магнезиальные цементы, затворенные хлоридом магния.

Твердение каустического магнезита в присутствии солей происходит следующим образом.

При гидратации в присутствии $MgCl_2$ на первом этапе образуется гидроксихлорид магния состава $MgCl_2 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$, который с течением времени распадается на $MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$ и $Mg(OH)_2$ и $Mg(OH)_2$. В затвердевшем каустическом магнезите рентгенофазовым анализом установлено присутствие $MgCl_2 \cdot n3Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$ и $Mg(OH)_2 \cdot MgCl_2 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 7H_2O$ кристаллизуется в виде волокон и придает материалу повышенную прочность на изгиб. При гидратации в присутствии $MgSO_4$ образуется $MgSO_4 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$, который при температуре выше 50°С переходит в $MgSO_4 \cdot 3Mg(OH)_2 \cdot 8H_2O$. $Mg(OH)_2$, как и $Ca(OH)_2$, может карбонизоваться с образованием тригидрата карбоната магния, улучшающего цементирующие свойства.

При твердении каустического доломита также возникает оксихлорид магния. $CaCO_3$ создаёт центры кристаллизации, повышая плотность изделий. $Mg(OH)_2$ может вступать во взаимодействие с высокодисперсным SiO_2 уже при нормальной температуре. Наиболее быстро такая реакция осуществляется в автоклаве при 174°С и в зависимости от соотношения $MgO:SiO_2$ и температуры образуются керолит, сепиолит или серпентин в виде гелей, а затем превращаются в волокнистые кристаллы, которые не только повышают прочность, но и действуют как армирующий материал.

На основе каустического магнезита можно также получить так называемый гелевый цемент. Твердение его основано на том, что адсорбированная вода, содержащаяся в геле $Mg(OH)_2$, удаляется введением MgO. При этом гель уплотняется и кристаллизуется. Вместо MgO для химического связывания адсорбированной воды можно вводить обожжённый доломит, прокалённые Al_2O_3, BaO, CaO. Затвердевшие гелевые цементы состоят либо из гидроксида магния, либо из смеси гидроксида магния и гидроксидов алюминия, бария или кальция. Они обладают значительной прочностью.

Каустический магнезит – быстро твердеющее вяжущее. Начало схватывания не ранее, чем через 20 минут, а конец – не позднее, чем через 6 ч. от начала затворения. Объёмная масса каустического магнезита в рыхло насыпном состоянии составляет 700-850 кг/м^3.

Сроки схватывания каустического доломита растянуты. Начало схватывания наступает через 3-10 часов. Конец – через 8-20 часов. При испытании в тесте пластичной консистенции каустический магнезит, затворённый раствором $MgCl_2$ плотностью 1,2 г/см^3, в возрасте 1 суток воздушного твердения имеет прочность на растяжение не менее 1,5 МПа, а через 28 суток – 3,5-4,5 МПа. Прочность на сжатие трамбованных образцов из раствора с песком (1:3) через 28 суток воздушного твердения составляет 40-60 МПа. При высоком качестве магнезита прочность может достигать 80-100 МПа.

В первые сроки твердения темп нарастания прочности высокий. Обычно в возрасте 1 суток прочность бетонов и растворов достигает 30-50, а в возрасте 7 суток – 60-90% максимально возможной. После 28 суток прирост прочности весьма незначителен либо вовсе отсутствует.

Магнезиальные вяжущие образуют высококачественные растворы со стружками, опилками и другими отходами деревообрабатывающей промышленности. Причём органические заполнители не гниют, что связано с относительно низким pH твердеющего магнезиального цемента и его высокой плотностью.

Образцы из смеси магнезита и древесных опилок (3:1) имеют прочность на сжатие 40-50 МПа, а на растяжение – 3,0-3,5 МПа. Твердение таких смесей сопровождается объёмными деформациями, причём в первый период (до 5 суток) они набухают (до 0,5-1 мм/м), а затем дают усадку. Набухание изделий резко возрастает при увеличении относительной влажности воздуха до 85-90%, что отрицательно сказывается на качестве изделий. Прочность каустического доломита значительно ниже. Образцы из трамбованного раствора состава 1:3 на этом вяжущем имеют предел прочности на сжатие 10-30 МПа.

И каустический магнезит, и каустический доломит являются воздушными вяжущими. В воде и во влажной атмосфере их прочность резко снижается.

Магнезиальный цемент применяют чаще всего с органическими заполнителями. Такие изделия отличаются повышенной ударной вязкостью, хорошо обрабатываются, жаропрочны, обладают звукоизоляционными свойствами.

Изделия из магнезиальных вяжущих, заполнителем в которых являются древесные опилки, получили название ксилолитовых (ксилолит (греч.) – дерево-камень). Из ксилолита делают плитки, ступени, плиты для подоконников и т.п. Устраивают из него тёплые бесшовные полы, долго не истирающиеся и весьма гигиеничные.

В состав массы для ксилолитовых полов наряду с MgO, $MgCl_2$ и опилками иногда вводят мелкий асбест, тальк, повышающие плотность. и мраморную крошку, увеличивающую стойкость к истиранию.

Применяется каустический магнезит также для изготовления фибролита, т.е. материала, в котором в качестве заполнителя используется длинноволокнистая древесная масса. Фибролит выпускается в виде плит или пластин. Объемная масса фибролитовых плит, имеющих прочность на изгиб 0,5-3 МПа, равна 400-600 кг/м^3.

На основе магнезиальных вяжущих производят также теплоизоляционные пено- и газоматериалы.

Магнезиальные вяжущие можно применять для штукатурных работ, используя в качестве заполнителя песок.

Каустический магнезит – быстротвердеющее вяжущее, начало схватывания наступает не ранее, чем через 20 минут, а конец не позднее, чем через 6 часов (ГОСТ 1216).

При испытании в тесте пластической консистенции каустический магнезит (ПМК-75), затворенный раствором хлорида магния заданной плотности (1,2 г/см^3) в количестве, обеспечивающем получение теста нормальной густоты, в возрасте одних суток воздушного твердения имеет прочность на растяжение образцов-восьмерок не менее 1,5 МПа и прочность на сжатие образцов-балочек (см) 4x4x16 30-35 МПа. Прочность на сжатие трамбованных образцов с песком (соотношение каустического магнезита и строительного песка 1:3) через 28 суток воздушного твердения составляет по литера-

турным данным 40-60 МПа, при высоком качестве магнезита прочность камня может достигать 80-100 МПа.

В первые сроки твердения темп нарастания прочности магнезиального цемента высокий. Обычно в возрасте одних суток прочность цементного материала достигает 30-50%, а в возрасте 7 суток - 60-90% от максимально возможной. В подтверждении этих данных в табл. 2 приводятся результаты выполненных нами определений микротвердости магнезиального цемента в процессе его твердения.

Таблица 2

Данные по отвердеванию магнезиального цемента

Время выдержки, сутки	Замеры микротвердости, HV, кгс/мм^2 (в скобках n – число замеров)
1	17,8 ± 2,4 (n = 10)
4	32,0 ± 4,9 (n = 10)
7	37,3 ± 8,2 (n = 5)

Представленные данные кинетики воздушного твердения магнезиального цемента по параметру абсолютной твердости (микротвердости по Виккерсу) удовлетворительно коррелируются также с данными кинетики нарастания прочности магнезиального цемента на сжатие и изгиб и соответствующими данными предыдущих исследований.

4.3. Физико-химические процессы при твердении магнезиального цемента

Большинство физико-химических исследований в области твердения вяжущих веществ посвящено механизму гидратации и изучению продуктов гидратации. Обсуждение механизмов и различных схем твердения цементов приводится в книге (Теория цемента, 1991). Несмотря на приводимые в ней весьма серьезные исследования по этой проблеме, единой и общепринятой теории твердения цемента до сих пор не разработано.

В отношении магнезиального вяжущего известно, что, согласно классификации вяжущих веществ по типам твердения, цемент Сореля можно условно обозначить как магний-хлоридный. Процесс гидратации порошка MgO в воде происходит чрезвычайно медленно вследствие того, что образующаяся пленка $Mg(OH)_2$ препятствует диффузии воды вглубь зерен MgO. Процесс резко ускоряется, если в воде растворена соль-электролит, например, $MgCl_2$. При этом гидратация основной фазы MgO сопровождается фазовыми изменениями в системе $MgO\text{-}MgCl_2\text{-}H_2O$ с образованиемгидроксихлоридов магния.

Общие принципы твердения магнезиальных цементов рассматривались в ряде зарубежных и отечественных публикаций. Например, первые исследователи магнезиального цемента считали, что твердение этого цемента обусловлено образованием оксихлоридов магния типа $xMgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}yH_2O$, где, по данным разных авторов, x изменяется от 1 до 10, а y – от 5 до 21. Однако другая группа исследователей сводила химическую сторону процесса твердения лишь к гидратации окиси магния: $MgO + H_2O \rightarrow Mg(OH)_2$ или к образованию твердых растворов гидроокиси и хлорида магния. Некоторые

исследователи полагали, что при твердении магнезиального цемента наряду с гидроокисью магния образуется оксихлорид магния или твердый раствор гидроокиси и оксихлорида магния.

Гидроксид и оксихлорид магния образуются преимущественно в виде коллоидных частиц на стадии гидролиза соли $MgCl_2$ путем непрерывного связывания воды затворителя в оксигруппы гидроксида магния и в оксигруппы оксихлорида магния до момента затвердевания системы. Кристаллизация же коллоидных частиц происходит практически мгновенно.

Детальному изучению продуктов твердения магнезиального цемента посвящена работа, в которой в результате применения химического, термографического и рентгенофазового методов анализа получены следующие данные:

1. При взаимодействии MgO с концентрированными растворами $MgCl_2$ (>1,5 мол./л) независимо от концентрации исходного раствора единственным устойчивым конечным продуктом является основная соль - трехокисный оксихлорид магния $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, а при концентрации $MgCl_2$ <1,5 мол./л конечным стабильным продуктом является $Mg(OH)_2$.

2. В процессе кристаллизации оксихлорида магния в качестве первоначального продукта образуется неустойчивое (метастабильное) соединение $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$, постепенно переходящее в результате перекристаллизации в стабильный продукт $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$. Скорость перехода тем больше, чем выше концентрация раствора $MgCl_2$ и чем больше отношение ж : т (чем меньше концентрация суспензии).

3. Состав конечных продуктов в магнезиальном цементе определяется соотношением исходных компонентов, так как при недостаточном содержании раствора в условиях высокой плотности структуры и при значительном изменении концентрации $MgCl_2$ в результате кристаллизации новообразований фазовые переходы метастабильных соединений в стабильные могут быть приостановлены на одной из стадий, и конечными продуктами могут быть только $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ или только $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$, а также их смеси или смеси этих оксихлоридов с $Mg(OH)_2$ или с $MgCl_2$.

Другие, несколько отличающиеся данные о конечных продуктах твердения магнезиального цемента приводятся в более поздней работе, в которой использован комплекс различных методов анализа, включая рентгенофазовый, метод инфракрасной спектроскопии, дифференциально-термический, термогравиметрический, петрографический и др. Согласно полученным данным (табл. 3), при взаимодействии каустического магнезита с бишофитом образуется преимущественно $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$. При этом было установлено, что достижение максимальной прочности цемента в ранние сроки твердения имеет место при соотношении фаз $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O{:}5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$ = 1:6 при суммарном их содержании 35-37%. Такой состав новообразований обеспечивает через 6 часов твердения на воздухе прочность >35 МПа. В более поздние сроки твердения от 7 до 28 суток указанное соотношение фаз практически не меняется.

На основании выше изложенного можно сделать следующие выводы.

С одной стороны, имеются данные, согласно которым при затворении MgO концентрированным раствором $MgCl_2$ в начале гидратации кристаллизуется неустойчивое метастабильное соединение $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$, которое постепенно переходит в конечную устойчивую фазу $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$. Высокая прочность этого соединения обусловлена его текстурой, отличающейся взаимным прорастанием спиралевидных трубчатых нитевидных агрегатов, на-

Таблица 3

Результаты исследования изменения процентного состава новообразований магнезиального вяжущего во времени твердения по данным

Условия обжига каустического магнезита	Состав новообразований магнезиального вяжущего, через								
	6 час			7 сут			28 сут		
	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$	$5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$	$Mg(OH)_2$	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$	$5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$	$Mg(OH)_2$	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$	$5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$	$Mg(OH)_2$
720°С, 30 мин	10-12	7-8	4-5	5-7	20-25	8-10	5-7	25-28	8-10
720°С, 90 мин	5-7	30	4-5	5-7	30-35	3-4	7-8	35-38	7-8
720°С, 120 мин	4-5	20-25	4-5	7-8	30-32	4-5	5-6	30-35	4-5

блюдаемых в сканирующем электронном микроскопе (Установка Geolco JSM, США университет штата Иллинойс).

С другой стороны, имеется фактический материал, согласно которому в быстротвердеющем магнезиальном цементе в составе собственно вяжущего доминирует соединение $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ с подчиненным количеством фазы $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$.

Впрочем, как показано в разделе 3.5, обе эти фазы являются весьма близкими по структуре и свойствам.

Кроме концентрационного фактора, на процесс структурообразования магнезиального вяжущего огромное влияние оказывает влажностный фактор (водоцементное соотношение). Влияние влажностного фактора подробно анализируется в работах Б. В. Дерягина, Л. И. Хейфеца, И. Н. Ахвердова, Е. И. Шмитько и других исследователей на дисперсных системах «вода-цемент. Результаты этих исследований можно использовать не только для управления плотностью прессованных материалов, но и при отработке технологических приемов при укладке напольных покрытий. Например, соблюдение общих законов по обеспечению кинетической устойчивости цементных растворов для самовыравнивающихся составов позволяет избежать таких неприятных последствий, как водоотделение и разупрочнение (деструктуризация) в цементно-водной дисперсии и приводит к изменению основных характеристик цементного теста: подвижности, плотности, устойчивости во времени, склонности к явлениям водоотделения и седиментации, схватывания и отвердевания. В конечном счете все эти процессы и явления находят отражение в структуре и свойствах цементного камня.

Следует иметь в виду, что магнезиальный цемент является полифазным веществом, его состав и текстурно-структурные особенности отражены на

микрофотографиях (рис. 3.8-3.13). Наблюдаемый на них сложный состав подтверждается рентгенофазовым анализом, который дает присутствие, кроме собственно магнезиального вяжущего (здесь фиксируется как соединение $Mg_3(OH)_5Cl{\cdot}4H_2O$, так и в подчиненном количестве $Mg_2(OH)_3Cl{\cdot}4H_2O$), периклаза MgO, магнезита $Mg(CO_3)$, доломита $CaMg(CO_3)_2$, а также следы бишофита $MgCl_2{\cdot}6H_2O$.

Содержание указанных фаз в разных образцах цемента не является постоянным, оно колеблется в довольно широких пределах, что видно также и на микрофотографиях. По данным рентгенофазового анализа в отдельных участках цемента доминирует MgO, в других преобладает магнезиальное вяжущее. Прочие минеральные фазы (магнезит, доломит) обычно содержатся в количестве до 10%. Как уже отмечалось, количественные соотношения указанных фаз магнезиального цемента варьируют в зависимости от условий синтеза, скорости отвердевания и других факторов. Следует заметить, что рентгенофазовый анализ, как правило, занижает содержание собственно магнезиального вяжущего.

С привлечением данных других методов предыдущих исследований можно привести следующий стандартно-типовой состав (табл. 4) магнезиального цемента через 28 суток твердения.

Таблица 4

Типовой состав магнезиального цемента

$3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$	7-8%,
$5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$	35-38%,
MgO (магнезит каустический)	40%,
$Mg(CO_3)$ (остаточный)	8-9%,
$Mg(OH)_2$	7-8%

Применение в производстве строительных материалов магнезиального вяжущего, затворяемого хлоридом магния (цемента Сореля), требует учета особенностей его гидратации и формирования структуры при твердении, обеспечивающих магнезиальному камню и изделиям на его основе необходимые свойства, такие как прочность, водостойкость, стойкость к растрескиванию и др.

Еще М.Сорель, а затем и другие исследователи установили, что при твердении магнезиального вяжущего, затворенного водным раствором хлорида магния разной концентрации, формируется искусственный камень с разными свойствами в зависимости от образующих его гидратных соединений – гидроксида магния, пенто-оксигидрохлорида и три-оксигидрохлорида магния. Дополнительно было выявлено, что при затворении оксида магния высококонцентрированными растворами $MgCl_2$, как правило, структура магнезиального камня формируется в основном 5- и 3-оксигидрохлоридами, так как образование и существование гидроксида магния в этих условиях становится энергетически не выгодным. Дальнейшими исследованиями было подтверждено, что при гидратации цемента Сореля в нормальных условиях (температура 20±50°С и относительная влажность среды 65-70%) структура магнезиального камня формируется в основном гидроксидом магния, пента- и три-оксигидрохлоридами магния.

При этом 5-оксигидрохлориды магния образуются первыми, независимо от концентрации $MgCl_2$ в затворителе и являются метастабильной фазой, которая при твердении постепенно переходит в 3-оксигидрохлорид. Затворение магнезиального вяжущего высококонцентрированными растворами хлорида магния способствует формированию структуры магнезиального камня пенто- и три-оксигидрохлоридами, при этом повышение концентрации затворителя способствует увеличению стабильной три-оксигидрохлоридной фазы, а гидроксид магния в таких системах образуется в небольших количествах или вообще отсутствует. Следовательно, меняя концентрацию затворителя можно регулировать качественный и количественный состав продуктов гидратации магнезиального камня и, соответственно, его свойства.

Изучение влияния активности магнезиального вяжущего и концентрации затворителя – раствора $MgCl_2$ на состав гидратов, структуру и свойства твердеющего магнезиального камня для целенаправленного получения качественного и долговечного материала.

Эксперимент проводили на вяжущих, полученных обжигом Кульдурского брусита, при температурах 800, 1100 и 1200°С, время изотермической выдержки составляло 3 часа. Были получены вяжущие:

– высокоактивное – слабообожженное (температура обжига 800°С) с размером кристаллов MgO 30 нм;

– среднеактивное – нормальнообожженное (температура обжига 1100°С) с размером кристаллов MgO 43 нм;

– низкоактивное – сильнообожженное (обжиг при 1200°С) – размер кристаллов MgO 56 нм.

Магнезиальные вяжущие с подобными свойствами можно получить также из магнезитов разного генезиса и другого высокомагнезиального сырья, предварительно подобрав режимы обжига.

Обожженный продукт размалывали, а тонину помола контролировали по остатку на сите 008 (он должен быть не более 25%) и использовали для проведения исследований. Содержание MgO в полученном вяжущем, не зависимо от температуры обжига, составляло 87%, оставшиеся 13% представлены силикатами магния – форстеритом и другими инертными материалами.

Для выполнения поставленной цели был реализован двухфакторный план эксперимента, в котором значимыми факторами приняты температура обжига и плотность раствора затворителя. Образцы для исследований изготавливали из теста нормальной густоты в соответствии с требованиями ГОСТ 1216 «Порошки магнезитовые каустические». Магнезиальное вяжущее затворяли водными растворами $MgCl_2$ с плотностью 1,16, 1,2 и 1,24г/см^3, образцы твердели на воздухе при температуре 20±5 0С и относительной влажности 65±5 %. Пробы образцов отбирали через 3 часа после затворения, а затем через 1, 3, 7, 28 суток. Контролировали качественный и количественный состав продуктов гидратации формирующегося магнезиального камня и степень гидратации в нем MgO, используя при этом рентгенофазовый и дериватографический анализы (количественный расчет фаз проводили по стехиометрическим уравнениям разложения гидратных образований при нагреве до 1000°С). Испытывали также прочность при сжатии образцов магнезиального камня размером 2х2х2 см, после разной продолжительности твердения, а также склонность его к растрескиванию (неравномерность изменения объема). Склонность к растрескиванию образцов–лепешек, изготовленных по ГОСТ 310, определяли после 1 суток твердения на воздухе с последующей выдержкой в течение 1 суток в воде. Стойкость к растрескиванию оценивали в баллах, по виду и количеству трещин на об-

разцах после испытания: 1 балл соответствовал полностью растрескавшемуся образцу, 5 баллов присваивали образцам без трещин.

На основании анализа полученных результатов было выявлено влияние каждого исследуемого параметра и их взаимного действия на исследуемые свойства: изменения состава продуктов гидратации магнезиального камня, степени гидратации вяжущего и технических характеристик магнезиального камня позволяют выявить особенности влияния на эти характеристики активности вяжущего и плотности (концентрации) затворителя. При использовании затворителя с низкой плотностью – 1,16 г/см^3 для всех вяжущих, но в разной степени наблюдается интенсивный процесс гидратации MgO. Наибольшее количество $Mg(OH)_2$, до 48%, образуется при гидратации слабообожженного вяжущего, имеющего структуру исходного MgO близкую к аморфной. В этом случае магнезиальный камень формируется в основном из двух фаз: $Mg(OH)_2$ и $5MgO{\times}MgCl_2{\times}13H_2O$. При этом реакция образования гидроксида магния протекает интенсивнее, чем формирование 5-оксигидрохлорида магния, хотя в начальный период твердения первой кристаллической фазой, формирующей камень, является 5-оксигидрохлорид магния. Три-оксигидрохлорид магния в магнезиальном камне, полученном на высокоактивном вяжущем затворенном хлоридом магния с ρ=1.16 г/см^3 в период до 28 суток отсутствует. Степень гидратации слабообожженного вяжущего затворенного раствором $MgCl_2$ низкой плотности в первые часы твердения на 5-10% ниже, чем при затворении высококонцентрированными растворами с плотностью 1,20-1,24 г/см^3, но уже к суточному возрасту выравнивается.

В вяжущих, обожженных при более высоких температурах – 1100 и 1200°С и затворенных раствором $MgCl_2$ с плотностью 1,16 г/см^3 закономерности гидратационных процессов сохраняются. Однако в начальный период в структуре формирующегося камня отмечено дополнительное присутствие некоторого количества три-оксигидрохлорида, который при увеличении содержания $Mg(OH)_2$, то есть щелочности среды формирующегося камня, вероятно, становится нестабильным и уже после 7-ми суток твердения не обнаруживается ни на рентгенограммах, ни на дериватограммах. Из этого следует, что в высокощелочной среде три-оксигидрохлорид не стабилен и может существовать как стабильная фаза только в кислой среде, создаваемой высококонцентрированными растворами $MgCl_2$.

Затворение исследуемых вяжущих более концентрированными растворами хлорида магния, с плотностью 1,20 и 1,24 г/см^3, приводит к некоторому снижению скорости гидратации MgO и активизации процесса образования оксигидрохлоридов, $5MgO{\times}MgCl_2{\times}13H_2O$ и $3MgO{\times}MgCl_2{\times}11H_2O$ одновременно. На скорость гидратации MgO в неменьшей мере влияет и его активность, задаваемая степенью закристаллизованности вяжущего. Управлять процессом гидратообразования активного слабообожженного вяжущего, то-есть сдерживать гидратацию MgO довольно сложно, интенсивное увеличение гидроксида магния в камне приводит к повышению pH жидкой фазы и снижению стабильности три-оксигидрохлорида. Поэтому содержание в магнезиальном камне $3MgO{\times}MgCl_2{\times}11H_2O$ с повышением плотности затворителя и при снижении степени закристаллизованности вяжущего стабилизируется и даже несколько повышается к 28 суткам твердения.

Следовательно, варьируя концентрацией затворителя и активностью вяжущего мы можем управлять скоростью гашения MgO, делая ее такой, чтобы весь получаемый гидроксид магния через раствор сразу вступал в реакцию с хлоридами, образуя 5-оксигидрохлорид магния, а при понижении

pH гидратирующейся массы, и 3-оксигидрохлорид магния. Пента-оксигидрохлорид является наиболее стабильной фазой при гидратации магнезиального вяжущего, так как, в отличии от 3-оксигидрохлорида магния, в течение всего периода исследований снижения содержания этой фазы не обнаружено.

Анализ изменения степени гидратации вяжущих показал, что оксид магния, полученный обжигом при 800°С, уже к 7 суткам твердения гидратирует практически полностью, не зависимо от плотности используемого затворителя. Нормальнообожженное вяжущее к 28 суткам твердения, при учете инертных примесей, имеет степень гидратации свыше 80%, что обеспечит камню в дальнейшем высокую стабильность. Вяжущее, обожженное при повышенных температурах и содержащее пережог, к 28 суткам твердения имеет степень гидратации в пределах 63-75%. В дальнейшем, запакованный в камне пережженный MgO может перейти в гидроксид магния с увеличением объема, что вызывает появление в нем трещин и снижение прочности в поздние сроки твердения или при испытании его на водостойкость. Подобное, как правило, проявляется при использовании ПМК-75, дисперсность которого в соответствии с ГОСТ 1216 контролируется только проходом порошка через сито №2.

Ранее авторами были выявлены причины низкой трещиностойкости высокоактивного вяжущего, где, на основании данных электронной микроскопии с одновременным микроанализом изучаемых материалов, было показано, что, при использовании слабообожженного магнезиального вяжущего и затворителей с низкой плотностью (ρ=1,16-1,20 г/см^3), скорость образования гидроксида магния в системе значительно превышает скорость реакции образования 5-оксигидрохлорида магния. В результате структура магнезиального камня формируется блоками, состоящими из 5-оксигидрохлорида магния, а избыточный гидроксид магния вытесняется в межблочное пространство, тем самым, ослабляя контакты между блоками. При увлажнении материала гидроксид магния довольно интенсивно размягчается, что приводит к появлению паутинообразных трещин и к снижению прочности, а порой – к полному разрушению сформировавшегося ранее камня даже при повышенной относительной влажности воздушной среды. Гидратация слабообожженной MgO, затворенной растворами хлорида магния плотностью 1,20-1,24 г/см^3, приводит к формированию структуры магнезиального камня как из 5-, так и из 3-оксигидрохлоридов магния, которые и обеспечивают камню высокую прочность, а содержание Mg(OH)2 в камне хотя и снижается, но недостаточно, чтобы исключить растрескивание изделий при повышении влажности. В этом случае для повышения стойкости камня к растрескиванию, вероятно, требуется более концентрированный затворитель.

Использование вяжущего средней активности, затворяемого высококонцентрированными растворами хлорида магния, позволяет несколько сдерживать скорость гидратации MgO, активизируя процесс формирования 5- и 3-оксигидрохлоридов, при этом скорость образования ранние названных фаз выше для этого вяжущего, чем для слабообожженного. Использование затворителя повышенной плотности способствует формированию гомогенной структуры магнезиального камня с ограниченным содержанием гидроксида, который равномерно распределяется в среде высокопрочных оксигидрохлоридов магния, образуя однородный конгломерат. Это несколько снижает прочность камня, но значительно увеличивает его стойкость к растрескиванию.

Прочность формирующегося магнезиального камня для всех вяжущих, как правило, увеличивается при повышении плотности затворителя и степени его гидратации. Но следует отметить, что присутствие в магнезиальном камне значительного количества $Mg(OH)_2$ приводит не только к появлению трещин, но и значительно снижает его прочность.

Анализ результатов проведенных исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Главной и наиболее стабильной составляющей магнезиального камня затворенного хлоридом магния, обеспечивающей ему прочность и стойкость к растрескиванию, является $5MgOxMgCl_2x13H_2O$.

2. Гидроксид магния и $3MgOxMgCl_2x11H_2O$ являются метастабильными составляющими магнезиального камня, содержание которых можно регулировать изменением активности вяжущего и концентрации затворителя.

3. Повышенное содержание в магнезиальном камне $Mg(OH)_2$ способствует снижению прочности и увеличению склонности к растрескиванию.

4. Обожженное при пониженных температурах и слабозакристаллизованное, быстротвердеющее вяжущее формирует при гидратации, не зависимо от плотности затворителя, склонную к растрескиванию блочную структуру магнезиального камня с высоким содержанием $Mg(OH)_2$.

5. Снижение содержания гидроксида магния в структуре магнезиального камня можно обеспечить применением нормальнообожженного MgO, с размером кристаллов 38-43 нм, затворяя его растворами $MgCl_2$, с плотностью 1,20 г/см^3 и выше.

6. При использовании вяжущего, содержащего пережог, также необходимо применять затворитель с повышенной плотностью, чтобы активизировать гидратацию пережженного материала в ранние сроки твердения, снизить возможность образования трещин и уменьшения прочности при эксплуатации получаемых изделий.

7. В процессе гидратации магнезиального вяжущего 3-оксигидрохлорид магния является наименее стабильной фазой магнезиального камня, получаемой при затворении вяжущего растворами бишофита низкой плотности, так как его стабильность в значительной степени зависит от щелочности среды. При использовании затворителя повышенной плотности и уменьшении щелочности среды стабильность этой фазы повышается.

8. Для получения качественных строительных материалов необходимо специально производить нормальнообожженное магнезиальное вяжущее с размерами кристаллов 38-43 нм, формирующее при затворении растворами бишофита с плотностью выше 1,20 г/см^3 прочную и стойкую к растрескиванию структуру.

5. Области применения магнезиальных вяжущих

В настоящее время магнезиальные вяжущие применяются как химически стойкий цемент для изготовления стекломагнезитовых листов, плит, полов, искусственных камней, основа фибролита, ксилолита и других строительных материалов, для производства точильных камней, жерновов, абразивных кругов и брусьев, лестничных ступеней и др.

http://www.vost.ru/docs/article/magnezialnye-vjazhushhie-veshhestva.

К магнезиальным вяжущим веществам относят каустический магнезит и каустический доломит. Каустическим магнезитом или доломитом называют продукты, получаемые обжигом соответственно природного магнезита

($MgCO_3$) или доломита ($CaCO_3$-$MgCO_3$) с последующим измельчением их в порошок. В результате обжига магнезита при температуре 800-850°С углекислый магний разлагается с образованием каустического магнезита по обратимой реакции При обжиге доломита в интервале температур 650-750°С углекислый кальций не разлагается и, не обладая вяжущими свойствами, снижает активность получаемого каустического доломита.

Магнезит обжигают главным образом в шахтных или вращающихся печах, в то время как доломит обжигают обычно только в шахтных печах с выносными топками, хотя для этой цели могут быть использованы печи и других типов. При затворении каустического магнезита и доломита водой процессы гидратации протекают медленно, и затвердевший камень имеет небольшую прочность. Однако, если затворить их водными растворами солей хлористого или сернокислого магния и некоторых других солей, можно получить вяжущие вещества относительно высокой прочности. Так, например, марки вяжущего, характеризующие предел прочности при сжатии стандартных образцов состава 1:3 (каустический магнезит – песок), приготовленных из раствора, жесткой консистенции и испытанных на 28-й день, могут быть: 400, 500 и 600, образцы на каустическом доломите имеют марки 100, 150, 200, 300.

Магнезиальные вяжущие вещества обладают отличительной особенностью хорошо сцепляться с органическими материалами – древесными стружками, опилками, древесной шерстью и в то же время предохранять их от загнивания. Находясь продолжительное время под действием влажного воздуха, эти вяжущие вещества в значительной степени теряют свою активность.

Каустический магнезит получают при умеренном обжиге магнезита при температуре 700-800°С. Он состоит в основном из оксида магния.

Каустический доломит изготовляют обжигом природного доломита при 650-750°С, т.е. ниже температуры диссоциации углекислого кальция. Каустический доломит в основном состоит из оксида магния, являющегося активной частью вяжущего, и карбоната кальция, который, не обладая вяжущими свойствами, снижает его активность по сравнению с каустическим магнезитом.

При затворении этих вяжущих водой процесс гидратации оксида магния идет очень медленно, а затвердевший камень имеет небольшую прочность. Поэтому каустический магнезит и доломит затворяют не водой, а водным раствором хлористого или сернокислого магния. В указанных растворах повышается растворимость оксида магния и резко ускоряется процесс твердения. При этом наряду с гидратацией оксида магния происходит образование гидрооксихлорида магния и создаются условия для получения относительно высокой прочности затвердевшего камня.

5.1. Ксилолит, фибролит и арболит

Каустический магнезит используют для производства ксилолита и магнезиального фибролита. *Ксилолит* – материал для бесшовного пола, в котором древесные опилки сцементированы в монолит каустическим магнезитом. *Фибролит* – конструктивный и теплоизоляционный материал в виде плит, где в качестве заполнителя используется древесная стружка или древесная шерсть, сцементированные каустическим магнезитом. Каустический магнезит, кроме того, применяют для изготовления пеномагнезита и других теплоизоляционных материалов, при производстве изделий для внутренней

облицовки (искусственный мрамор, облицовочные плитки и др.), а также магнезиальных штукатурных растворов.

Каустический доломит – более дешевый материал, из него получают изделия несколько меньшей прочности, чем каустический магнезит; используется как заменитель (в некоторых случаях) каустического магнезита. Магнезиальные вяжущие вещества целесообразно применять лишь для изделий, эксплуатирующихся в сухих помещениях и конструкциях, не соприкасающихся с влагой.

Магнезиальные цементы применяют для изготовления фибролита, ксилолита, искусственного мрамора, штукатурок, теплоизоляционных материалов, лестничных ступеней, проступей, подоконных досок и других строительных изделий, оснований под чистые полы, скульптурных изделий, а также для получения точильных и литографских камней, искусственных жерновов и для ряда других целей.

Магнезиальные вяжущие вещества применяют преимущественно вместе с органическими заполнителями: опилками; древесной шерстью и др., которые не оказывают на магнезиальные вяжущие отрицательного действия. Это объясняется более нейтральным химическим характером этих вяжущих, а также минерализацией органических заполнителей оксихлоридом магния, образующимся при твердении. При сочетании же цемента с органическими заполнителями приходится вводить минерализаторы, например в виде хлористого кальция или сернокислого глинозема, так как содержащиеся в древесине водорастворимые экстрактивные вещества (сахара, гемицеллюлоза) вредно действуют на цемент.

Фибролит (по-гречески – волокнистый камень) представляет собой спрессованные и затвердевшие плиты из древесной шерсти, костры кенафа или других волокнистых органических материалов, связанных магнезиальным цементом.

Для получения фибролита каустический магнезит затворяют раствором хлористого магния или другой соли и затем полученное магнезиальное молоко тщательно смешивают с древесной шерстью, отвешивают необходимое количество фибролитовой массы и загружают ее в металлические или деревянные формы.

Фибролитовую массу спрессовывают под давлением 0,4-0,5 кг/см^2 и более. Вначале спрессованные в формах плиты подвергают в камерах воздействию в течение 6-7 ч воздуха, нагретого до 60-70°С, а затем в тех же или других камерах плиты в течение 7-8 ч нагревают воздухом с температурой 80-90°С при усиленной вентиляции.

В зависимости от объемного веса и прочности на изгиб различают следующие виды фибролита: теплоизоляционный, конструктивный и фибролитовую фанеру. Теплоизоляционный фибролит можно применять для утепления стен, перекрытий и полов из других материалов, конструктивный – для заполнения стен, перегородок и перекрытий каркасных конструкций, а фибролитовую фанеру – для обшивки под штукатурку стен и потолков.

Ксилолит (по-гречески – деревокамень) представляет собой затвердевшую смесь мелких органических заполнителей (опилок хвойных пород) и магнезиального вяжущего, затворенного раствором солей. Кроме того, добавляют асбест, тальк, трепел, кварцевый песок и красители. Ксилолит применяется главным образом для бесшовных (сплошных) полов и в виде прессованных плит и плиток для полов и облицовки стен.

Ксилолитовую массу получают путем подготовки, дозировки и перемешивания всухую каустического магнезита, заполнителей и красителей с

последующим затворением раствором хлористого магния; смесь должна иметь пластичную консистенцию. При устройстве ксилолитовых полов приготовленную массу укладывают на деревянные, бетонные или каменные основания.

Ксилолитовые полы укладывают в один или два слоя. Толщина однослойного пола 15-20 мм, а двухслойного – 20-30 мм. Состав ксилолита для однослойного пола, а также для верхнего слоя двухслойного пола 1:2, т. е. на одну объемную часть порошка вяжущего берут две объемные части опилок. Состав массы, используемой для нижнего слоя двухслойного пола – 1:4. Уложенную на то или другое основание ксилолитовую массу, выравнивают и уплотняют трамбованием или вибрацией

На заводах выпускают ксилолитовые плитки квадратной или многоугольной формы. Их размеры 20х20 или 15х15 см, толщина 12-15 мм. Размер опилок не более 1,5 мм. Состав ксилолитовой массы для опилок – 1:4. В процессе изготовления плиток ксилолитовая масса жесткой консистенции прессуется в горячем состоянии под давлением 300 кг/см^2.

Из магнезиальных вяжущих изготовляют пено- и газомагнезит. Пеномагнезит получают путем затворения каустического магнезита раствором хлористого магния или других солей с введением клееканифольного пенообразователя. Для получения газомагнезита можно применять те же газообразователи, что и для газосиликата.

Известны также теплоизоляционные материалы, изготовляемые из каустического магнезита и асбеста (асбестомагнезиальные плиты) или из каустического доломита и асбеста (совелит). Дозировка асбеста в обоих случаях составляет 15%. Штукатурные растворы на основе магнезиальных вяжущих используют для внутренней отделки зданий. В их состав наряду с вяжущим входят органические, а также минеральные заполнители и минеральные краски.

Легкие бетоны становятся очень востребованным стройматериалом в любых климатических поясах. Для того чтобы материал имел приемлемую цену, в его производстве выгодно применять производственные отходы. Например, в зонах, где имеются отходы лесной промышленности очень выгодно выпускать арболитовые блоки.

Арболит – это экологически чистый стройматериал, изготавливаемый на основе натуральных компонентов. В качестве заполнителя при его выпуске применяют хвойные древесные опилки, которые перемешивают с вяжущим компонентом.

Магнезит, цемент – замечательные вяжущие средства, но в целях экономии их перемешивают с известью или глиной. Для усиления твердости и уменьшения потери в массе в деревобетон включают песок.

Благодаря **древесным опилкам арболит** обладает замечательными **тепло-** и **звукоизоляционными характеристиками**. Кроме того, он «дышит», что делает возможным создать **благоприятный микроклимат** в домах из **блоков арболита**.

Недочетом блоков арболита можно полагать то, что стены из арболита нуждаются в обязательной защите от сырости окружающей среды. Поэтому снаружи дом обязательно должен быть оштукатурен или облицован, а внутри обшит отделочными материалами. Между внутренней обшивкой и блоками необходимо проложить пароизоляционный материал. Между блоками арболита и наружной облицовкой обязательно оставляют вентиляционные зазоры.

В зависимости от объема добавок в смеси можно выпускать опилкобетонные блоки разной плотности, прочности и стоимости. Физические данные определяют, для чего лучше использовать выпущенные арболитовые блоки. Если арболит характеризуется низкой степенью плотности, то его используют в строительстве одноэтажных домов, в сооружении многоэтажных домов задействуют более плотные и, соответственно, более крепкие стеновые блоки.

Холодостойкость блоков арболита зависит от его водопоглощающих свойств, с уменьшением показателей водопоглощения возрастает его холодостойкость. Арболит принадлежит к классу трудно-горючих материалов и совершенно соответствует требованиям огнестойкости, предъявляемым к стройматериалам. Блоки арболита легко поддаются распилу. При необходимости уменьшения размеров их можно просто пилить ручной ножовкой по дереву.

При использовании арболита существенно увеличивается скорость кладки, достигается экономия строительного материала. Арболит является отличной основой для использования любых видов защитных и декоративных покрытий.

По своим свойствам арболит очень близок к пенобетонам и шлакобетонам, а по некоторым показателям превосходит их и является опасным соперником.

5.2. Растворимое стекло и кислотоупорный цемент

Растворимое стекло представляет собой натриевый или калиевый силикат, где n=2,5-4 – модуль стекла. Растворимое стекло получают из смеси кварцевого песка с содой (или сульфатом натрия) и поташом в стекловаренных печах при температуре 1300-1400°С. Образовавшийся расплав при быстром охлаждении распадается на стекловатые полупрозрачные куски, называемые силикат-глыбой.

В строительстве растворимое стекло применяют в жидком виде и часто называют жидким стеклом. Растворение силикат-глыбы производят водяным паром в автоклаве. Силикаты натрия или калия, являющиеся основными компонентами жидкого стекла, в воде подвергаются гидролизу. Образующийся при гидролизе гель кремниевой кислоты обладает вяжущими свойствами. По мере испарения жидкой фазы концентрация коллоидного кремнезема повышается, он коагулирует и уплотняется.

В твердении растворимого стекла участвует также и углекислота воздуха, которая, нейтрализуя едкую натриевую или калиевую щелочь, образующуюся в растворе при гидролизе, способствует коагуляции кремнекислоты и более быстрому затвердеванию растворимого стекла. Процесс твердения растворимого стекла существенно ускоряется при повышении температуры и особенно при добавлении к нему веществ, ускоряющих гидролиз и выпадение геля кремниевой кислоты, например кремнефтористого натрия. Кремнефторид натрия в воде гидролизуется. Образующийся при этом фтористый натрий мало растворим в воде, поэтому процесс расщепления силикатов жидкого стекла и выделения геля кремниевой кислоты (клеящего вещества) ускоряется, что приводит к быстрому твердению системы.

Натриевое жидкое стекло используют для изготовления кислотоупорных, жароупорных и огнеупорных бетонов, огнезащитных обмазок и сили-

катизации грунтов. Калиевое жидкое стекло применяют для приготовления силикатных красок, мастик и кислотоупорных растворов и бетонов.

Кислотоупорный цемент изготовляют из тонкоизмельченных смесей кислотоупорного наполнителя (кварца, кварцита, диабаза, андезита и т. п.) и ускорителя твердения – кремнефтористого натрия. Название «цемент» для таких порошков имеет условный характер, так как они вяжущими свойствами не обладают и при затворении водой не твердеют. Вяжущим веществом в таких цементах является растворимое стекло, на водном растворе которого их и затворяют. Чаще всего применяют кислотоупорный кварцевый кремнефтористый цемент, в котором наполнителем является чистый тонкомолотый кварцевый песок.

Основное достоинство и принципиальное отличие кислотоупорного цемента от других неорганических вяжущих веществ – его способность сопротивляться действию большинства минеральных и органических кислот (кроме фтористоводородной, кремнефтористоводородной и фосфорной).

Схватываются кислотоупорные цементы в пределах 0,3-8 ч. Предел прочности при растяжении через 28 сут должен быть не менее 2,0 МПа, а кислотостойкость – не менее 93%. Предел прочности при сжатии стандартом не нормируется, но можно получить бетоны с прочностью при сжатии 30-40 МПа и более.

Кислотоупорный цемент применяют для приготовления кислотоупорных замазок, растворов и бетонов. Нельзя использовать кислотоупорный цемент для конструкций, подверженных длительному воздействию воды, пара и щелочей, а также в условиях низких температур (ниже минус 20°С).

5.3. Магнезиальный цемент

Для устройства магнезиальных полов используется магнезиальное вяжущее представляющее собой тонкодисперсный порошок активной частью которого является оксид магния. Оксид магния в свою очередь есть продукт умеренного обжига природных карбонатных пород магнезита или доломита. При затворении водой оксид магния гидратируется очень медленно проявляя при этом слабые вяжущие свойства. Однако при затворении водными растворами некоторых солей образуется прочный цементный камень. В частности при затворении хлористым магнием (бишофитом) получается вяжущее именуемое цементом Сореля. Многие свойства магнезиальных цементов лучше чем у портландцемента: они обладают эластичностью стойкостью к действию масел смазок органических растворителей щелочей и солей не требуют влажного хранения в процессе твердения обеспечивают высокую огнестойкость и низкую теплопроводность хорошие износостойкость и прочность при сжатии и изгибе в раннем возрасте. Очень существенным является то обстоятельство что магнезиальные вяжущие вещества харакеризуются повышенной прочностью сцепления с различными видами заполнителей как неорганических так и органических. Все эти качества обусловливают их применение в абразивном производстве (жерноточильные круги) для изготовления теплоизоляционных изделий (пено- и газомагнезит) и перегородок подоконных плит лестничных ступеней реже – для облицовочных плиток внутренней части помещения и малых архитектурных форм. Однако главным их использованием было и остается устройство бесшовных монолитных полов. Применять магнезиальные цементы для этих целей стали уже в конце XIX-начале XX века и изготавливались при

этом так называемые ксилолитовые полы и плиты. Ксилолит – это бетон на магнезиальном вяжущем включающий в себя в качестве наполнителя древесные опилки. Позже появились изделия из фибролита в котором наполнителем служили различные волокна. Такие полы являлись беспыльными (в силу низкой истираемости) довольно хорошо циклевались их можно было натирать мастиками. Полы были гигиеничны негорючи и долговечны. Однако и в этом их существенный недостаток магнезиальные бетонные полы характеризовались низкой водостойкостью и требуют защиты от увлажнения особенно снизу от капиллярного подсоса воды через основание и сбоку через стены. В связи с этим а также с дефицитностью сырья (в первую очередь магнезиты используют для получения огнеупоров) перспектив у магнезиальных вяжущих не было. И только теперь споявлением новых месторождений а также с расширяющимися возможностями химии полимеров магнезиальные полы получили новый взлет. Используя различные полимеры производители полов имеют возможность таким образом отгрунтовать поверхность основания на которое укладывается магнезиальный бетон чтобы грунтовка одновременно служила и гидроизоляцией и была паропроницаемой. Полимерная пропитка верхнего слоя (на толщину 2-3 мм) позволяет оградить от проникновения внутрь бетона влаги сверху. Кроме того используя новые технологии и материалы как органические так и неорганические можно получить водостойкое магнезиальное вяжущее. Такие материалы и технологии наша фирма имеет на вооружении и невозможности использует их на объектах

5.4. Магнезиальный бетон

Магнезиальный бетон – это уникальнейший материал, которому присущи свойства природного камня. По своему химическому составу он является сочетанием каустического магнезита, продукта кальцинирования находящегося в природе минерала магнезита, с солями магния, чьи водные растворы выступают в качестве так называемых «затворителей». «Затворённый» каустический магнезит называют ещё цементом Сореля по имени французского инженера, который ещё в 19 веке описал состав и свойства этого удивительного вещества.

Уже тогда была известна уникальность магнезиального цемента, кроющаяся в отличной сочетаемости высоких вяжущих свойств с абсолютно любыми видами заполнителей.

Он становится основой для разных камнеподобных материалов и самым главным преимуществом магнезиального бетона в строительстве перед классическими портландцементными составами, является его великолепная адгезия к любым типам оснований и высочайшая скорость схватывания.

Бетонные полы на основе магнезиального цемента экологически безопасны. Они просто незаменимы при производстве конструкций, предназначенных защитить от электромагнитных излучений. Полы из бетона Сорель обладают высокой прочностью, долговечностью и суперизносоустойчивостью, они беспыльны и не имеют усадки, могут похвастаться хорошими звукопоглощающими свойствами при относительно малой теплопроводности и своей абсолютной негорючестью. Это отличный вариант, как для жилых помещений, так и для различных промышленных зданий, складов, автопредприятий и т. д.

5.5. Магнезиальные полы

Магнезиальный цемент используют для устройства магнезиальных полов, как магнезиальное вяжущее, представляющее собой тонкодисперсный порошок, активной частью которого является оксид магния. Магнезиальный цемент получают из минерала Магнезит (от новолатинского «magnesia» – магнезия), относящегося к группе карбонатов ($MgCO_3$).

В результате обжига при 1000°С магнезит теряет большую часть (92-94%) углекислоты и превращается в химически активную порошкообразную массу – каустическую магнезию, используемую в магнезиальных вяжущих цементах.

При затворении водой оксид магния гидратируется очень медленно, проявляя при этом слабые вяжущие свойства. Однако при затворении водными растворами некоторых солей образуется прочный цементный камень. В частности, при затворении хлористым магнием (бишофитом $MgCl_2x6H_2O$ (12,0% Mg)) получается вяжущее, именуемое магнезиальным цементом.

Многие свойства магнезиальных цементов лучше, чем у обычного цемента: они обладают эластичностью, стойкостью к действию масел, смазок, органических растворителей, щелочей и солей, не требуют влажного хранения в процессе твердения, обеспечивают высокую огнестойкость и низкую теплопроводность, хорошие износостойкость и прочность при сжатии и изгибе в раннем возрасте. Полы сделанные на магнезиальном связующем, так же обладают рядом отличительных особенностей (табл. 5-7):

– высокая прочность;
– бесшовность и отсутствие усадки;
– беспыльность;
– химическая стойкость;
– гигиеничность;
– экологичность;
– высокая адгезия;
– звукопоглощение и теплоизоляция;
– антистатичность (электропроводность);
– пожаробезопасность и безыскровость.

Очень существенным является то обстоятельство, что магнезиальные вяжущие вещества характеризуются повышенной прочностью сцепления с различными видами заполнителей как неорганических, так и органических, поэтому полы на магнезиальном связующем имеют большую адгезию. Они могут с успехом использоваться в качестве укладке финишного слоя или в качестве стяжки по имеющимся поверхностям (эпоксидному покрытию, асфальту и т.д.). Магнезиальные растворы можно использовать так же в качестве ремонта дефектов бетонных полов (трещин, сколов, пустот и т.д.).

Основные отличительные особенности магнезиальных покрытий по сравнению с бетонными (бетонно-мозаичными) и полимерными полами:

– в отличие от покрытий на основе цемента, магнезиальные полы обладают повышенными прочностными свойствами и безусадочностью, приводящей к образованию трещин. Магнезиальные полы, в отличие от бетонно-мозаичного покрытия, абсолютно не пылят;

– в сравнение с полимерными покрытиями, магнезиальные полы отличаются простотой и скоростью укладки, большей надежностью и ремонтопригодностью. Магнезиальное связующее является негорючим материалом.

Перечисленные выше преимущества магнезиальных полов позволяет применять их в различных сферах жизни деятельности человека.

Таблица 5

Технические характеристики магнезиальных полов

Прочность на сжатие	30-70 МПа
Прочность на растяжение при изгибе	10-20 МПа
Модуль упругости	0,9-2,9 МПа
Морозостойкость, цикл, не менее	F 200
Истираемость, г/см^2, менее	0,25-0,3
Поверхностная твердость	130-210 МПа
Теплопроводность	0,5-0,7 Вт/м К
Толщина лицевого слоя	6-40 мм

Таблица 6

Свойства магнезиальных полов

Пожаро-безопасность, огнестойкость	Магнезиальные полы являются пожаробезопасными и огнестойкими. Магнезиальное связующее относятся по DIN 4102 к негорючим строительным материалам класса А1, и к группе В1 (ГОСТ 30402-96) по воспламеняемости материала. Полы на основе магнезиального связующего стоки к воздействию искр, огня, пожара, высоким температурам, невоспламеняем, относится к негорючим материалам. При пожаре не выделяет опасных для здоровья человека газов.
Химическая стойкость	Химически стоек: Органические и неорганические жиры. Нефтяные продукты и смазки на основе нефти. Бензин, керосин. Растворители; сложные эфиры, щелочные растворы.
Наличие швов	Преимуществом магнезиальных полов является их бесшовность, т.к. усадка материала незначительна. Однако предусмотренные в проекте конструкционные швы здания должны быть обязательно выполнены.
Электро-проводность	Электрическое сопротивление материала составляет < 10^6 Ом·см. Проводимость обеспечивает уверенный отвод статического электричества до заземления. При введение в состав специальных добавок, магнезиальные полы становятся электропроводными при сопротивлении материала менее 10^4 Ом·см.
Звукоизоляция	Коэффициент звукопоглощения материала составляет 0,30-0,50. Бесшовность поверхности пола обеспечивают малошумное и мягкое движение различных транспортных средств.
Гигиеничность	К гигиеничным полам относятся полы обладающие не пылящими свойствами, легкие в уборке материалы, обладающие антиэлектростатическими свойствами.
Пылеобразование	Магнезиальные полы являются не пылящей поверхностью
Искро-безопасность	При использовании неискрообразующих заполнителей полы не образуют искр при падении и ударах металлических предметов. Рекомендованы как полы для взрывоопасных производств.
Адгезия	Магнезиальное покрытие может взаимодействовать с различными существующими напольными покрытиями (бетон, плиты, асфальт, дерево и др.).

Таблица 7

Назначение типов полов

Наименование свойств	Сфера применения полов
Прочностные свойства	Эксплуатация пола в помещениях с большой нагрузкой на лицевой слой, ударных воздействиях, вибрации и т.д. Складские помещения, металлообрабатывающие заводы, производственные помещения
Эстетичность полов	При устройстве декоративных полов в жилых помещениях, местах общего пользования, культурно-оздоровительных учреждениях, складах, магазинах, рынках, и т.д.
Искробезопасность, пожаробезопасность	Магнезиальные полы, без использования в качестве добавок не искрящих, крупных минеральных наполнителей, рекомендованы для взрывоопасных производств, производств связанных с легко воспламеняемыми продуктами.
Электропроводность	Магнезиальные полы являются электропроводными, т.е. не накапливающими на поверхности статического заряда электричества. Различные типы производств, связанных с эксплуатацией энергоемкого оборудования.
Химическая стойкость	Предприятия химической промышленности, гаражи, парковки, автосервисы, пищевые комбинаты и т.д.

5.6. Устройство магнезиальных полов

Магнезиальный цемент обладающий уникальными свойствами природного камня представляет собой композицию из каустического магнезита (продукт обжига $MgCO_3$ при температурах до 700°С в форме MgO) и солей магния, главным образом $MgCl_2$ и $MgSO_4$.

Изделия из магнезиального цемента отличаются высокой механической прочностью и стойкостью к агрессивным средам. Как правило, марки магнезиального цемента начинаются там, где заканчиваются марки традиционного портландцемента, т.е. от 500 и выше. Состав и свойства этого вяжущего были описаны еще в середине XIX в. французским инженером Сорелем, положившим начало его применению в строительстве.

По своему строению цементный камень на основе магнезиального вяжущего является твердым раствором солей сложного состава. Уникальность магнезиального вяжущего заключается в сочетании его высоких вяжущих свойств с совместимостью практически с любыми видами заполнителей, в т.ч. органического, минерального и искусственного происхождения.

На основе магнезиального вяжущего получают различные камнеподобные материалы с заранее заданными свойствами. Основным же преимуществом для строителей, отличающим магнезиальный бетон от классических портландцементных составов, является великолепная адгезия к различным типам основания и высокая скорость схватывания.

Технологической особенностью магнезиального бетона является его двухкомпонентность. Компонентами магнезиального бетона являются:

– готовая сухая строительная смесь на магнезиальном вяжущем;

– бишофит (раствор морской соли), используемый в качестве затворителя.

Добросовестные производители поставляют на строительные площадки готовую смесь и затворитель, прошедшие лабораторный контроль. Очень важно то, что в качестве одного из компонентов используется фасованная, точно дозированная и проверенная в химической лаборатории сухая смесь. К ней в соответствии с инструкцией добавляется бишофит. Только в этом случае, т.е. когда сухая смесь приготовлена в заводских условиях и прошла контроль качества, когда остальные компоненты добавлены точно в соответствии с инструкциями, можно говорить о гарантированном результате.

Магнезиальные полы имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными, выполненными на цементном вяжущем:

1. Высочайшая адгезия (до 3 МПа) к различным основаниям: бетон, асфальт, металл, плитка. Это позволяет выполнять покрытие без армирования, а главное – обходиться меньшими толщинами, существенно снижая весовые нагрузки на конструкцию.

2. Высокая безусадочность. Как следствие, пол, выполненный из магнезиального бетона, не образует трещин. Это дает преимущество при обустройстве стяжки: можно создавать сплошные покрытия без деформационных швов на большой площади.

3. Износоустойчивость, отсутствие пылеобразования. Высокопрочные полы не пылят по всей своей толщине. Фактически пол из магнезиального бетона — это искусственный камень. В отличие от полимерных покрытий и бетонов с упрочненным верхним слоем, в магнезиальной стяжке работает вся толщина (15–40 мм), а не тонкий поверхностный слой.

4. Прочность на сжатие более 50 МПа. После 3 месяцев эксплуатации магнезиальное покрытие набирает до 80–120 МПа. Эта характеристика позволяет использовать магнезиальные бетоны в цехах с повышенной динамической нагрузкой (н.п. металлообработке).

5. Очень короткие сроки готовности пола к повышенным нагрузкам. Высокая скорость твердения и набора прочности позволяет использовать пол для хождения уже через несколько часов после укладки, полная эксплуатация (автотехника, ударные воздействия) – через несколько дней.

6. Маслобензостойкость. В отличие от цементного, магнезиальный бетон имеет закрытые поры, поэтому полы, созданные на его основе, обладают указанным свойством.

7. Искробезопасность. Не образует искры при ударах металлическими и каменными предметами. Особенно это свойство актуально при наличии в помещении взрывоопасной газовоздушной смеси.

8. Антиэлектростатичность. Не накапливает статического электричества. Это делает магнезиальные полы незаменимыми в помещениях с большим количеством электротехнических устройств (компьютеров, моторов, трансформаторов, дорогостоящего чувствительного оборудования), т.е. в лабораториях, промышленных помещениях и складах категории А.

9. Защита от электромагнитных полей и неионизирующих излучений. При добавлении в строительные материалы (штукатурные смеси, напольные покрытия) шунгитового наполнителя они приобретают свойство экранирования электромагнитных полей. Таким образом вместо громоздких защитных экранов появляется возможность конструктивно отделать помещение этими специальными составами и обеспечить полную изоляцию внутреннего пространства от радиоэлектронных помех, несанкционированных утечек информации. Этот спектр радиоэкранирующих материалов (производимых в виде сухих строительных смесей) открывает новые горизонты в актуальной сегодня сфере защиты корпоративной информации.

5.7. Область применения магнезиальных полов

При все возрастающем дефиците цемента и непредсказуемости его цены в разгар строительного сезона, представляется актуальным искать пути разумного замещения цементносодержащих конструктивных элементов.

Рассмотрим, например, возможность замещения классической цементно-песчаной стяжки пола в жилых помещениях. Обычно цементно-песчаная стяжка укладывается толщиной 50 мм. Магнезиально-песчаная полусухая стяжка может быть уложена слоем всего в 20 мм. Материал сам «приклеивается» намертво к бетонной плите, и за счет абсолютной безусадочности магнезиального вяжущего мы получаем полностью готовую, «в горизонте» стяжку, не требующую дальнейшего финишного выравнивания под линолеум, паркет, плитку и т.п. Срок созревания магнезиально-песчаной полусухой стяжки составляет 7 часов – для прохода людей, для эксплуатации – 5 суток. Таким образом, в альтернативном варианте применения магнезиальной стяжки можно отметить:

– существенное сокращение сроков отделочных работ;

– комплексное снижение затрат, т.к. пропадет необходимость применения дорогостоящих финишных ровнителей пола;

– снижение примерно в 2,5 раза весовой нагрузки на фундамент и конструкцию здания, по сравнению с ЦПС (при почти одинаковой плотности материала толщина меньше);

– полностью гигиеничный непылящий (в отличие от цементных составов) материал; не разрушается грибками микромицета, вызывающие болезни у людей;

– долговечность за счет повышенной прочности и отсутствия склонности к образованию трещин.

В настоящее время на строительном рынке представлены как магнезиальные смеси, укладывающиеся по схожей с традиционным бетоном методике (с исключением ряда операций, таких, например, как уплотнение), так и самонивелирующиеся составы, наиболее удобные в применении.

Магнезиальные полы служат 15–20 лет, что позволяет еще больше снизить затраты на эксплуатацию полов.

6. Стекломагниевые листы

6.1. Технические характеристики стекломагниевых листов

Стекломагниевые листы (СМЛ) – универсальный строительный материал XXI века. СМЛ на порядок превосходит другие материалы по многим параметрам, но при этом их стоимость держится на уровне аналогов.

По своему назначению СМЛ класса Стандарт (8 мм) можно сопоставить с такими материалами как гипсокартонный лист влагостойкий (ГКЛв) и гипсоволокнистый лист (ГВЛ). Как видно из таблицы, имея приблизительно одинаковую стоимость, СМЛ превосходит эти материалы по всем параметрам.

СМЛ класса Премиум (8 мм) по своему назначению сопоставим с материалами ориентированная стружечная плита (ОСП) и цементно-стружечная плита (ЦСП). Средняя цена СМЛ по рынку строительных материалов сравнительно ниже своих аналогов. При этом СМЛ Премиум так же имеет преимущество по основным характеристикам.

СМЛ содержит в своей основе оксид магния, хлорид магния, мелкодисперсионную древесную стружку и прочие связующие компоненты. Лист армирован с двух сторон стеклотканной сеткой, диаметр ячейки которой зависит от класса материала и его предназначения. В процентном соотношении, содержания оксида магния в материале составляет от 50% до 85%, также в зависимости от класса.

Наряду со многими преимуществами использования СМЛ стоит отметить, что СМЛ – один из немногих экологически чистых видов продукции, что выгодно отличает его от других современных стройматериалов. В составе СМЛ не присутствуют ядовитые и вредные вещества, такие как: асбест, фенолы, адгезивы и смолы.

Класс Стандарт применяется только для внутренней отделки помещений – отделка стен, потолков, межкомнатных перегородок, оконных откосов, арок, пола. СМЛ является хорошей основой для любого покрытия. Материал идеально подходит для покраски, наклейки обоев, пластика, керамической плитки, шпона и других декоративных элементов (табл. 8).

Класс Премиум обладает повышенной плотностью и более низким коэффициентом водопоглащения, может использоваться как для внутренней, так и наружной отделки помещений, но с обязательным финишным покрытием. Отделка фасадов строений, монтаж подвесных потолков и межкомнатных перегородок, устройство основания под покрытия пола. Листы Премиум класса отлично подходят для кровельных систем, изготовления сэндвич-панелей и строительных форм.

Кроме того, листы СМЛ STB применяются при создании коммуникационных шахт, систем кондиционирования и вентиляции (параметры продукции стекломагниевых листов приведены в табл. 9).

Строительный материал нового поколения – стекломагнезитовый лист, включает в себя характеристики и функциональные качества ГКЛ и ГВЛ и при этом является универсальным листовым отделочным материалом на основе хлорида магния, оксида магния, древесной мелко-дисперсионной стружки, иных связующих компонентов и армирован с обеих сторон стеклотканной сеткой, в которой диаметр ячейки напрямую зависит от класса материала и его предназначения.

Состав материала и технология изготовления придают ему такие качества, как влагостойкость, гибкость, прочность и огнеупорность. Благодаря армирующей стеклотканной сетке, лист может гнуться с радиусом кривизны до трех метров, в отличие от гипсокартона и ГВЛ. Эта особенность делает возможным его применение на неровных поверхностях и понижает возможность перелома листа при переносе и монтаже.

Стекломагнезитовый лист не горит и не дымит при температуре до 1200°С и, как любой другой огнеупорный материал, по международному стандарту он отнесен к классу А.

Даже после 100 суток нахождения в воде листы СМЛ не набухают, не лопаются и не расслаиваются.

Морозостойкость стекломагниевых листов доходит до F50 в зависимости от класса. При этом потеря механической прочности материала составила всего 3,5% (при допустимом 18%). К тому же, лист СМЛ при толщине 8мм превосходит лист гипсокартона толщиной 12,5 мм.

Кроме того, СМЛ устойчив к воздействию бактерий, плесени, насекомых.

Таблица 8

Сравнение характеристик стекломагниевых листов различных марок с аналогичными материалами

Параметры	СМЛ 10 мм (Стандарт)	ГКЛв 12,5 мм	ГВЛ 12 мм	СМЛ 8 мм (Премиум)	ОСП 9 мм (OSB)	ЦСП 12 мм
Геометрический размер	1220/2500	1200/2500	1200/2500	1220/2440	1220/2440	1200/3200
Плотность	0,8 г/см^3	0,65 г/см^3	1,0-1,2 г/см^3	1,1 г/см^3	0,6-0,65 г/см^3	1,1-1,4 г/см^3
Группа горючести	НГ	Г1	Г1	НГ	Г4	Г1
Группа воспламеняемости	В1	В3	В1	В1	В3	В1
Группа дымообразования	Д1	Д1	Д1	Д1	Д3	Д1
Группа токсичности	Т1	Т1	Т1	Т1	Т3	Т1
Предел прочности при изгибе в сухом состоянии, МРа, не менее	13,3	2,0	5,5	17,4	22	7-12
Предел прочности при изгибе во влажном состоянии, МРа, не менее	15,0	0,1	0,3	18,4	13	14
Водопоглощение, %	30,0	10,0	10,0	14,0	–	16,0
Твердость лицевой поверхности, МРа, не менее	35,8	20,0	20,0	66,6	–	45
Морозостойкость	F15	F4	F15	F50	–	F50
Влагостойкость	100%	–	–	100%	10-15%	–
Разбухание по толщине в воде, %	0,0	30,0	30,0	0,4	15,0	5,0
Теплопроводность в сухом состоянии, Вт/м.К, не более	0,19	1,45	1,4	0,26	0,33	0,26
Звукоизоляция, Дб	44	25	35	46	18	33
Паропроницаемость, мг/(м час Па)	0,11	0,075	0,12	0,14	0,004	0,11
Вес 1 м^2, кг/м^2	6,2	9,6	7,3	8,5	6	14,5
ЦЕНА 1 м^2	101-151 р/м^2	103-116 р/м^2	116-150 р/м^2	160-185 р/м^2	184-220 р/м^2	171-200 р/м^2

Таблица 9

Параметры продукции стекломагниевых листов

Состав	оксид магния, хлорид магния, бишофит, перлит, стекловолкно.
Геометрические размеры	1220х2440; 1220х2500 мм
Толщина	6; 8; 10мм; от 12 мм
Плотность	класс Стандарт а – 0,8 г/см^3 класс Премиум – 1,0 г/см^3
Предел прочности при изгибе в сухом состоянии, МПа, не менее:	класс Стандарт – 13,3 класс Премиум – 15,7
Предел прочности при изгибе во влажном состоянии, МПа, не менее:	класс Стандарт – 15,0 класс Премиум – 12,7
Водопоглащение, %, не более:	класс Стандарт – 30,0 класс Премиум – 24,7
Твёрдость лицевой поверхности, МПа, не менее:	класс Стандарт – 35,8 класс Премиум – 49,9
Морозостойкость	класс Стандарт – F15 класс Премиум – F35
Влагостойкость	при нахождении в воде (100) суток не разбухает и не теряет своих свойств, при этом после сушки геометрические размеры без изменений.
Разбухание по толщине в воде, %:	класс Стандарт – 0,0 класс Премиум – 0,5
Теплопроводность листов в сухом состоянии при температуре 20ºС±2, Вт/м•К, не более:	класс Стандарт – 0,197 класс Премиум – 0,219
Звукоизоляция, Дб.:	42-44
Паропроницаемость, мг/(м час Па):	0,11-0,14
Вредные вещества	Не содержит в своем составе вредных веществ, асбеста. Не выделяет токсичных, вредных веществ даже при нагреве.
Температурный коэффициент линейного расширения	без изменений
Группа горючести	НГ (негорючий)
Имеет все необходимые подтверждающие сертификаты:	Сертификат СЭЗ. Гигиенический сертификат. Пожарный сертификат. Производится по ТУ 5710-001-60765559-2009

Специалисты-строители высоко оценили удобство и простоту работы с ним. Новый листовой материал можно сгибать абсолютно сухим, крепить гвоздями и шурупами, СМЛ не крошится при фрезеровке и раскрое, позво-

ляя использовать для обработки любой инструмент – дрель, лобзик, гипсокартонный нож. На лист можно наносить финишную отделку – обои, кафельную плитку, декоративную штукатурку, краску. При устройстве стеновых конструкций с несъёмной опалубкой, листы толщиной 10мм и выше используют в малоэтажном домостроении как замена ЦСП и асбоцементным листам. Кроме того, листы СМЛ удобны для устройства подвесных потолков, перегородок, строительных форм, вентиляционных коробов и т.п. Огнестойкий материал СМЛ особо перспективен для создания кровельных систем в сочетании с экструдированным пенополистиролом. Материал экологически чистый, при нагревании нетоксичен, не содержит асбеста и вредных веществ.

Огнестойкость. Имеет прекрасные противопожарные свойства. Является абсолютно негорючим материалом (класс горючести – НГ). Материал рекомендовано использовать для отделки эвакуационных выходов: высокая огнестойкость листов предупреждает возгорание и распространение огня во время пожара.

Влагостойкость. Лист обладает свойством влагостойкости. При нахождении в воде более 100 суток он не теряет своих свойств, после сушки сохраняет форму, не разбухает. Влагопоглощение листа составляет от 14% до 30% в зависимости от класса СМЛ, и если потолки вашего помещения случайно зальют соседи сверху, достаточно будет лишь перекрасить потолок.

Морозостойкость. В зависимости от класса выдерживает до 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания, при этом не изменяет свои свойства.

Прочность, легкость, гибкость. Высокая прочность стекломагниевого листа, заметно превосходящая гипсоволокнистый лист (ГВЛ) и гипсокартонный лист (ГКЛ), что позволяет использовать СМЛ толщиной 8 мм там, где обычно применяют гипсокартон 12,5 мм. Этот факт позволяет значительно уменьшить вес конструкции и задействовать при монтаже меньшее количество работающих над одним листом. Монтаж подвесного потолка теперь станет, в буквальном смысле, в три раза легче. Особая технология изготовления делает стекломагниевые листы очень прочными и гибкими. Все перечисленное не только позволяет применять материал на неровных поверхностях, но и открывает новые возможности для творческого подхода к отделке.

Экологичность (безопасность). Экологически чистый. Для производства СМЛ используются растительные волокна, минеральное сырье и другие природные компоненты. Материал не содержит асбеста, бензола, метилового (древесного) спирта, не выделяет вредных и токсических веществ даже при нагреве, является материалом, рекомендованным к использованию. Радиационно безопасен и отвечает всем экологическим требованиям Госстандарта. Все эти немаловажные аспекты позволяют применять СМЛ при отделке жилых, промышленных и общественных помещений, а так же медицинских, культурно-бытовых, детских и школьных учреждений. Экологические показатели допускают контактирование стекломагниевого листа с продуктами питания.

Звукоизоляция. Обеспечивает качественное шумопоглощение и звукоизоляцию (42-44дБ). Стекломагниевый лист толщиной 12 мм по звукопроницаемости соответствует двум слоям 12 мм гипсокартонового листа, что в свою очередь соответствует звукопроницаемости кирпичной стены толщиной 150мм.

Химическая устойчивость. Заметного действия на магний дистиллированная вода не оказывает, как в прочем и фтористоводородная кислота любой концентрации, водные растворы фтористых солей, хромовая кислота и

прочее. Магний совершенно не боится едких щелочей, бензина, керосина и минеральных масел.

Антисептические свойства. Предотвращают появление плесени и грибковых образований. СМЛ обладает грязеотталкивающими свойствами, легко моется, способен выдерживать перепады температуры. Данные характеристики предотвращают появление плесени и грибковых образований, что во многом существенно для помещений с повышенной влажностью — сауны, бассейны, душевые.

Легкость обработки и монтажа. СМЛ удобен при монтаже, раскрой листа осуществляется путем надрезания стекловолокна и разлома по месту надреза. Крепление производится шурупами к деревянному или металлическому каркасу аналогично принципу крепления ГВЛ (гипсо-волокнистым листом) и ГКЛ (гипсокартонным листом). Можно пилить ножовкой, дисковой пилой. Можно сверлить. Пригоден для вбивания гвоздей. На поверхности стекломагниевого листа (СМЛ) прекрасно «себя чувствуют» самые разные виды красок, шпаклевок, клеев. Можно клеить стеклянную, керамическую и зеркальную плитку, обои и алюминиево-композитные панели, пластик и шпон.

6.2. Производство стекломагниевых листов

Для производства стекломагниевого листа требуется пять основных компонентов: магнезит, перлит, стеклоткань, хлорид магния, нетканые материалы.

Магнезит (от латинского magnesia), минерал из класса карбонатов, группы кальцита. Состав $MgCO_3$, содержит MgO 47,82%, CO_2 52,18%. Кристаллическая структура аналогична кальциту (мелу). Цвет белый, желтовато-серый. Твердость по минералогической шкале 3,75-4,25, хрупок; плотность 2900-3100 кг/м^3.

Перлит (от фр. perle – жемчуг) – горная порода вулканического происхождения или вулканическое стекло. Для перлита характерна мелкая концентрически-скорлуповатая отдельность (перлитовая структура), по которой он распадается на округлые ядра (перлы), напоминающие жемчужины с характерным блеском.

Перлит может иметь чёрную, зелёную, красно-бурую, коричневую, белую окраску различных тонов. Разновидности перлита: обсидиановый (с примесями обсидиана), сферолитовый (с примесями полевого шпата), смолянокаменный (однородный по составу), стекловатый и другие.

Стеклоткань представляет собой расплавленное стекло, которому придана форма длинных и тонких волокон или нитей. Эти длинные нити намотаны на катушки, а затем скручены в многонитевые жгуты. Эти жгуты затем сотканы в материал, называемый стеклотканью.

Хлорид магния (хлористый магний) – бинарное неорганическое химическое соединение магния с хлором, магниевая соль соляной кислоты. Встречается в природе в виде минерала бишофита. Химическая формула $MgCl_2$. ГОСТ 7759.

Нетканые материалы – текстильные изделия из волокон или нитей, соединённых между собой без применения методов ткачества. Нетканые материалы вырабатываются как из натуральных (хлопковых, льняных, шерстяных), так и из химических волокон (например, вискозных, полиэфирных и тп.)

Нетканый материал «Спанбонд» – нетканое 100% полипропиленовое термоскрепленное полотно. Экологически чистый, не аллергенный, доста-

точно прочный и, в то же время, очень легкий материал, преимущественно характеризующийся поверхностной плотностью, выраженной в граммах на квадратный метр. Широкий выбор плотности, от 15 до 150 г/м^2.

Нетканый материал, применяемый для производства стекломагниевого листа – должен весить 15-20 гр. на 1м^2. Оптимальное значение – 16 гр.

Процесс производства стекломагниевого листа (СМЛ) состоит из нескольких этапов:

1. формовка листа;
2. ламинирование листа СМЛ;
3. промывка;
4. сушка листа;
5. обрезка неровного края;
6. снятие фаски;
7. упаковка листов.

Сушка готовых листов до полного набора прочности – 30-50 часов при температуре 20-25°С. Процесс сушки листа СМЛ можно сократить до 4-5 часов, если использовать специальные сушильные камеры.

Линия по производству СМЛ обычно состоит из четырех частей: двух основных и двух вспомогательных. Основная часть линии по производству СМЛ состоит из собственно линии по производству СМЛ и участка подготовки смеси. Вспомогательная часть линии по производству СМЛ состоит также из двух частей. Первая часть состоит из кассет и ванн, предназначенных для выдержки и закрепления листов СМЛ. Вторая часть состоит и тепловых камер, необходимых для ускорения процесса сушки листов СМЛ.

6.3. Описание конкретной линии по производству стекломагниевого листа «СМЛ- 01»

Процесс формовки стекломагниевого листа является главным этапом в технологической цепочке изготовления СМЛ. Формовку специально подготовленной смеси осуществляет линия формовки стекломагниевого листа СМЛ-01, которая состоит из восьми сегментов установленных в строго определенной последовательности. Суммарная длина линии формовки стекломагниевого листа составляет 30-500 мм при габаритной ширине 1820 мм.

Специально подобранный стальной профиль, из которого изготовлены рамы столов, делает конструкцию достаточно прочной и жесткой при относительно небольшой массе.

1-й сегмент (далее стол) служит для ориентированного направления движения поддонов, на которых в дальнейшем осуществляется формовка СМЛ. Конструкция стола позволяет единовременно укладывать на него до 20 поддонов. Стол состоит из рамы, на которой установлены опорные, натяжные, ведомых и ведущие ролики, на которых натянута лента со специальным покрытием. Данное покрытие предотвращает проскальзывание поддонов при их движении. Использование подшипниковых опор ведущих зарубежных производителей и мотор-редукторов с импортными комплектующими увеличивает ресурс линии по производству СМЛ в целом. При этом сокращаются расходы, связанные с ремонтом и простоем линии по производству СМЛ.

2-й стол является формирующим. Здесь на поддоны из рулона укладывается армирующая сетка смоченная специальным составом, далее уже на сетку из бункера формовочной смеси укладывается в непрерывном режиме

сама смесь СМ. После этого поддон с уложенной сеткой и смесью проходит через формирующий ролик. Поверхность формирующего ролика состоит из специально подобранного полимерного материала с антиадгезионными свойствами, препятствующими налипанию смеси на ролик. Так как конструкция формирующего стола предусматривает возможность укладки промежуточного слоя армирующей сетки, то далее, если требуется получить более прочный лист (люкс), укладывается промежуточный слой армирующей сетки и из второго бункера формовочной смеси, также в непрерывном режиме, укладывается смесь. После чего поддон подаётся к второму формирующему ролику. Толщина получаемого листа СМЛ регулируется винтовым соединением с жесткой фиксацией контргайками.

3-й и 4-й столы являются промежуточными по ним поддоны перемещаются к 5-му – обрезному столу. Данные столы линии по производству СМЛ также состоят из рамы, натяжных, ведомых и ведущих роликов со специальной лентой. Крутящий момент на ведущий ролик передаётся с помощью системы цепей от мотор-редуктора, установленного на первом столе. Материал звездочек подобран специально, исходя из индивидуальных условий работы, обеспечивая надежную работу линии при низких затратах на запасные части.

На 5-м – обрезном столе производится обрезка будущих листов в промежутке между двумя поддонами. Отрезной нож, изготовленный из высококачественной инструментальной стали с помощью бесштокового пневмоцилиндра итальянской компании VESTA Automation, выполняет разрез БЕЗ остановки всей линии.

6-й стол является калибрующим. Здесь окончательно происходит калибровка листа по толщине и выравнивание его поверхности. Калибровка выполняется специальныи роликами. Калибрующий стол состоит из рамы, системы роликов, на которые натянута лента со специальным покрытием. Крутящий момент на ведущий и калибрующий ролики передаётся с помощью системы цепей от мотор-редуктора.

Калибровочный ролик имеет поверхность из специально подобранного полимерного материала с антиадгезионными свойствами, препятствующими налипанию смеси на ролик. Калибрующее устройство имеет возможность регулировки зазора между движущейся лентой и калибрующим роликом, для получения необходимой толщины стекломагниевого листа. Конструкция калибрующего устройства, имея два регулировочных винта, позволяет получать равномерную толщину отформованного и откалиброванного листа в поперечном сечении.

После калибровки поддоны перемещаются на 7-й – очистной стол. Здесь происходит очистка опорной части поддонов. Очистное устройство состоит из ванны для воды и двух валов с очистными щетками, частично погруженными в воду, вращающимися навстречу друг другу. Поддоны проходя через вращающиеся щетки смоченные в воде очищают свои опорные части. Вода в ванне меняется один раз в смену.

Процесс формования листа СМЛ заканчивается на 8-м – раздаточном столе, откуда поддоны с сформованными листами перемещаются далее согласно техпроцесса. Восьмой стол в составе линии по производству СМЛ состоит из рамы, ведущего и поддерживающих роликов. На нижних балках стола установлен мотор-редуктор вращающий через систему цепей ведущий ролик, а также приводящий в движение ленту с очистным устройством очистного стола и ленту с калибрующим устройством калибрующего стола.

С раздаточного стола поддоны с сформованными листами перемещаются далее двумя рабочими, либо специальным подъемно-транспортным устройством.

Станок для обрезки стекломагниевого листа «СМЛ-02» предназначен для обрезки и выравнивания краев стекломагниевого листа перед отправкой заказчику. При производстве стекломагниевого листа на линии СМЛ-01, сам лист выходит с неровным краем. После сушки лист обрезается со всех сторон. Обрезки листа СМЛ дробятся и используются вторично в качестве наполнителя. На станке СМЛ-02 можно обрезать листы СМЛ как по одному (толщины более 12 мм), так и пакетами по несколько штук в зависимости от толщины. Станок имеет многократный запас прочности и рассчитан на круглосуточную работу.

Станок СМЛ-02 является неотъемлемой частью линии по производству стекломагниевого листа. Станок представляет собой станину, на которой жестко закреплены две пилы – основная и предварительная. На станине закреплены направляющие, по которым осуществляется движение каретки с листом СМЛ. Каретка имеет упоры для выравнивания листа. При резки СМЛ образуется пыль и осколки, которые вытягиваются специальным пылесборником.

Вибросито для отходов стекломагниевого листа «СМЛ-04» служит для очистки опилок от крупных примесей. Сито может устанавливаться непосредственно на приёмном бункере, если позволяет высота помещения, или перед бункером на вспомогательный лоток, с последующей транспортировкой очищенных опилок в бункер.

Сито работает следующим образом. Во вращающийся барабан установленный под определенным углом к горизонту шнековым транспортером подаются опилки, мелкие фракции проходя через ячейку размером 2,2х2,2 мм образуют «проход», а крупные – «сход». Сход может подаваться в дробилку на измельчение, а проход подаётся в бункер для опилок.

Дозатор наполнителя стекломагниевого листа «СМЛ-05» представляет собой цилиндрический бункер выполненный из стального листа с дозирующей заслонкой. В бункере установлен датчик объема. Когда в бункер поступает необходимый объём наполнителя срабатывает датчик и отключается подающий транспортёр. Теперь открытием дозирующей заслонки требуемый объём наполнителя поступает в смеситель компонентов.

Автоматический транспортер наполнителя в дозатор «СМЛ-06» применяется для транспортировки сырья при производстве стекломагниегого листа. Транспортер СМЛ-06 предназначен для поддержания постоянного уровня сырья в приемном бункере дозатора СМЛ- 05. Управление транспортером СМЛ-06 осуществляется в автоматическом режиме с пульта управления линией по производству СМЛ, который поставляется в комплекте вместе с линией СМЛ-01. Управление транспортером заключается в следующем: на приемном бункере дозатора установлены три датчика уровня. Когда уровень сырья опускается до нижнего датчика – транспортер включается. Когда уровень сырья доходит до среднего датчика – транспортер выключается. Верхний датчик - аварийный.

Дозатор магнезита «СМЛ-07» представляет собой цилиндрический бункер выполненный из стального листа с дозирующей заслонкой. В бункере установлен датчик объема. Когда в бункер поступает необходимый объём магнезита срабатывает датчик и отключается подающий транспортёр. Теперь открытием дозирующей заслонки требуемый объём магнезита поступает в смеситель компонентов.

Автоматический транспортер магнезита в дозатор «СМЛ-08» применяется для транспортировки сырья при производстве стекломагниевого листа. Транспортер СМЛ-06 предназначен для поддержания постоянного уровня сырья в приемном бункере дозатора СМЛ-07. Управление транспортером СМЛ-08 осуществляется в автоматическом режиме с пульта управления линией по производству СМЛ, который поставляется в комплекте вместе с линией СМЛ-01. Управление транспортером заключается в следующем: на приемном бункере дозатора установлены три датчика уровня. Когда уровень сырья опускается до нижнего датчика – транспортер включается. Когда уровень сырья доходит до среднего датчика – транспортер выключается. Верхний датчик – аварийный.

Дозатор хлорида магния «СМЛ-10» представляет собой цилиндрический бункер выполненный из нержавеющей стали с дозирующим шаровым краном. В бункере установлен датчик объема. Когда в бункер поступает необходимый объём хлорида магния срабатывает датчик и отключается подающий транспортёр. Теперь открытием дозирующего шарового крана требуемый объём хлорида магния поступает в смеситель компонентов.

Смеситель высокоскоростной для приготовления раствора соли «СМЛ-11» представляет собой бочку выполненную из нержавеющей стали с дозирующим шаровым краном. В бочке смонтированы лопасти приводимые в движение мотор-редуктором мощностью электродвигателя 4 кВт. Необходимые компоненты подаются в смеситель, запускается мотор-редуктор – происходит перемешивание компонентов в однородный раствор. После отключения мотор-редуктора открыть дозирующий шаровый кран для дальнейшего использования полученного раствора в приготовлении смеси.

Стеллаж с кассетами для выгрузки стекломагниевых листов «СМЛ-12» для снятия поддонов с листами с раздаточного стола, перемещений в зону набора прочности, сушилку, ванну для вымачивания. Кассета представляет собой легкую рамную конструкцию с фиксаторами листа и ручками для удобного перемещения.

Растариватель биг бэгов с сырьем для стекломагниевого листа служит для удобного растаривания биг бэгов (больших мешков) с сырьем. Состоит из рамы опорной, подвесной рамки и основания. Для растаривания необходимо одеть гибкие ручки биг бэга на подвесную рамку. Подвесная рамка вместе с биг бэгом перемещается, например, с помощью электрокары на опорную раму растаривателя. На внутренней поверхности основания имеются ножи разрезающие дно биг бэга. Содержимое биг бэга высыпается в конусное днище основания на котором снаружи прикреплен вибратор для предотвращения слипания продукта. Конусное днище оснащено задвижкой.

6.4. Области применения стекломагниевых листов

Пол, изготовленный из СМЛ с соблюдением всех параметров технологии монтажа обладает высокой прочностью, плоской бесшовной поверхностью, отличается высокими звуко- и теплоизоляционными характеристиками. Функциональные свойства магнелита обеспечивают высокую контактную прочность листа, сразу же после укладки сборных элементов и высыхании клея, полы можно подвергать нагрузке. Полы из магнелита возможно укладывать в холодное время года, потому как этот материал не требует сушки. Незначительная масса панелей снижает нагрузку на несущие конструкции, что

расширяет сферу применения листов магнелита в старых строениях и зданиях с ослабленными перекрытиями.

Обработка поверхностей пола из магнелита разрушит представления о трудоемкости и сложности этого процесса. Во-первых, исключительные теплоизоляционные качества позволяют без особой подготовки укладывать на магнелитовую поверхность плитку и покрывать его безосновным линолеумом, а во-вторых, благодаря антисептическим свойствам магнелита, становится возможным укладка деревянных покрытий из любых пород дерева.

Технология покрытия сухого пола стекломагниевым листом. Качество пола напрямую зависит от качества стяжки. Разделяют стяжки на сплошные, из цементно-песчаного раствора (их называют мокрые) и сборные (сухие). Традиционной является сплошная стяжка из бетонного или цементно-песчаного раствора. Однако, по сравнению с цементно-песчаной, сборная (сухая) технология оказалась привлекательной в экономическом плане и в последнее время все чаще внедряется в строительную практику. Такой способ устройства пола применяется как в ремонте старых зданий, так и при возведении новостроек.

Технология изготовления сборного пола с сухой стяжкой заключается в следующем. На листы перекрытия наносят толстый объемный слой сухой засыпки. Сверху застилают прочным листовым материалом (сухой стяжкой), и уже потом на него укладывают чистовой пол. Количество слоев и применяемые в строительстве материалы могут варьироваться в зависимости от требований к качеству и особенностей пола. Укладывать сухой пол по засыпке возможно как по плитным перекрытиям, так и на полы с лагами (регулируемыми и стационарными).

Материал для засыпки сборных полов должен отвечать следующим требованиям:

– соответствовать оптимальному зернистому составу, обеспечивающем минимальную осадку под действием статической (мебель) и динамической (утренняя зарядка, танцы) нагрузок;

– обладать хорошей сыпучестью – для гарантированного разравнивания;

– высокую пористость, определяющую их теплоизоляционные свойства и звукопоглощение;

– минеральный состав, гарантирующий пожаробезопасность;

– низкую гигроскопичность – во избежание повышения влажности.

Монтаж сборного пола начинается с подготовки поверхности перекрытия. В первую очередь необходимо удалить старый пол (если он есть), заделать все зазоры между плитами перекрытия, выбоины, монтажные углубления, щели между перекрытием и стенами цементно-песчаным раствором не ниже 100-150, и тщательно очистить перекрытие от строительного мусора. В последствии нанести на стену отметку поверхности засыпки с помощью гидравлического или лазерного уровня, и затем устроить из полиэтиленовой пленки ее паро- и влагозащиту: уложить соседние полосы с нахлёстом не менее 15-25 см, чтобы около стен пленка поднималась до сухой стяжки.

Для предотвращения искривления чистого пола от теплового расширения основания и исключения «звуковых мостиков», оставляют зазор шириной 8-10 мм вдоль стен по всему периметру пола. В зазор укладывают звукоизоляцию в виде кромочной ленты, состоящей из стеклянной или минеральной ваты марки М75 или М100, пенополиэтилена или похожего материала. Поместив засыпку на пленку, ее выравнивают по уровню разметки с помощью рейки. После этого укладывают стекломагниевый лист по засыпке в два слоя, в процессе монтажа прочно скрепляя их между собой саморезами и клеем. Швы от крепежа шлифуют и шпаклюют.

Пол с основанием, уложенным подобным образом, выдерживает те же нагрузки, как полы с бетонной стяжкой. Основание имеет индекс поглощения ударного шума 18-22 дБ.

Стекломагниевые листы 10 мм или склеенные между собой листы со смещением относительно друг друга в двух направлениях, укладывают в один или несколько слоев, в зависимости от толщины. Поверхность стяжки покрывают битумной гидроизоляцией. С сухой стяжкой можно использовать пленочные и кабельные электронагреватели.

Основным и главным преимуществом в пользу сборных полов является избежание мокрых процессов, связанных с бетонными работами. С использованием СМЛ снижается длительность и трудоемкость строительного цикла, обеспечиваются высокие теплозащитные свойства пола, появляется возможность легко проложить в стяжке линии коммуникаций, а иногда и требуемая звукоизоляция.

Использованием СМЛ в основании пола предпочтительно в следующих случаях:

– при ремонте и реконструкции старых зданий, особенно с деревянными перекрытиями, т.к. появляется возможность снизить нагрузку на несущие конструкции;

– при устройстве отапливаемых деревянных полов; зимой, когда нельзя выполнить мокрую цементно-песчаную стяжку;

– когда нужно подготовить основание пола ускоренными темпами.

Основные преимущества сухих полов:

– возможность устраивать полы в холодное время года, отсутствие существенных энергозатрат и потери времени на сушку;

– высокая контактная прочность панели;

– отсутствие необходимости использования специальной техники, высокая производительность при выполнении работ;

– высокие показатели пожарной безопасности (класс НГ);

– высокие теплоизоляционные свойства, создающие комфортные условия в жилых помещениях, даже при использовании тонких финишных настилов (например, линолеума без слоя утеплителя);

– небольшая толщина основания пола (16-24 мм) максимально сохраняет объем помещения, что особенно заметно при использовании в подвале и на чердаке;

– сразу после укладки панелей и высыхания клея позволяют воспринимать рабочую нагрузку;

– незначительная масса основания пола (1 м2 весит 16-20кг) существенно снижает нагрузку на несущие конструкции, что является большим плюсом для выравнивания полов при реставрации зданий с ослабленными перекрытиями;

– обеспечение высокой степени звукоизоляции от ударного (Lw = 55дБ) и воздушного шума (Rw = 58дБ)

Сухие сборные полы с использованием стекломагниевых листов – это надёжное и долговечное покрытие, которое прослужит долгие годы.

В отделке помещений, облицовка стен – один из самых кропотливых видов работ. Стекломагниевые листы позволяют сократить использование штукатурных растворов, и как следствие провести ремонтные и строительные работы значительно быстрее и чище.

Облицовка стен СМЛ производится с использованием металлических каркасов или шпаклевочных смесей. Каркасы обшиваются одним или несколькими слоями СМЛ. Полученная таким способом поверхность позволя-

ет нанести практически любые отделочные покрытия – традиционные обои, плитка, краска, штукатурка и прочее.

СМЛ функционален и легок в конструировании стен, а значит отлично подходит и для возведения перегородок, где качества магнелита раскрываются наиболее ярко – использование перегородок зачастую преследует цель для обособленности помещения, соответственно требует от материала хорошую звукоизоляцию и огнеупорность, где магнелит полностью соответствует требованиям СНиП 21-01-97.

По параметрам нагрузки на перекрытия, такие перегородки поэлементной сборки более надежны по сравнению с кладочными перегородками. Перегородки устойчивы к деформации, легко вписываются в смелые дизайнерские проекты, а при необходимости – быстро демонтируются. Со стекломагниевым листом просто работать – обрабатывать и резать его можно так же, как гипсокартон, специальные инструменты и приспособления для этого не нужны.

Стекломагниевый лист имеет две стороны: шероховатая и гладкая. На шероховатую сторону плотнее ложится мастика, штукатурка, кафельная плитка, а вот для наклейки обоев или покраски, будет правильно, если гладкая сторона СМЛ будет наружу, а шероховатая внутрь.

Облицовка стен стекломагниевыми листами осуществляется с помощью металлического каркаса или монтажного клея (шпаклевочной смеси).

Монтаж облицовок с использованием стекломагниевого листа необходимо производить во время отделочных работ, в теплом сухом помещении (при подключенном отоплении зимой), в эксплуатационных условиях, до начала устройства чистого пола. Выполнение отделочных работ должно проходить в строгом соответствии с технической документацией и требованиями проекта. Перед монтажом стекломагниевых листов, они должны пройти обязательную адаптацию (акклиматизацию) в помещении, где будут использоваться.

Крепление направляющих профилей каркаса рекомендовано осуществлять с помощью герметика или уплотнительной ленты, дюбель-гвоздями и дюбелями шагом не более 1000 мм, при условии использования не менее трех креплений на один профиль. Потолочные профили конструкции С 623 используются в качестве стоек, поэтому закрепляются к базовой стене через уплотнительную ленту с помощью прямых подвесов. Крепление так же осуществляется дюбель-гвоздями либо дюбелями. Шаг установки подвесов составляет не более 1500 мм. Скрепляется потолочный профиль самонарезными винтами LN 9.

Устанавливаются стоечные профили в направляющие с шагом 610 мм в типовых решениях, а в отдельных конструктивных 400/300 мм. Крепление к направляющим стоечных профилей осуществляется методом «просечки с отгибом» с использованием специального инструмента – просекателя. Размещение внутри каркаса электропроводок должно исключать их случайное повреждение винтами и острыми краями элементов каркаса в процессе крепления на него листов. Панели СМЛ крепятся на металлическом каркасе встык в соответствии проектному шагу стоек. Смещение («разбежка») листов второго слоя обшивки относительно первого делается кратно шагу стоек.

Если в конструкции облицовки с однослойной обшивкой между листами имеются горизонтальные швы, их стыковка и закрепление производятся на горизонтальном металлическом профиле. Торцевые швы в таком случае должны смещаться на расстояние не менее 400 мм относительно друг друга

по вертикали. В конструкции с двухслойной обшивкой смещение горизонтальных швов первого и второго слоя должно составлять не менее 400 мм.

Для крепления стекломагниевых листов к каркасу используют самонарезающие винты с зенкующей головкой (MN типа). Входить в лист они должны под прямым углом и углубляться в металлический каркас не менее чем на 10 мм. При этом головки винтов должны утопать в лист на глубину около 1 мм с последующим обязательным шпаклеванием. Неправильно ввернутые и изогнутые винты необходимо удалить и заменить на новые, оставив расстояние около 50 мм от прежних. При однослойной обшивке шаг установки винтов – 250 мм (L-25). В двухслойных обшивках этот шаг составляет: 750 мм (L-25) для первого слоя и 250 мм (L-35) для второго. Многослойные обшивки рекомендуется выполнять в течение одного дня.

При высоте облицовки до 3,5 м, деформационные швы устраиваются в облицовках через каждые 15 см их обязательным повторением в ограждающих конструкциях. Шпаклевание продольных (вертикальных) швов стекломагнезитовых листов осуществляется с применением шпаклевочной смеси и армирующей ленты. В предварительно нанесенный слой шпаклевки путем вдавливания уложить армирующую ленту. После высыхания шпаклевки нанести накрывочный и при необходимости финишный слой. Торцевые кромки стекломагниевых листов образуют поперечные (горизонтальные) швы между смежными листами, которые необходимо заделывать с помощью шпаклевочной смеси. Для этого с прямых кромок снимаются фальцы шириной 30 мм и глубиной 2 мм универсальным отборным рубанком, после чего шпаклюются с использованием армирующей ленты. Шпаклевать так же нужно и углубления от винтов. После высыхания поверхность шлифуется и обрабатывается грунтовкой.

При двухслойной обшивке можно шпаклевать швы внутреннего слоя стекломагниевого листа без армирующей ленты.

Основные преимущества стен, обшитых листами СМЛ:

– низкий расход отделочных материалов;

– удешевление готовой поверхности за счёт сокращения норм расходов;

– эстетический внешний вид готовой поверхности;

– изготовление стен или перегородок с высоким радиусом кривизны, благодаря гибкости;

– быстрота и лёгкость монтажа конструкции, за счёт лёгкого веса (вес 1 кв.м СМЛ толщиной 8 мм составляет 6,2 кг);

– высокие показатели влагостойкости, использование панелей в местах с повышенными требованиями к влажности;

– общая экономия затрат на строительство за счет облегчения конструкции здания;

– значительно возрастает производительность труда;

– высокие показатели звукоизоляции (коэффициент звукоизоляции составляет 42 дБ);

– высокие теплотехнические характеристики (коэффициент теплопроводности составляет 0,14 Вт/м^2);

– высокая степень пожаростойкости (класс НГ);

– в ходе отделочных работ сокращается количество «грязных» процессов;

Перегородки поэлементной сборки с обшивкой стекломагниевыми листами являются полностью пожаробезопасными конструкциями. Используются в общественных, жилых и производственных помещениях, а также в местах, где к межсекционным ненесущим стенам и к перегородкам предъявляют нормативные требования при классе пожарной опасности конструк-

ций КО (45) по пределам огнестойкости. Перегородки также применяются на путях эвакуации (в вестибюлях, лифтовых холлах, лестничных клетках), где не допускается применение материалов с более низкой степенью огнеупорности чем Г1, В1, Д1, Т1. Использование стекломагниевых листов для создания перегородок рекомендовано и на других строительных объектах, где предъявляется высокие требования к комплексной противопожарной защите и звукоизоляции.

Применение в строительстве перегородок не ограничивается конструктивными системами, уровнем ответственности, этажностью зданий, классом функциональной пожарной опасности, степенью огнестойкости, а также инженерно-геологическими и климатическими условиями.

Основу конструкций перегородок из стекломагниевых листов составляют металлические каркасы в своем многообразии конструктивных решений и двусторонние обшивки одним или несколькими слоями.

Использование стекломагниевых листов в строительстве перегородок не только делает работу быстрее и легче, но и повышает безопасность конструкций, делая их огнеупорными.

Использование в конструирование подвесных потолков СМЛ отвечает широкому спектру требований, выдвигаемых к качественному современному дизайну жилых, торговых и производственных помещений.

Потолок, естественно, не является несущей конструкцией и выполняет, скорее, эстетическую функцию, скрывая электропроводку, телекоммуникационное и инженерное оборудование. Благодаря высоким конкурентным преимуществам стекломагниевых листов, потолок улучшает звуко- и теплоизоляционные параметры помещения, а также повышает его огнестойкость. Особое внимание стоит уделить важному свойству СМЛ — влагоустойчивости, которая предотвращает образование грибка, не нуждаясь при этом в антисептической обработке.

Конструирование потолков и подвесов осуществляется с использованием металлических или деревянных (с влажностью не более 12%) каркасов. Подвесы закрепляются винтами (по деревянным лагам) либо анкерными элементами (ж/б потолок). Чтобы зашпаклевать стыки листов используется армирующая лента (серпянка), которая укладывается вдавливанием в нанесенный предварительно слой шпаклевки. При высыхании первого слоя шпаклевки на потолок наносится накрывочный слой, затем при необходимости финишный. Подготовка поверхности обшивки под чистовую отделку начинается со шлифования высохшей зашпаклеванной поверхности и обрабатывается грунтовкой для достижения наилучшего результата. На стыке потолка и стены устанавливается разделительная лента.

6.5. Технология монтажа с использованием стекломагниевых листов

Каркас состоит из основных потолочных профилей, соединенных между собой (в один или два уровня) в единую конструкцию при помощи соединительных крепежей и закреплены на подвесах, которые в свою очередь крепятся на несущие конструкции зданий с помощью шурупов и дюбелей (базовый потолок). По периметру строительного объекта закрепляются направляющие потолочные профили, также служащие направляющими и для основных профилей. Стекломагниевые листы могут крепиться к каркасу из деревянных брусков, остаточная влажность которых не превышает 12±3%.

С точки зрения эксплуатационных характеристик, каркас из деревянных брусков менее предпочтителен в строительстве, чем каркас из металлических профилей, несмотря на более высокую стоимость последнего. Металлические профили, в отличие от деревянных брусков, способны выдержать большую нагрузку, практически не подвержены деформации, обладают стойкостью к неблагоприятным факторам окружающей среды и показывают лучшие показатели огнестойкости.

Основные профили конструкций (деревянных или металлических) крепятся к потолку с помощью прямых подвесов П-образной формы. Подвес фиксируют к несущему основанию (потолку) шурупами и дюбелями, используя удлиненное отверстие в верхней части профиля. Это дает возможность регулирования положения профиля в горизонтальной плоскости. Перфорация (отверстия) на боковых частях подвеса позволяют прикручивать потолочный профиль (брусок) на различной высоте, регулируя высоту подвесного потолка непосредственно из панелей. Подобная конструкция подвесов позволяют получить минимальный проём между поверхностями базового и подвесного потолка из СМЛ.

При другом способе закрепления потолочных профилей используется несколько регулируемых крепежей, имеющих вид перевернутой буквы «Т» в комплекте со спицей длиной 0,25-0,50 м. С одной стороны спицы находится загнутое «ушко», с помощью которого она крепится к потолку. Если в конструкции используются обычные шурупы и дюбели, то для крепления «ушко» загибается вбок перпендикулярно спице, при использовании в конструкции специальных дюбелей с крюком, загибать «ушко» спицы не требуется и спица просто подвешивается на крюк.

После фиксации спиц на базовом потолке, к ним крепятся регулируемые Т-образные крепежи. В их устройстве имеется пружинный зажим для регулирования высоты крепежа спицы, позволяющий из основных потолочных профилей выполнить ровную горизонтальную плоскость или плоскость, расположенную под определенным углом к горизонтали. Крепежи также могут регулировать высоту каркаса в значительных пределах. Они имеют защелки в нижней (большей) части, к которым легко крепится основной потолочный профиль. Расстояние между основным потолочным профилем и подвесом прямо пропорционально нагрузке, предполагаемой на каркас подвесного потолка и требований к его степени пожарной безопасности.

Суммарная нагрузка на каркас – это общий вес самого каркаса, прикрепленных к нему стекломагниевых листов, осветительных приборов, тепло- и звукоизоляционного материала, коммуникаций и другого инженерного оборудования, которые монтируются непосредственно к каркасу и самому подвесному потолку.

Каркасы в системе подвесных потолков с использованием в СМЛ разделяют на три вида:

– потолок с одноуровневым металлическим каркасом;

– потолок с двухуровневым металлическим каркасом;

– потолок с каркасом из деревянных брусков.

Подвесной потолок с одноуровневым металлическим каркасом используется в тех случаях, когда необходимо максимально сохранить высоту помещения. Удачно подходит для квартир со стандартной планировкой, где высота потолка часто не превышает 2,5-2,6 м.

При такой структуре потолка основные потолочные профили закрепляются к базовому потолку с помощью прямых П-образных или Т-образных регулируемых подвесов. Между основным несущим профилем

(продольным) располагается второстепенный (поперечный) профиль, который соединяет их одноуровневыми крепежами крестообразной формы – «крабами». Эта конструкция позволяет расположить четыре профиля встык, строго перпендикулярно друг другу в горизонтальной плоскости.

Единый каркасный уровень, на котором непосредственно крепятся стекломагниевые листы, достигается основными несущими и основными поперечными профилями. При устройстве такого каркаса обязательно применение направляющих профилей, закрепленных с помощью дюбелей по периметру помещения на высоте предполагаемого потолка. Проведенная по линиям всех направляющих профилей поверхность должна образовывать плоскость.

Основные профили стыкуются с направляющим профилем перпендикулярно, при этом, их края должны входить в полку направляющего профиля. В виде исключения допустимо выполнение одноуровнего каркаса без применения второстепенных (поперечных) профилей. Следует добавить, что основные несущие профили в таком случае крепятся к базовому потолку исключительно при помощи прямых П-образных подвесов.

Конструирование подвесного потолка с двухуровневым металлическим каркасом оптимально в помещениях, где на потолок оказывается значительная весовая нагрузка, т.к. такой каркас обладает более высокими прочностными характеристиками. В такой системе потолка основные несущие профили (продольные) крепятся при помощи Т-образных регулируемых подвесов и спиц к несущему основанию. Перпендикулярно продольным профилям на втором уровне располагаются основные второстепенные профили (поперечные). Второстепенные и несущие профили соединяют в единый каркас, используя двухуровневые соединительные крепежи. Каркас выравнивается до необходимого уровня, и готов к монтажу стекломагниевых листов.

Производя монтаж подвесного потолка с двухуровневым каркасом можно применять направляющие профили, хотя по технологии это и не требуется. Применение направляющих облегчает выравнивание каркаса по уровню и, следовательно, выполнение из профилей ровной плоскости.

Потолок с каркасом из деревянных брусков практически не используется в современной практике и занимает отдельную нишу в строительных проектах, разработанных с учетом особенностей именно этого строительного материала. Следует еще раз отметить, что данный вид каркаса сильно подвержен влиянию неблагоприятных факторов окружающей среды.

Потолок с каркасом из деревянных брусков размером 30×60 мм может быть как одноуровневым, так и многоуровневым.

В случае одноуровнего устройства каркаса несущие (продольные) деревянные бруски крепятся при помощи прямых П-образных подвесов к базовому потолку, второстепенные (поперечные) бруски не применяются, панели монтируются к несущим брускам.

В случае многоуровнего устройства каркаса несущие (продольные) деревянные бруски крепятся к базовому потолку, а на втором уровне, перпендикулярно им, располагаются второстепенные (поперечные) бруски. Несущие и второстепенные профили соединяются под прямым углом в единый каркас с использованием длинных шурупов по дереву. Крайне важно, чтобы шурупы не были слишком длинные и их острые концы не выступали из брусков со сторон.

Преимущества потолков изготовленных из СМЛ:

– лёгкость и высокая скорость монтажа конструкции, за счёт лёгкого веса (вес 1 м² СМЛ толщиной 6мм составляет 5 кг);

– общая экономия бюджета на строительство благодаря облегчению конструкции здания;

– высокая производительность труда вследствие отсутствия предварительной обработки материала;

– высокие показатели звукоизоляции, достигаемые с помощью уникальных свойств стекломагнезитовых листов (коэффициент звукоизоляции составляет 42 дБ);

– высокие теплотехнические характеристики на основании теплопроводности стекломагниевых листов с коэффициентом 0,14 Вт/м²;

– высокая степень пожаростойкости в силу негорючести материала (класс НГ);

– гарантия от затапливания в связи с влагостойкостью стекломагниевых листов;

– отсутствие грибков и плесени при длительном использовании, даже без предварительной обработки по причине антисептических свойств магнелита;

– сокращение в ходе отделочных работ «грязных» процессов в виду сухой обработки всех элементов конструкции потолка;

– экологическая чистота и благоприятный для человека микроклимат в помещении в результате экологичности используемых листов СМЛ.

Потолки с использованием стекломагниевых листов решают проблему декоративной отделки, маскируют недостатки базового потолка, скрывают различные коммуникации, обеспечивают звуко- и теплоизоляцию помещения, препятствуют попаданию влаги, а также повышают предел огнестойкости несущих конструкций.

При строительстве объектов из пенобетона, в качестве несъемной опалубки возможно применение строительного камня, кирпича и стекломагниевого листа (СМЛ). Материал прикрепляется к каркасу из легких металлоконструкций, в случае выбора стекломагниевого листа в качестве несъемной опалубки, готовая многослойная стена получается сразу же после заливки пенобетона. При такой конструкции стена не требует последующей отделки.

Тенденция последнего времени в каркасном домостроении заключается в постепенной замене обычных полистирольных и минераловатных утеплителей пенобетоном. Такой подход обеспечивает капитальность строений, их пожаростойкость и долговечность. Сверхлёгкий пенобетон обладает паронепроницаемостью, не уступая характеристикой дереву. Этот факт делает возможным применение «дышащей» несъемной опалубки из стекломагниевых листов, поскольку обязательное применение приточно-вытяжной вентиляции не требуется, а, следовательно, эксплуатация сооружения существенно удешевляется.

На всем периметре фундамента создаётся каркас из направляющих с диагональными распорками. Делается это для сохранения целостности конструкции при заливке бетона и соблюдения всех диагоналей фасадной и внутренней частей дома. Распорки и направляющие изготавливаются из дерева (брус) и оцинкованного металла (профиль ППН 28×27, профиль ПП 60×27 толщина 0,4-0,5 мм). Каркас часто производится из термопрофиля, благодаря чему является достаточно теплым, на основании предусмотренной в нем нейтрализации «мостика холода» в силу своих конструктивных особенностей.

Несущие способности второго и последующих этажей формируются созданием специальной колонны из металлических армирующих прутьев

диаметром 8-12 мм, соединенных между собой. В последствии вокруг армирования делается опалубка и заливается тяжёлыми видами бетонов. Обшивка каркаса происходит панелями СМЛ по 10 мм изнутри и снаружи.

Стекломагниевые листы крепятся к направляющим по всему периметру несъёмной опалубки, с вертикальным шагом между креплениями 200 мм. Для крипежа листов используются самонарезающиеся саморезы (3,9×25). Следующим этапом после создания каркаса несъёмной опалубки происходит его заливка лёгкими видами бетона, например полистиролбетоном, фибробетоном либо пенобетоном.

Ширина опалубки для каждого проекта своя и зависит от требований СНИПа по теплотехническим характеристикам в том или ином регионе, технологии строительства и дополнительного утепления. Варьируется от 200 мм до 400 мм. После заливки опалубки необходимо выждать определённый отрезок времени, что бы бетон затвердел и дал необходимый уровень усадки, предав конструкции нужную форму.

Технологические преимущества:

– внешние поверхности несъемной опалубки из СМЛ полностью готовы к отделке;

– использование шпаклевки, штукатурки и грунтовки значительно сокращено;

– трудоемкость работ по армированию каркаса стены минимальны;

– пожаростойкость;

– легкость в установке, сокращение сроков строительства.

6.6. Фасад с использованием стекломагниевых листов

Вентилируемый фасад представляет собой систему, состоящую из оцинкованного (алюминиевого или нержавеющего) каркаса, который монтируется непосредственно на базовый фасад здания с наружной стороны, а затем облицовывается декоративными панелями. Вентилируемые фасады получили широкое распространение при строительстве жилых комплексов, торговых и производственных сооружений, позволяя воплотить в жизнь оригинальные архитектурные решения, защитить несущие стены от неблагоприятных внешних воздействий и придать строению законченный вид.

Вентилируемый фасад с использованием стекломагниевых листов СМЛ выполняет не только эстетическую функцию, но и обеспечивает повышенную безопасность конструкции, её огнеупорность, дополнительную звукоизоляцию и защиту от деформации.

Система навесных вентилируемых фасадов предназначена для наружной декоративной отделки, а также повышения теплозащиты наружных ограждающих конструкций общественных и жилых зданий, выполненных из кирпича, бруса, бетона, в соответствии с требованиями СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника».

Применение конструкции возможно как в новом строительстве, так и при реконструкции существующих зданий. Несомненным достоинством использования в строительстве СМЛ является легкий монтаж, который ведется непосредственно по наружной стене и не требует обязательного ремонта существующих стен сооружения при реконструкции.

Основные преимущества вентилируемой фасадной системы со стекломагниевым листом:

– долговечность;

– пожаробезопасность;

– высокие тепло- и звукоизоляционные характеристики системы;

– небольшой вес системы;

– возможность использования различных облицовочных материалов (натуральный камень, кирпич, керамогранит, композит);

– быстрый монтаж фасадной системы в любое время года;

– возможность распиловки и подгонки панелей непосредственно на строй площадке.

Функциональные особенности навесных вентилируемых фасадов с применением СМЛ:

1. *Защита от неблагоприятных погодных условий***.**

Стекломагниевые листы в составе вентилируемого фасада предохраняют несущие стены, металлобрешетку и утеплитель от влияния погодных факторов, перепадов влажности и температур.

2. *Утепление ограждающих конструкций снаружи***.**

В процессе совершенствования строительных технологий специалисты пришли к выводу о неэффективности утепления зданий изнутри. Такой способ значительно уменьшает полезную площадь и смещает «точку росы» внутрь помещения, что отрицательно сказывается на микроклимате и долговечности конструкции. Поэтому сейчас всё чаще используют системы внешнего утепления зданий. Вариант такого утепления наиболее удачен, в силу того, что все несущие ограждающие конструкции находятся в зоне действия положительных температур, исключая образование «мостиков холода». При утеплении зданий снаружи площади помещений сохраняются. Благодаря повышению теплозащиты наружных стен и создания теплового комфорта внутри помещения, снижаются затраты на отопление и экономится тепловая энергия.

3. *Наличие вентилируемого зазора***.**

Вентилируемое пространство создает эффект «камина», не позволяя конденсату скапливаться внутри конструкции навесного фасада. Срок эксплуатации ограждающих конструкций и утеплителя в таком случае значительно увеличивается.

4. *Защита от коррозии бетона и арматуры***.**

Обеспечить защиту бетона от влаги, и тем самым уменьшить его электропроводность возможно с применением навесных вентилируемых фасадов. На сегодняшний день такой способ является наиболее эффективным методом, т.к. исключаются условия для протекания катодной и анодной реакции стали, из которой изготовлена арматура. Вентилируемый фасад способствует беспрепятственному отводу водяного пара, проникающего в результате диффузии и высыхания бетона.

5. *Выравнивание нарушенной геометрии здания***.**

Расстояние от основания до вертикального профиля, благодаря чему можно компенсировать отклонения основания от плоскости, позволяет изменить конструкция узла соединения промежуточного профиля с анкерными уголками, кроме того, расстояние от профиля регулируется за счет применения различных анкерных уголков.

6. *Шумовая защита здания***.**

Применение навесных вентилируемых фасадов значительно улучшает шумовую защиту наружных стен – от 5 до 14 дБ.

Вентилируемый фасад с использованием стекломагниевых листов СМЛ выполняет эстетическую функцию, обеспечивая, при этом, дополнитель-

ную звукоизоляцию, повышенную безопасность конструкции, её огнеупорность, а также защиту от деформации.

Установлена возможность использования стекломагниевые листы как основы для мягкой кровли.

6.7. Использование стекломагниевых листов при строительстве печей и каминов

Камин – неизменный символ домашнего тепла и уюта. Современные камины выполняют не только отопительную функцию, но и являются оригинальными элементами внутреннего убранства. Выбор материала для строительства и облицовки камина диктуется различными факторами: эксплуатационными и функциональными характеристиками, а также дизайнерскими и эстетическими требованиями к самой печи или камину.

Стойко выдерживать перепады температур и открытый огонь – задачи, с которыми успешно справляются стекломагниевые листы.

Традиционно, домашние камины и печи облицовывались керамической плиткой, гипсокартоном или штукатуркой, правда, называть эти материалам полностью «негорючими» невозможно. Стекломагнезитовые листы превосходят все известные современные материалы, применяемые при строительстве и облицовке печей и каминов, более устойчивы к огню и выдерживают нагрев до 1600°С.

Сегодня ни один строительный материал не способен соревноваться со стекломагниевыми листами в плане пожарной безопасности. Можно с уверенностью сказать, что СМЛ – самый удачный и надежный материал для стен, подвергающихся постоянному нагреву.

6.8. Другие области применения

Популярность стекломагниевых листов распространилась во все сферы строительства. Этот материал востребован при отделке стен и перегородок, потолков и фасадов, применяется в строительстве частных бассейнов и бань, обустройстве каминов и печей. Превосходные качества материала, а именно негорючесть и влагостойкость, позволяют применять стекломагниевые листы практически повсеместно.

Помимо известных мест применения, стекломагнезитовые листы успешно используется в самых неожиданных сферах:

1. *Возведение ограждающих конструкций помещений и мансард.*

Обладая поразительными характеристиками и высокой прочностью, стекломагнезитовые листы превосходно справляются со строительством ограждающих конструкций любого типа. Для внешней отделки помещений, при строительстве мансард и ограждений, рекомендуется использовать стекломагниевые листы класса «Премиум». Они более устойчивы к различным погодным условиям и воздействию бактерий и выдерживают несколько циклов попеременного замораживания и оттаивания, не теряя свои свойства.

2. *Монтаж коммуникационных шахт.*

При монтаже шахт, важным критерием отбора материала является его влагостойкость и пожарная безопасность. Листы СМЛ прекрасно удовлетворяют всем требованиям, а их небольшой вес позволяет задействовать

при монтаже меньшее количество человек, существенно сэкономив силы и время.

3. *Сооружение систем вентиляции и центрального кондиционирования.*

Листы СМЛ экологически безопасны, не содержат токсичных и вредных веществ, устойчивы к воздействию влаги и отлично подходят для создания вентиляционных шахт в ресторанах и гостиницах, институтах и школах, детских садах, домах отдыха и санаториях.

4. *Изготовление рекламных щитов.*

Монтаж рекламных конструкций требует времени, сил и большой сноровки. С появлением стекломагниевых листов, этот процесс стал заметно проще: небольшой вес листа помогает производить монтаж за считанные минуты, а морозостойкость материала позволяет не беспокоиться о качестве рекламных щитов в зимний период.

5. *Строительство декоративных перегородок, колонн и арок.*

В структуру стекломагниевого листа входит армированная стеклотканная сетка, что делает материал гибким и пластичным, предоставляя уникальные возможности для творческого подхода к отделке комнат. Лист может гнуться радиусом до трёх метров, исключая вероятность перелома при монтаже и переносе.

7. Некондиционное и техногенное магнийсодержащее сырье.

Для определения области рационального использования природного некондиционного и техногенного магнийсодержащего сырья, оно раскласссифицировано по химическому составу в зависимости от содержания оксида магния на четыре класса магнийсодержащего сырья:

– высокомагнезиальным является сырье (отход) с содержанием оксида магния не менее 65% (I класс). К этому виду относятся некондиционное и техногенное сырье, основу которого составляет оксид магния или магнийсодержащий минерал, из которого MgO может быть получен. Это высокомагнезиальные отходы в виде магнезитовых, бруситовых и периклазовых порошков, тонкодисперсных фракций, отсевов с содержанием более 5% примесей. К этому классу высокомагнезиального сырья относятся и продукты переработки природных хлоридных рассолов и минерализованных вод.

– магнезиальным является сырье (отход) с содержанием оксида магния от 65 до 45% (класс II). К этому виду относятся продукты обогащения и переработки доломитов.

– среднемагнезиальным является минеральное сырье (отходы), содержащее 45-15% MgO (класс III). Этот вид сырья представляет собой продукты обогащения горных пород, содержащие силикаты магния и кальция.

– низкомагнезиальными являются отходы, содержание оксида магния в которых не превышает 15% (класс IV). К этому виду относятся магнийсодержащие золошлаковые отходы твердых топлив, вторичные продукты переработки магнийсодержащих минеральных солей.

В обзоре приведены результаты исследований различных видов природного и техногенного магнийсодержащего сырья, относящегося к I, III и IV классам. С использованием методики проведения лабораторных испытаний силикатных материалов. Изучение физико-химических процессов образования оксохлоридных фаз в нормальных условиях, структурообразования магнезиального камня проведено с применением химического, рационального химического, рентгенофазового, комплексного термическо-

го методов анализа, электронной и поляризационной микроскопии, инфракрасного спектроскопического анализа, лазерной гранулометрии.

В качестве примера приведены результаты исследования магнезиальных вяжущих, полученных из отходов обогащения брусита, высокодисперсных порошков – пылей, магнезиального шлама от переработки природного рассола хлоридного кальциевого типа; из сырья с содержанием 15-45% MgO.

Кроме того, приведены результаты исследований механохимической активации исходных материалов.

Отходы обогащения брусита (табл. 10) представляют собой отсев, получаемый при рудоподготовке, и тонкодисперсные фракции (ТДФ), удаляемые из брусита при мокром обогащении.

Таблица 10

Химический состав отходов брусита

Отход брусита	Содержание оксидов, мас.%					
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	п.п.п.
Отсев	1,90	2,00	1,06	63,91	0,19	30,94
ТДФ*	5,10	0,61	3,14	61,36	0,31	29,48

Примечание: ТДФ – тонкодисперсные фракции брусита;

Рентгенофазовый анализ отходов обогащения позволяет идентифицировать брусит с примесью доломита, кварца, серпентина, магнезита и гидромагнезита.

Отходы брусита в исходном состоянии, взятые из отвала, содержат гидратационно инертные соединения и не проявляют вяжущих свойств.

Для перевода их в химически активное состояние необходима термическая обработка.

В условиях мягкого обжига 450-500°С отходов брусита возможно получение активного MgO. Незначительная кристалличность оксида магния 28-48%, анизотропность кристаллов Ng = 1,600-1,662, низкая истинная плотность 3,00-3,10 г/см^3 и высокая удельная поверхность продуктов обжига свидетельствуют о том, что структура MgO несовершенна и имеет дефекты. Это является причиной его высокой гидратационной активности.

Рентгенофазовый анализ гидратированных образцов отсева, обожженного при 450°С, свидетельствует об интенсивном взаимодействии оксида магния с затворителем, до образования пентагидроксохлорида магния – $5MgO•MgCl_2•4H_2O$, кристаллизация которого в течение 7-28 суток увеличивается.

Магнезиальные вяжущие вещества на основе отходов брусита, обожженных при 450-500°С, имеют короткие сроки схватывания, высокую прочность при сжатии 54-60 МПа, характеризуются равномерностью изменения объема во времени.

Бруситовые отходы и аналогичные им высокомагнезиальные отходы могут использоваться как ценное сырье для производства вяжущих материалов. Магнезиальные вяжущие вещества со стабильными свойствами на основе отходов брусита можно получить, используя кратковременный обжиг 2 часа при 450-500ОС, помол обожженного продукта и введение активатора твердения, например, $MgCl_2$, при затворении.

Высокодисперсные порошки – пыли при производстве периклазовых огнеупоров образуются двух видов: пыль-отход при обжиге брусита во вращающихся печах (I) и пыль-отход при плавке его в электродуговых печах (II).

Химический анализ порошков пылей (табл. 11) показывает, что их основным компонентом является оксид магния.

Таблица 11

Химический состав пылей

Вид пыли	Содержание оксидов, мас.%					
	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Fe_2O_3	п.п.п.
Обжиг брусита (I)	6,49	1,66	4,09	78,42	0,74	8,60
Плавка брусита (II)	9,50	1,90	3,02	75,41	0,51	9,60

Результаты физико-механических испытаний показывают, что пыли в исходном состоянии проявляют вяжущие свойства и способны образовывать искусственный камень, но технические свойства его нестабильны.

Процесс гидратации и твердения протекает неравномерно. Искусственный камень характеризуется неравномерностью изменения объема. На образцах суточного твердения появляются поверхностные трещины. Механическая прочность образцов со временем понижается.

Повышение гидратационной активности и стабилизация свойств бруситовых пылей достигается посредством помола.

При помоле в шаровой мельнице материал диспергируется, усредняется минеральный состав пылей. Сроки схватывания сокращаются. Образцы обладают равномерностью изменения объема. Механическая прочность образцов после 28-суточного твердения на воздухе увеличивается и составляет 44-46 МПа (пыль (I)), 35-37 МПа (пыль (II)).

Для повышения гидратационной активности и стабилизации свойств пылей, образующихся при плавке брусита, недостаточно помола в шаровой мельнице. Получение вяжущего материала марки 400 возможно посредством механической активации в планетарно-центробежной мельнице (ПЦМ) или в подобных энергонапряженных аппаратах.

Механическую активацию проводили в планетарно-центробежной мельнице (ПЦМ) типа ЭИ-2х150 в стальных барабанах со стальными шарами диаметром 5мм в воздушной среде центробежное ускорение – 40g.

Соотношение между массами навески и шаров 1:60, время активации 5; 10; 15 мин. При механической активации бруситовых пылей в ПЦМ наряду с измельчением и усреднением минерального состава, осуществляется аморфизация периклаза – основной кристаллической фазы, форстерита, магнезиоферрита, что повышает гидратационную активность и способствует стабилизации технологических свойств.

Гидратированные образцы обладают равномерностью изменения объема во времени. Механическая прочность образцов из активированной пыли после 28-суточного твердения составляет 54 МПа (пыль (I)), 44 МПа (пыль (II)).

Исследованы состав и свойства магнезиальных шламов от переработки природных рассолов хлоридного кальциевого типа, распространенных на территории Восточной Сибири.

Магнезиальный шлам от переработки рассола трубки «Удачная», Якутия представляет собой белый порошок, агрегированный в зерна неправильной формы размером 3-8 мм, которые легко поддаются измельчению.

Химический состав шлама следующий, мас.%: MgO – 54,40; CaO – 8,11; Na_2O – 1,21; CO_2 – 8,17; Cl – 1,32; п.п.п. -36,20.

Он представляет собой смесь, содержащую $Mg(OH)_2$ – 78,88; $CaCO_3$ – 14,47; NaCl – 1,14; $CaCl_2$ – 5,50.

Вследствие высокого содержания $Mg(OH)_2$ шлам может быть использован для получения магнезиальных вяжущих веществ.

Шлам содержит гидравлически инертные компоненты, основным из которых является гидроксид магния. В исходном состоянии он не обладает вяжущими свойствами, однако они могут проявиться после термической обработки с выделением гидравлически активного оксида магния.

Пробы шлама обжигались при 350-600°С с изотермической выдержкой 2 часа.

После обжига при низких температурах 350-450°С шлам содержит 54,42- 64,28% MgO, удельная поверхность его резко увеличивается.

С повышением температуры обжига содержание MgO возрастает, но удельная поверхность уменьшается.

Следует отметить высокую дисперсность и низкую кристалличность образующегося оксида магния, что свидетельствует об его несовершенной структуре.

Шлам после обжига обладает вяжущими свойствами и способен образовывать искусственный камень (табл. 12).

Таблица 12

Физико-механические свойства магнезиального вяжущего на основе шлама от переработки рассола трубки «Удачная» (Якутия)

Т, °С	НГ, %	Срок схватывания, час-мин		$R_{сж}$, МПа в возрасте		$K_{ст}$
		Начало	Конец	7 сут	28 сут	
350	62			18	21	
	60	0-10	0-25	19	23	0,51
400	65			20	26	
	60	0-15	0-28	25	32	0,54
450	65			27	35	
	60	0-20	0-35	30	38	0,77
500	65			34	58	
	60	0-22	0-38	39	61	0,82
600	60			27	35	
	65	0-25	0-40	30	38	0,70

*НГ – нормальная густота; ** $K_{ст}$ – коэффициент водостойкости, определен как $K_{ст}=R_{сж}$(вода)/$R_{сж}$(воздух).

У образцов шлама, обожженного при 350-400°С, начало схватывания наступает быстро, через 10-14 мин.

В условиях умеренного обжига шлама 450-500°С возможно получение гидратационно активного MgO.

Низкая кристалличность MgO 14-18%, пониженная истинная и насыпная плотность, дефектная структура MgO, являются причинами проявления его высокой гидратационной активности.

Магнезиальное вяжущее на основе шлама, обожженного при 450-500°С, имеет короткие сроки схватывания, максимальную прочность при сжатии 37-55 МПа и обладает равномерностью изменения объема.

Исследованный магнезиальный шлам содержит примеси хлоридов кальция и натрия и карбонат кальция. С целью изучения влияния указанных примесей на формирование водостойких структур твердения магнезиального вяжущего материала из шлама, было проведено исследование системы MgO-$MgCl_2$-H_2O-примеси.

Исследования показали, что для получения из шлама магнезиального вяжущего с повышенной водостойкостью целесообразно максимальное удаление примесей хлоридов натрия и кальция.

Магнезиальный шлам от переработки природных рассолов, после удаления хлоридов натрия и кальция, подвергнутый обжигу при 450-500°С и соответствующему помолу, является магнезиальным вяжущим марки 600.

Присутствие карбоната кальция до 9% обеспечивает получение качественного камня повышенной водостойкости.

Исследованы свойства отходов диопсидовых, серпентинитовых, дунитовых пород и композиционных магнезиальных вяжущих, содержащих такие отходы.

Значительные количества техногенного и природного некондиционного среднемагнезиального сырья представляют собой продукты переработки ультраосновных горных пород.

Диопсидовые, дунитовые и серпентинитовые отходы на 70-90% состоят из основных породообразующих минералов – диопсида, оливина, серпентина и поэтому являются практически мономинеральными. Отличительной особенностью является их высокая стойкость к действию кислот и щелочей.

На горно-обогатительном комбинате «Алдан-слюда», Якутия при добыче и обогащении флогопитовых руд осводождается вмещающая основная диопсидовая порода. Часть ее – 33% остается в забое, а основная масса пополняет отвалы. Химический состав проб диопсида, отобранных из отвалов ГОКа «Алдан-слюда» представлен в табл. 13.

Таблица 13

Химический состав диопсида

№ проб	Содержание оксидов, мас.%						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	п.п.п.
1	51,93	3,94	3,26	25,96	14,71	0,05	0,15
2	50,62	4,94	3,46	23,92	15,90	0,42	0,74
3	49,69	3,94	4,53	24,26	15,26	0,50	0,34
4	47,69	6,74	3,89	23,87	14,89	0,19	0,53
5	47,00	9,00	4,36	25,64	13,00	0,28	0,72

По классификации магнийсодержащих отходов диопсидовые отходы по составу близки к магнезиальному сырью и отнесены к III классу.

Диопсид подвергался помолу в шаровой мельнице и механической активации в планетарной центробежной мельнице (ПЦМ). Помол диопсида в шаровой мельнице осуществлялся до дисперсности, отвечающей требованиям ГОСТ 10178-87 для вяжущих веществ.

Истинная плотность порошка диопсида равна 3280 кг/м^3, насыпная плотность 1870 кг/м^3.

При помоле до удельной поверхности 0,1 м^2/г диопсид характеризуется слабыми вяжущими свойствами.

Диопсидовое тесто схватывается и твердеет не ранее 5 часов. Предел прочности при сжатии не превышает 0,5 МПа.

При помоле диопсида до Sуд=2,6 м^2/г гидратационная активность повышается.

Наблюдается уменьшение сроков схватывания диопсидового теста: начало – 2 час 40 мин., конец – 3 час 20 мин.

Предел прочности при сжатии увеличивается до 2,5-3,0 МПа.

На рентгенограмме активированного в ПЦМ течение 5 минут порошка наблюдается уширение и уменьшение интенсивности большинства линий, характерных для диопсида.

Кристалличность диопсида, рассчитанная по максимальному рефлексу с d=0,299 нм, после активации понижается до 28%.

Тонкий помол в шаровой мельнице и активация в ПЦМ способствуют повышению гидратационной активности диопсида, но использование его в качестве самостоятельного вяжущего нецелесообразно. Более эффективно его использование в виде компонента в составе композиционного магнезиального вяжущего.

Серпентинитовые отходы, образующиеся при добыче и обогащении хризотил-асбеста на ГОКе «Тыва-асбест», представлены серпентином с примесью брусита, кальцита, хризотила. Химический состав проб серпентинита, отобранных из отвалов ГОКа «Тыва-асбест», представлен в табл. 14.

Таблица 14

Химический состав серпентинитовых отходов

№ проб	Содержание оксидов, мас.%						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	п.п.п.
1	39,20	2,90	7,40	36,30	0,80	-	13,20
2	38,20	1,96	6,72	38,00	1,20	-	13,92
3	38,20	1,96	6,70	38,20	0,80	-	13,94

В исходном состоянии серпентинитовые отходы не проявляют вяжущих свойств, по дисперсности не отвечают требованиям ГОСТ 10178-87.

После помола в шаровой мельнице до удельной поверхности не менее 3,0 м^2/г серпентинитовые отходы обладают гидратационной активностью, способны схватываться и твердеть. Прочность затвердевшего материала достигает 3,0-5,0 МПа.

Механическая активация серпентинита в ПЦМ вызывает структурные нарушения в октаэдрическом слое кристаллической решетки серпентина,

происходит ослабление и разрыв связи Mg-OH, нарушение связи Mg-O-Si, часть ионов OH– удаляется.

Активированный серпентинит обладает повышенной гидратационной активностью и может использоваться в качестве активного компонента в составе композиционного магнезиального вяжущего материала.

Перспективным сырьем могут быть дунитовые отходы, образующиеся при производстве огнеупоров, а также природные дуниты, не соответствующие требованиям стандарта для огнеупорного сырья.

В настоящее время в отвалах горно-обогатительных, металлургических комбинатов, огнеупорных заводов накоплены десятки млн. тонн магнезиальных силикатов в виде перидотитов, дунитов.

Химический состав дунитовых отходов, отобранных из отвалов Нижне-Тагильского металлургического комбината, представлен в табл. 15.

Таблица 15

Химический состав дунитовых отходов

Наименование проб	Содержание оксидов, мас.%					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	п.п.п.
Сырой дунит	34,70	0,71	7,81	42,63	0,28	13,19
Термообработанный дунит	36,89	1,85	8,70	48,49	0,42	0,28
Дунитовая пыль	35,01	1,60	8,63	50,50	0,35	5,20

Дунитовые отходы, образующиеся при переработке дунитовой породы, представлены оливином, серпентином и бруситом, либо форстеритом с примесью серпентина и брусита, либо форстеритом и клиноэнстатитом.

Дунитовые отходы в исходном состоянии не проявляют вяжущих свойств. После помола в шаровой мельнице до удельной поверхности не менее 3,0 $м^2/г$ дунитовые отходы проявляют гидратационную активность, способны схватываться и твердеть.

Прочность затвердевшего материала достигает 4,5-8,0 МПа.

Механическая активация в ПЦМ способствует значительной аморфизации оливина, серпентина, деструкции кристаллической решетки серпентина и брусита.

Активированные дунитовые отходы обладают повышенной гидратационной активностью и могут использоваться в качестве активного компонента в составе композиционного магнезиального вяжущего.

Исследованы свойства техногенного сырья с содержанием MgO не более 15%.

Согласно классификации, к низкомагнезиальному сырью относятся техногенные отходы в виде золы и шлака, образующиеся на ТЭС при сжигании каменных и бурых углей и содержащие не более 15 мас. % MgO.

Ежегодный выход указанных отходов в России составляет более 120 млн. тонн.

На ТЭС г. Новосибирска ежегодно их образуется более 500 тыс. тонн, в том числе 150 тыс. тонн золошлаковых отходов от сжигания бурых углей Канско-Ачинского бассейна.

Эти низкомагнезиальные отходы (золы и шлаки) полиминеральны и отличаются повышенным содержанием высокотемпературных форм оксида магния и кальция.

В исходном состоянии золы гидравлически активны, но присутствие пережога MgO и CaO при гидратации и твердении приводит к возникновению напряжений в структуре и снижению механической прочности зольного камня.

Для активации процесса гидратации зол и получения стабильных продуктов гидратации применен краткосрочный помол золы в шаровой мельнице (20 минут) и введение добавок – активаторов. В качестве добавок для активации CaO опробованы CaCl2 и портландцемент.

Для активации MgO вводились добавки $MgCl_2$ и смесь $MgCl_2 : CaCl_2 = 1 : 1$.

Хлориды вводились с водой затворения в виде 3%-ных растворов, цемент добавляли в золу, смесь тщательно перемешивали в шаровой мельнице.

Использование помола золы одновременно с введением добавок-активаторов ($MgCl_2$+ $CaCl_2$) позволяет перевести CaO и MgO в активную форму и устранить деструктивные процессы.

Зольный камень при нормальном твердении характеризуется прочностью 12,0- 15,0 МПа, при пропаривании 23,0-33,0 МПа, при автоклавировании 33,0-45,0 МПа.

Таким образом, результаты проведенных исследований показывают, что гидратационная активность MgO определяется степенью кристалличности (дефектностью) структуры, дисперсностью материала и морфологией MgO, образующегося из природного или техногенного сырья.

Формирование водостойких (прочных) структур возможно при использовании композиционных магнезиальных вяжущих и определяется активностью MgO, формированием водостойких продуктов гидратации, природой и активностью микронаполнителя.

Композиционные магнезиальные вяжущие материалы, содержащие 70-80 мас.% диопсида, обладая высокой механической прочностью и нормальными сроками схватывания, характеризуются высокой стойкостью к воде и агрессивным растворам хлоридов и сульфатов (табл. 16).

При использовании серпентинитовых отходов в составе композиционного вяжущего необходима их предварительная подготовка.

Серпентинитовые отходы необходимо доизмельчить в шаровой мельнице или подвергнуть механической активации в ПЦМ для повышения гидратационной активности серпентина.

Серпентинит проявляет вяжущие свойства, если порошок имеет высокую дисперсность = удельная поверхность не менее 3,0 $м^2/г$ с долей активных частиц 10-45 мкм 30-60%.

Использование тонкомолотого серпентинита совместно с MgO обеспечивает достижение высокой механической прочности камня, до 25-56 МПа (табл. 17).

При прямом воздействии воды, агрессивных растворов хлоридов и сульфатов коэффициент химической стойкости составляет соответственно: 0,96-1,03; 0,92-1,08; 0,85-1,0.

Тонкомолотый дунит является микронаполнителем и одновременно активным компонентом, участвующим в образовании прочной кристаллизационной структуры в системе оксохлоридного твердения.

Таблица 16.

Физико-механические свойства композиционных магнезиальных вяжущих материалов, содержащих диопсид

Состав, % мас. диопсид : MgO	$MgO / MgCl_2$	$H_2O / MgCl_2$	Среда твердения	Плотность, г/см^3	$R_{сж}$, МПа	$K_{ст}$
50 : 50	6,59	2,41	Воздух	2,06	42	–
			Вода	2,01	39	0,92
			3% $MgCl_2$	2,05	46	1,09
			3% $MgSO_4$	2,02	34	0,80
70 : 30	3,95	2,42	Воздух	2,14	52	–
			Вода	2,14	49	0,94
			3% $MgCl_2$	2,14	55	1,12
			3% $MgSO_4$	2,10	46	0,88
80 : 20	2,63	2,52	Воздух	2,10	38	–
			Вода	2,08	38	1,0
			3% $MgCl_2$	2,10	42	1,11
			3% $MgSO_4$	2,06	35	0,92
90 : 10	2,31	2,53	Воздух	2,12	34	–
			Вода	2,10	32	0,94
			3% $MgCl_2$	2,11	38	1,12
			3% $MgSO_4$	2,10	27	0,79
95 : 5	1,31	2,95	Воздух	2,20	25	–
			Вода	2,18	22	0,88
			3% $MgCl_2$	2,20	28	1,27
			3% $MgSO_4$	2,18	20	0,80
0 : 100	6,59	–	Воздух	1,87	40	–

При гидратации и твердении композиционного магнезиального вяжущего наряду с образованием гидроксохлоридов магния, имеет место стабилизация гидроксохлоридов магния на активной оливиновой (форстеритовой) подложке.

Композиционные магнезиальные вяжущие, содержащие 70-80 мас.% дунита, характеризуются механической прочностью 46-69 МПа, коэффициент водостойкости соответственно равен 0,9-0,95; 0,88-1,09 (табл. 18).

В результате исследований предложены составы композиционных магнезиальных вяжущих веществ с использованием промышленных отходов. Они включают оксид магния, полученный из бруситовых отходов или магнезиального шлама от переработки природных хлоридных рассолов, обожженных при 450-550°С, или на основе бруситовой пыли.

В качестве минеральных наполнителей используются измельченные отходы производства: диопсид, волластонит, дунит, серпентинит.

Установлено оптимальное соотношение минеральный наполнитель: MgO, равное 70:30; 80:20 при удельной поверхности наполнителя 2,5-4,0 м^2/г.

Композиционное вяжущее такого состава имеет высокую механическую прочность и водостойкость.

Таблица 17

Физико-механические свойства композиционных магнезиальных вяжущих материалов, содержащих серпентинит

Состав вяжущего, % мас. серпентинит : MgO	MgO / $MgCl_2$	Плотность, кг/м^3	Сроки схватывания, час-мин		Среда твердения	$R_{сж}$, МПа, в возрасте, суток		
			начало	конец		7	28	90
50 : 50	3,14	1000	0-38	1-45	Воздух	26	30	34
					Вода	26	25	25
					3% $MgCl_2$	26	27	27
					3% $MgSO_4$	26	24	22
60 : 40	3,20	1100	0-40	2-00	Воздух	29	32	35
					Вода	29	28	27
					3% $MgCl_2$	29	29	30
					3% $MgSO_4$	29	27	26
70 : 30	3,14	1190	0-45	2-25	Воздух	39	56	62
					Вода	39	40	40
					3% $MgCl_2$	42	43	45
					3% $MgSO_4$	39	38	37
70 : 30	2,43	1200	0-55	2-35	Воздух	33	35	40
					Вода	33	33	32
					3% $MgCl_2$	35	35	35
					3% $MgSO_4$	33	32	30

В результате проведенных исследований предложены технологические схемы получения композиционных магнезиальных вяжущих материалов. При использовании диопсидовых, серпентинитовых, дунитовых отходов необходимо их дробление, помол и рассев до прохождения через сито №008 не менее 85 мас.% материала.

Для производства композиционных магнезиальных вяжущих материалов может быть использована схема получения с термической активацией (при необходимости) или без нее.

Рекомендованы составы ксилолита, в котором в качестве магнезиального вяжущего использован магнезиальный шлам от переработки хлоридных рассолов, обожженный при 450-550°С; бруситовые пыли, измельченные до удельной поверхности 2,5-3,0 $м^2/г$, или магнезильнодиопсидовое вяжущее состава 70:30.

Органическим заполнителем являются опилки хвойных пород фракции менее 5 мм.

Предложенные составы ксилолита при использовании в качестве микронаполнителя диопсида обеспечивают повышенную водостойкость (коэффициент водостойкости 0,87-0,92) с достижением прочности при сжатии 26-35 МПа при плотности 1300-1460 $кг/м^3$.

Таблица 18

Физико-механические свойства композиционных магнезиальных вяжущих материалов, содержащих дунит

Состав вяжущего, % мас. дунит : MgO	MgO / $MgCl_2$	Плотность, $кг/м^3$	Сроки схватывания, час-мин		Среда твердения	$R_{сж}$, МПа, в возрасте, суток		
			начало	конец		7	28	90
Сырой дунит, 60 : 40	3,70	1140	1-00	1-25	Воздух	35	42	45
					Вода	35	35	32
					3% $MgCl_2$	35	36	35
					3% $MgSO_4$	35	29	28
70 : 30	3,83	1250	1-14	1-35	Воздух	46	60	62
					Вода	46	45	43
					3% $MgCl_2$	47	48	50
					3% $MgSO_4$	46	45	42
80 : 20	3,25	1350	1-25	2-00	Воздух	40	52	56
					Вода	40	37	37
					3% $MgCl_2$	41	42	41
					3% $MgSO_4$	40	38	34
Дунитовая пыль, 70 : 30	2,43	1200	0-50	1-10	Воздух	48	67	69
					Вода	48	45	45
					3% $MgCl_2$	48	50	51
					3% $MgSO_4$	48	46	42
80 : 20	2,25	1360	1-05	1-20	Воздух	42	55	58
					Вода	42	38	37
					3% $MgCl_2$	43	45	46
					3% $MgSO_4$	42	38	37

Предложены составы пеномагнезита, в котором в качестве вяжущего применена бруситовая пыль с удельной поверхностью 2,5 м^2/г. В качестве органического заполнителя использованы древесные опилки фракции 1-2 мм, полиуретан фракции 0,2-0,3 мм. Предложенные составы пеномагнезита при использовании дунитовой пыли с удельной поверхностью 3,0 м^2/г или золы с удельной поверхностью 1,5 м^2/г обеспечивают повышенную водостойкость с достижением прочности при сжатии 8-10 МПа, плотности 540-800 кг/м^3, коэффициента теплопроводности 0,09-0,13 Вт/м•град. Рекомендованы составы декоративных облицовочных плиток на основе магнезиального шлама, диопсида и стеклобоя; с повышением водостойкости (Кст. до 0,9), рекомендованные составы одновременно обеспечивают достижение прочности при сжатии 23-30 МПа, плотности 1620-1870 кг/м^3.

Предложены составы грунтозолобетонов с использованием низкомагнезиального отхода – золы от сжигания бурых углей с удельной поверхностью 1,5 м^2/г (30-70 мас.%). Составы грунтозольных композиций обеспечивают повышение морозостойкости и достижение прочности при сжатии 12-15 МПа. Предложенные грунтозолобетоны опробованы для укрепления спортивных площадок и дорожных покрытий.

На основе результатов проведенных исследований составлены рекомендации по использованию магнийсодержащих промышленных отходов в производстве композиционных магнезиальных вяжущих материалов.

Список литературы

1. *Соловьева Е.С.,Смирнов Б.П., Сегалова Е.Е., Ребиндер П.А.* Физико-химические особенности твердения магнезиального цемента.//ЖПХ, – 1968, –т.30,– №3. –С. 754-759.

2. *Вайвад А.Я.* Магнезиальные вяжущие вещества.– Рига: Наука, – 1971. – 315 с.

3. *Черных Т.Н., Крамар Л.Я., Трофимов Б.Я.* Свойства магнезиального вяжущего из бруситовой породы и их взаимосвязь с размерами кристаллов периклаза //Строит. материалы. –2006.–№1.–С.52-53.

4. *Хорошавин Л.Б., Кононов В.А.* Зарубежный рынок магнезиального сырья. Плавленый, спеченный и каустический периклазовые порошки из природного сырого магнезита и брусита //Огнеупоры и техническая керамика. – 1994.–№3. С. 24-31.

5. *Хорошавин Л.Б., Кононов В.А.* Зарубежный рынок магнезиального сырья // Огнеупоры и техническая керамика. –1995. –№4. С. 28-31.

6. *Крамар Л.Я.* О требованиях стандарта к магнезиальному вяжущему строительного назначения // Строит. материалы. –2006.–№1.–С.54-56.

7. *Зырянова В.Н.* Магнезиальные вяжущие вещества из отходов брусита / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов //Строительные материалы. -2006. - №4. – С.61-64.

8. *Зырянова В.Н.* Отходы производства огнеупоров – эффективное сырье для получения вяжущих веществ / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин//Огнеупоры и техническая керамика. -2008. №1, -С.41-45.

9. *Коцупало Н.П.* Магнезиальные вяжущие материалы из природных высокоминерализованных поликомпонентных рассолов/Н.П. Коцупало, А.Д. Рябцев, В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин//Химия и химическая технология. -2010, Т.11, №2, -С.65-72.

10. *Зырянова В.Н.* Магнезиальные вяжущие вещества из высокомагнезиальных отходов / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов //Известия Вузов. Строительство. -2005. -№10. –С.46-53.

11. *Зырянова В.Н.* Влияние примесей на формирование структур твердения и свойства магнезиального вяжущего/ В.Н. Зырянова, М.А. Савинкина, А.Т. Логвиненко, М.И. Татаринцева//Известия СО РАН, серия химических наук, вып.3, 1992. –С.116-119.

12. *Савинкина М.А.* Прогнозирование направления использования зол твердых топлив в строительстве / М.А. Савинкина, А.Т. Логвиненко, В.Н. Зырянова, Н.З. Ляхов//Химия твердого топлива. -1990. -№5. –С.107-110.

13. *Кучерова Э.А.* Композиционные материалы из техногенного и природного некондиционного сырья/Э.А. Кучерова, В.Н. Зырянова, Е.В. Лыткина//Прогрессивные материалы и технологии в современном строительстве. Международный сборник трудов. - Новосибирск: НГАУ-РАЕН. – 2007. – С.99-101.

14. *Зырянова В.Н.* Магнезиальные вяжущие вещества из отходов обогащения брусита / В.Н. Зырянова, Г.И. Бердов, В.И. Верещагин/ Экология и ресурсосберегающие технологии в строительном материаловедении: Международный сборник научных трудов. – Новосибирск. -2005.-С.85-87.

15. *Sorel S.* Improved composition to be used as a Cement and as a Plastic Material for Molding Various Articles. //United States Patent Office. Patent 53/092, 6 March, 1866. Of Paris, France.

16. *De Wolff P.M., Walter-Levy M.L.* Hydratations prozesse und Erhartungs eigenschaften in Systemen MgO-MgCl2.//Zement-Kalk-Gips.– 1953, -II. №4. –P. 125-137.

17. *Kasai J., Ichiba M., Nakanara M.* Mechanism of the Hydration of Magnesia Cement. //J. of Chem. Soc. of Japan, 1956. –Vol. 63, № 7. – P. 1182 -1184.

18. EUROPEANSTANDARD EN 14016-1:2004 (E) Binders for magnesite screeds – Caustic magnesia and magnesium chloride – Part 1: Definitions, regurements.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ВОСПРОИЗВОДСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

Иванков С.И., Петкевич Д.Г. Мировая практика малоотходной технологии обогащения титан-циркониевых россыпей 2

1. Общие проблемы малоотходной технологии обогащения титан-циркониевых россыпей 2

1.1. Первичное обогащение 3

1.2. Доводка черновых коллективных концентратов 6

2. Разработка рациональных технологических схем обогащения в опытно-промышленных масштабах и на действующих фабриках 8

2.1. Титан-циркониевые россыпи России 8

2.2. Титан-циркониевые россыпи стран СНГ 15

2.3. Титан-циркониевые россыпи стран дальнего зарубежья 24

Выводы 34

Список литературы 35

Иванков С.И., Петкевич Д.Г. Оптимизация флотационного обогащения медной сульфидной руды, содержащей благородные металлы 37

Иванков С.И., Иванова В.В., Петкевич Д.Г. Магнезиальные вяжущие как современный, экологически безопасный строительный материал 49

Введение 49

1. Сырье для магнезиальных вяжущих 52

2. Свойства магнезиальных вяжущих 53

3. Магнезиальный цемент и его свойства 56

4. Производство магнезиальных вяжущих 57

4.1. Затворение магнезиальных вяжущих 62

4.2. Гидратация и твердение магнезиальных вяжущих 62

4.3. Физико-химические процессы при твердении магнезиального цемента 65

5. Области применения магнезиальных вяжущих 72

5.1. Ксилолит, фибролит и арболит 73

5.2. Растворимое стекло и кислотоупорный цемент 76

5.3. Магнезиальный цемент 77

5.4. Магнезиальный бетон 78

5.5. Магнезиальные полы 79

5.6. Устройство магнезиальных полов 81

5.7. Область применения магнезиальных полов..... 83
6. Стекломагниевые листы 83
6.1. Технические характеристики стекломагниевых листов 83
6.2. Производство стекломагниевых листов..... 88
6.3. Описание конкретной линии по производству стекломагниевого листа «СМЛ- 01» 89
6.4. Области применения стекломагниевых листов..... 92
6.5. Технология монтажа с использованием стекломагниевых листов..... 97
6.6. Фасад с использованием стекломагниевых листов 101
6.7. Использование стекломагниевых листов при строительстве печей и каминов..... 103
6.8. Другие области применения 103
7. Некондиционное и техногенное магнийсодержащее сырье..... 104
Список литературы..... 115

Ответственный за выпуск *И.И. Потапов*

ИД № 04689 от 28.04.01	Подписано в печать: 27.01.2014 г.	Гарн. литературная
Бумага "Xerox"	Формат бумаги 60x84 1/16	Печать цифровая
Усл. печ. л. 7,38	Уч.-изд. л. 8,45	Тираж 31 экз.

Адрес редакции: 125190, Россия, г. Москва, ул. Усиевича, д. 20
Тел. (499) 152-5500