

Код МРНТИ 52.45.03

С.Е. Пуненков<sup>1</sup>Ю.С. Козлов<sup>2</sup><sup>1</sup>Публичное акционерное общество «Уральский асбестовый горно-обогатительный комбинат» (г. Асбест, Россия),<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия)

## ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ В ХРИЗОТИЛ-АСБЕСТОВОЙ ОТРАСЛИ

**Аннотация.** В статье дается анализ состояния и перспектив развития хризотил-асбестовой отрасли в России, Казахстане, Канаде, Бразилии и других странах, диверсификации этих производств, применения комплексной переработки при добыче и обогащении хризотил-асбестовых руд. Описаны процессы серпентинизации и асбестообразования на месторождениях. Даны характеристики геолого-промышленных типов месторождений хризотил-асбеста, показаны достоинства месторождений хризотил-асбеста Баженовского подтипа. Рассматриваются методы и технологии добычи, обогащения, переработки хризотил-асбестовых руд, а также применение хризотил-асбеста в промышленности. Приведен обзор рынка производства и потребления хризотил-асбеста и фракционного щебня.

**Ключевые слова:** хризотил-асбест, ресурсосбережение, рыночная экономика, диверсификация производства, асбестовые горно-обогатительные предприятия, группы обогатимости, отходы, стабилизирующие добавки, фракционный щебень, порода, минерал.

### Хризотил-асбест және хризотил-асбест саласындағы ресурстарды үнемдеу

**Аңдатпа.** Мақалада Ресейдегі, Қазақстандағы, Канададағы, Бразилиядағы және басқа елдердегі хризотил-асбест өнеркәсібінің жағдайы мен даму перспективаларына, осы салаларды әртарапандыруға, хризотил-асбест өнеркәсібін өндіру мен байытуда кешенді өндеуді қолдану талдауы қарастырылған асбест кендері. Кен орындарында серпентинизация және асбест түзілу процестері сипатталған. Хризотил-асбест кен орындарының геологиялық және өнеркәсіптік түрлерінің сипаттамасы берілген, Баженов типті хризотил-асбест кен орындарының артықшылықтары көрсетілген. Хризотил-асбест кендерін алу, байыту, өндеу әдістері мен технологиялары, сонымен қатар хризотил-асбесттің өнеркәсіпте қолданылуы қарастырылған. Хризотилді асбест пен фракциялық қиыршық тасты өндіру және тұтыну нарығына шолу берілген.

**Түйінді сөздер:** хризотил-асбест, ресурс үнемдеу, нарықтық экономика, өндірісті әртарапандыру, асбест өндіру және өндеу кәсіпорындары, байыту топтары, қалдықтар, тұрақтандырушы қоспалар, фракциялық қиыршық тас, тау жыныстары, минерал.

### Chrysotile-asbestos industry – production from mining to enrichment

**Abstract.** The article provides an analysis of the state and prospects for the development of the chrysotile-asbestos industry in Russia, Kazakhstan, Canada, Brazil and other countries, the diversification of these industries, the use of complex processing in the extraction and enrichment of chrysotile-asbestos ores. The processes of serpentinization and asbestos formation in the deposits are described. The characteristics of geological and industrial types of chrysotile-asbestos deposits are given, the advantages of chrysotile-asbestos deposits of the Bazhenov subtype are shown. The methods and technologies of extraction, enrichment, processing of chrysotile-asbestos ores, as well as the use of chrysotile-asbestos in industry are considered. An overview of the market for the production and consumption of chrysotile asbestos and fractional crushed stone is given.

**Key words:** chrysotile-asbestos, resource saving, market economy, diversification of production, asbestos mining and processing enterprises, enrichment groups, waste, stabilizing additives, fractional crushed stone, rock, mineral.

### Технология разработки хризотил-асбестовых месторождений

На действующих хризотил-асбестовых карьерах России и Казахстана добыча хризотил-асбестовой руды ведется открытым способом. Система разработки – транспортная с внешним или внутренним отвалообразованием. Транспорт карьера – комбинированный (автомобильно-железнодорожный). Вскрытие рудного поля в основном выполнено двумя траншеями внешнего заложения. Вскрышные и добычные работы ведутся погоризонтно (высота рабочих уступов – 15 м; высота

уступа в погашенном состоянии – 30 м). Минимальная ширина рабочих площадок в зоне работы железнодорожного транспорта – 45 м; автотранспорта – 35 м, ширина рабочих площадок – 40 м; ширина транспортных берм: автомобильных – 25 м, железнодорожных – 12-22 м, ширина берм безопасности 12 м. Отвалы трехъярусные, высота яруса от 30 м до 50 м. Угол откоса рабочего уступа – 75°.

Для обеспечения устойчивости уступов и бортов карьера проектом предусматривается технология заоткоски уступов высотой 30 м под углом 60° методом предварительного

щелеобразования. Данная технология предохраняет законтурный массив от сейсмического воздействия взрывных работ и повышает общую устойчивость уступов и бортов карьера. Результирующие углы наклона бортов составляют 35-37°.

На рабочих горизонтах и бермах предусматривается сооружение водоотводных канавок, исключающих скопление воды и подпитку пород, слагающих уступы. Водопоток может достигать в карьерах 130 м<sup>3</sup>/ч и выше.

Технология ведения горных работ – циклическая с применением буровзрывных работ. Применяются

взрывчатые вещества (ВВ), в т. ч. эмульсионные (ЭВВ): гранулотол, гранулит Э, гранулит ЭМ, АС-25П, граммонит, эмульсолит П, АС-П, Порэммит 1А, Гранэммит И-30А. В качестве средств взрывания используются неэлектрические системы инициирования типа Primadet (UEB, Испания), российского производства («СИНВ») и других производителей. Процесс зарядки механизирован. Применяется электроогневой способ взрыва. Для взрывания заряженных блоков применяется система радиовзрывания, например, «Друза-М» (АО «Костанайские минералы», Казахстан).

Для проектирования горных и буровзрывных работ используются программы Micromine, Mineframe. Например, в АО «Костанайские минералы» для проектирования буровзрывных работ на карьере успешно использовалась система автоматизированного проектирования буровзрывных работ «Blast Maker».

Бурение технологических скважин производится станками шарошечного бурения типа СБШ-250, СБШ-250МНА-32, СБШ-190/250МНА и дизельными буровыми станками шарошечного бурения Atlas Copco DML-LP 1200/110, Sandvik D-50KS, Sandvik DI 550 (с погружным 5-дюймовым пневмоударником) и т. д.

Погрузка горной массы в карьере (рабочие забои, усреднительные склады (погрузка, разгрузка руды и пустой породы)), разгрузка отходов обогатительных фабрик осуществляется экскаваторами типа ЭКГ-8Н, ЭКГ-8И, ЭКГ-10, ЭКГ-6,3 УС, ЭКГ-8УС, ЭКГ-5А-У, ЭКГ-12,5, шагающий экскаватор (драглайн) ЭШ 10/70А с ковшами емкостью от 6,3 м<sup>3</sup> до 12,5 м<sup>3</sup>, гидравлическим экскаватором Komatsu PC2000, фронтальным погрузчиком Komatsu с емкостью ковша 11 м<sup>3</sup>, Hitachi 470 ХН, Hitachi EX 1200-6 (BE), Volvo EC 360В и т. д. В карьерах работают: бульдозеры на базе трактора Т-330; бульдозеры Четра Т-20 и Т-35; погрузчики ТО-18, Dressta; гидробутобой на базе

экскаватора Hitachi и Volvo; вышка ВС-22МС; установка УМП-1; зарядные машины: Nitro Nobel, МЗ-3Б-15Э, МЗВ-8, МЗВ-10, МЗВ-20, ТСЗМ-11ПГ, Порэммит-1У и т. д.

В качестве автотранспорта в переносимых асбестовых карьерах используются автосамосвалы следующих типов (грузоподъемность): БелАЗ-7548А (42 т), БелАЗ-7540В и БелАЗ-75405 (30 т), БелАЗ-7555В и БелАЗ-7555 (55 т), БелАЗ-7549 (80 т), Caterpillar (Cat)-777F (91 т), TEREX TR-100 (91 т), БелАЗ-7519 (110 т), БелАЗ-75125 и БелАЗ-75149 (120 т), Caterpillar-977F, БелАЗ-75130, БелАЗ-75131 (130 т) и т. д. Отгруженная из забоев горная масса (вскрышные породы) и руда вывозится железнодорожным транспортом<sup>1-3</sup> с использованием тяговых агрегатов ПЭ2М, ПЭ2У, тепловозы ТЭ2М, ТЭ2У; думпкарами 2ВС-105 и т. д. [1, 2].

#### **Обогащение хризотил-асбестовых руд**

Подготовка руды к обогащению заключается в уменьшении крупности руды с 1,2 м до 50 мм путем трехстадийного дробления. По условиям ведения технологического процесса влажность обогащаемой руды не должна превышать 1,7%.

Схема обогащения представлена многостадийным дроблением, предназначенным для вскрытия асбестового волокна и его подготовки к извлечению. Извлечение вскрытого волокна осуществляется в операциях грохочения, где происходит одновременное разделение волокна и дробленого продукта по крупности, стратификация волокна и его отсасывание с деки грохота.

Черновые концентраты, сформированные по длине волокна в три потока, направляются на пересортировку, где волокно обеспыливается, обезгаливается, классифицируется, поддушивается, т. е. доводится до требуемого качества. Полученный асбест дозируется по 50 кг (40 кг) и прессуется прессупаковочными машинами в брикеты, упаковывается в пропиленовые мешки,

зашивается, штабелируется на поддоны и складывается в цехе готовой продукции. Отгружается потребителю в крытых железнодорожных вагонах или контейнерах.

Процесс обогащения хризотил-асбестовой руды с извлечением хризотил-асбестового волокна включает в себя следующие операции: дробление, сортировка руды по крупности (грохочение), извлечение хризотил-асбестового волокна с помощью воздуха, обезгаливание, обеспыливание, классификация, упаковка. Технологические схемы обогащения на асбестообогатительных фабриках построены по принципу «не дробить и не обогащать ничего лишнего». Схема построена на выделении классов «от крупного к мелкому», так построен грузовой поток, поток измельчения и пересортные потоки.

Асбестообогатительные фабрики России и Казахстана производят товарный хризотил-асбест в зависимости от длины волокна хризотила (фракционного состава) девяти групп: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6к, 7 (определяется по массовым долям остатка волокон на контрольном аппарате или пневматическом классификаторе ПК-2а (сухой метод) или гидроклассификаторе (мокрый метод) типа «Бауэр-Мак-Нетт», на установке для определения насыпной плотности (7 группа хризотил-асбеста)), длина волокна определяется на анализаторе длины АДА-04 или АДА-02 (хризотил 0, 1, 2 групп определяется по средней длине волокон и массовой доле волокна длиной менее 5 мм и менее 0,5 мм).

Контролируются такие показатели качества выпускаемого хризотил-асбеста, как: степень распушки волокна (аппарат «Элютриатор»); объем хризотила во влажном состоянии («Инвертор»); удельная поверхность волокна («Рапид-Тестер»); скорость фильтрации хризотилового суспензии в известковом растворе (прибор «Уфа»); показатель FSU (Fiber Strength Unit)

<sup>1</sup>Надежное предприятие – стабильное будущее ОАО «Оренбургские Минералы» // Эксперт Урала 2012: <https://expert-ural.com/articles/nadezhnoe-predpriyatie--stabilnoe-budushee.html>

<sup>2</sup>Пояснительная записка АО «Костанайские минералы» по итогам 2018 г.

<sup>3</sup>Пояснительная записка ОАО «Оренбургские минералы» по итогам 2018 г., 2019.

определяет относительную прочность хризотил-асбестового волокна, (Wa) – технологическую ценность волокна (на приборе «Диллон» определяется предел прочности на поперечный разрыв хризотил-цементных пластин).

ПАО «Ураласбест» производит хризотил-асбест 0-7 групп; ОАО «Оренбургские минералы» – 3-7 групп; АО «Костанайские минералы» – 3-7 групп.

### Цифровизация предприятий

На асбестовых горно-обогаительных комбинатах России и Казахстана идет развитие цифровизации предприятий, что реализуется в таких проектах, как цифровая фабрика, цифровой завод, цифровой рудник, цифровой сервис и цифровой офис. Так, внедренный цифровой учет технических осмотров и ремонтов горного и обогательного оборудования позволяет улучшить мониторинг и визуализацию технического состояния оборудования (внедрен программный комплекс по системе учета технического обслуживания и ремонта оборудования (ТОИР)). Это позволяет снижать простои и решать проблемы эффективного использования оборудования<sup>4, 5</sup> [3].

На предприятиях асбестовой промышленности внедрены геоинформационные системы, такие как АКСУ ГК «Джетыгара» и «К-Mine» (АО «Костанайские минералы»), «Адвантум» и MineFrame (ПАО «Ураласбест»), они позволяют решать задачи, стоящие перед геологами и маркшейдерами по оперативному планированию и проектированию ведения горных и буровзрывных работ. Структура АКСУ ГК «Джетыгара» включала в себя ряд подсистем, позволяющих решать следующие задачи: мониторинг работы геотехнологического комплекса, включая подсчет запасов (АИС «Геология»), оперативный мониторинг горно-технической ситуации в карьере в пространстве, технических

и технологических параметров объектов (АСД ГТР «АДИС»), качественных характеристик внутрикарьерного рудопотока (АИСМ «Рудопоток») и экологической обстановки (ОИАС «ЭКО-Житикара»); планирование горных работ с учетом организации взаимодействия горного и транспортного оборудования и их технических характеристик в горно-геологических и горнотехнических условиях эксплуатации (ИПМК «Календарное планирование ГТР»), графики ремонтов основного технологического оборудования и управление процессом воспроизводства производственных мощностей (ИПМК «АСУ ПВПМ ГТСК»), имитационное моделирование и оптимизацию работы технологических комплексов карьеров с автомобильным и железнодорожным транспортом (ИПМК СЕВАДАН), а также систему формирования корпоративных отчетов о технико-экономических показателях работы горнотранспортного комплекса (ИПМК «Комплексные корпоративные отчеты»).

В разное время в асбестовой отрасли внедрены автоматизированные системы диспетчеризации горнотранспортных комплексов, например, АСД ГТР «АДИС-АВТО» и «АДИС-ЖД» действующей сейчас «АСК»; системы ГЛОНАСС/GPS мониторинга и контроля транспорта «АвтоТрекер» (компания «Русские навигационные технологии») позволяют визуализировать передвижение техники и процессы в карьере, их документировать; оперативно управлять в режиме онлайн и принимать корректирующие меры, выявлять потери и «узкие места» при эксплуатации экскаваторно-автомобильного оборудования, железнодорожного и вспомогательного транспорта в результате ежесменного анализа простоев и выявления причин невыполнения плановых заданий и производительности.

Геоинформационные системы K-Mine и MineFrame дают возможность взаимодействовать с автоматизированной системой диспетчеризации горнотранспортного комплекса «АСК» или «Адвантум». Система позволяет работать с производственно-технической службой в едином информационном пространстве и формировать единый массив данных в режиме онлайн по выполнению горнотехнических и технико-экономических показателей, что позволяет принимать более оперативные и правильные решения в управлении горнотранспортными комплексами<sup>6, 7</sup> [4, 5].

### Система бережливого производства

На асбестовых предприятиях внедрена система бережливого производства (ПАО «Ураласбест», ОАО «Оренбургские минералы», АО «Костанайские минералы»), которая способствует выявлению «узких мест» в организации труда, технологии, сокращает финансовые потери, расход рабочего времени, а также простои оборудования. Система ориентирована на исключение потерь и основывается на двух принципах: «точно вовремя» и автономизации. Работа всех принципов ведет к оптимизации всех бизнес-процессов предприятия, например, минимизации запасов запчастей и готовых изделий, что позволяет сокращать издержки и затраты.

Внедренная система «Кайдзен» на асбестовых горно-обогаительных предприятиях основывается на непрерывном совершенствовании процессов: производства, планирования, управления, качества услуг и продукции; способствует снижению энергоемкости производственных процессов и себестоимости выпускаемой продукции, выявляет потери и «узкие места» в технологическом процессе, а также способствует применению ресурсосберегающих и энергосберегающих технологий.

<sup>4</sup>Батлук М. Готовность номер один. / Уральский хризотил. – 2018. – №9(174): <http://www.uralasbest.ru/assets/dok/gazeta/2018/9.pdf>

<sup>5</sup>Хижняк Ю.С. Горняк будет всегда. / Уральский хризотил. – 2018. – №9(174): <http://www.uralasbest.ru/assets/dok/gazeta/2018/9.pdf>

<sup>6</sup>Андерсон Дж.У. Лучшие практики внедрения SAP. – М.: Лори, 2011. – 640 с.

<sup>7</sup>РНТ внедрила системы ГЛОНАСС на транспорте ОАО «Ураласбест». / Venture News. 15.07.2011: <https://www.venture-news.ru/415-rnt-vnedrila-sistemy-qlonass-na-transporte-oao-uralasbest.html>.

В последнее время существенно претерпевают изменения схемы обогащения хризотил-асбестовых руд в России и Казахстане, вводится новое дробильное и обогатительное оборудование (дробилки нового поколения: ODH 1616-23 ударного действия фирмы «PSP Engineering»; СМА 277 и центробежно-ударные дробилки с цифровым управлением ДЦ 1,6М; ДЦ 1,6; ДЦ-1,25; ДЦ-1,0; ДЦ-0,63; барабанные классификаторы БК-1, БК-1250; грохоты ГИС-42, ГИС-52, ГИД-2000, ГИД-2-2000-125М; рассевы РА-34, РА-20, РСМ-24, и т. д.). Проводится модернизация и оптимизация пресс-упаковочного комплекса (внедрены программируемые логические контроллеры фирмы SIEMENS, блоки управления дозированием пресса на базе весового процессора Ньютон 22, манипуляторы «Стрейч-Худ»; штрих-кодирование, модернизация пресса и т. д.); складского хозяйства (запущена система учета с помощью компьютерного зрения, RFID-меток и штрих-кодирования продукции), упрощается схема обогащения в каскадности (поточности) и стадийности; совершенствуются линии усреднения хризотилового волокна. Все эти меры направлены на сокращение энергоемкости и материалоемкости производства, снижение себестоимости обогащения хризотил-асбестовых руд, улучшение управления производством и качеством товарной продукции.

#### Диверсификация производства

Увеличение давления антиасбестовой компании в мире, лоббированной химической промышленностью и рядом медицинских организаций привело к сокращению мирового спроса на асбест, вследствие этого за последние два десятилетия были закрыты асбестовые месторождения, такие как «Джеффри», «Тетфорд Майн», «Клинтон-Крик» (Канада), «Кана-Брава» (Бразилия) и «Шабани» (Зимбабве).

Хризотил-асбестовые горно-обогащительные предприятия СНГ ежегодно перерабатывают от 3 млн т до 13 млн т асбестосодержащей руды (с содержанием хризотил-асбеста от 2,1% до 4,9%), из которых от 2,4% до 8% извлекается в товарное

волокно (выход полезного компонента от общей массы переработанной руды) и могут одновременно с производством товарного хризотил-асбеста вырабатывать до 11-14% или 20-23% (в зависимости от фракции) щебень фракционный на продажу, остальное направляется в отвалы. В техногенных отходах содержится до 1 млн т магния при среднем содержании оксида магния 35-40%. Химический состав асбестоносных пород (серпентинита, перидогита) после обогащения следующий:  $SiO_2$  – 43,18-44,02%,  $Al_2O_3$  – 0,69-0,9%,  $CaO$  – 0,8-1,7%,

$MgO$  – 33,96-40,06%,  $Fe$  – 4,2-5,78%,  $MnO$  – 0,14-0,36%,  $Cr_2O_3$  – 0,28-0,45%,  $NiO$  – 0,19-0,43%,  $P_2O_5$  – 0,02-0,03%,  $S$  – 0,06-0,07%,  $TiO_2$  – 0,03-0,05%. Хвосты обогащения хризотил-асбестовых руд могут содержать породы с включением золота, каолина [1]. Поэтому асбестовые предприятия считают целесообразным диверсификацию производства и извлечение из отходов обогащения полезных компонентов, например, магния, железа, золота, никеля, кремнезема.

В результате выщелачивания серпентинитовых и перидотитовых

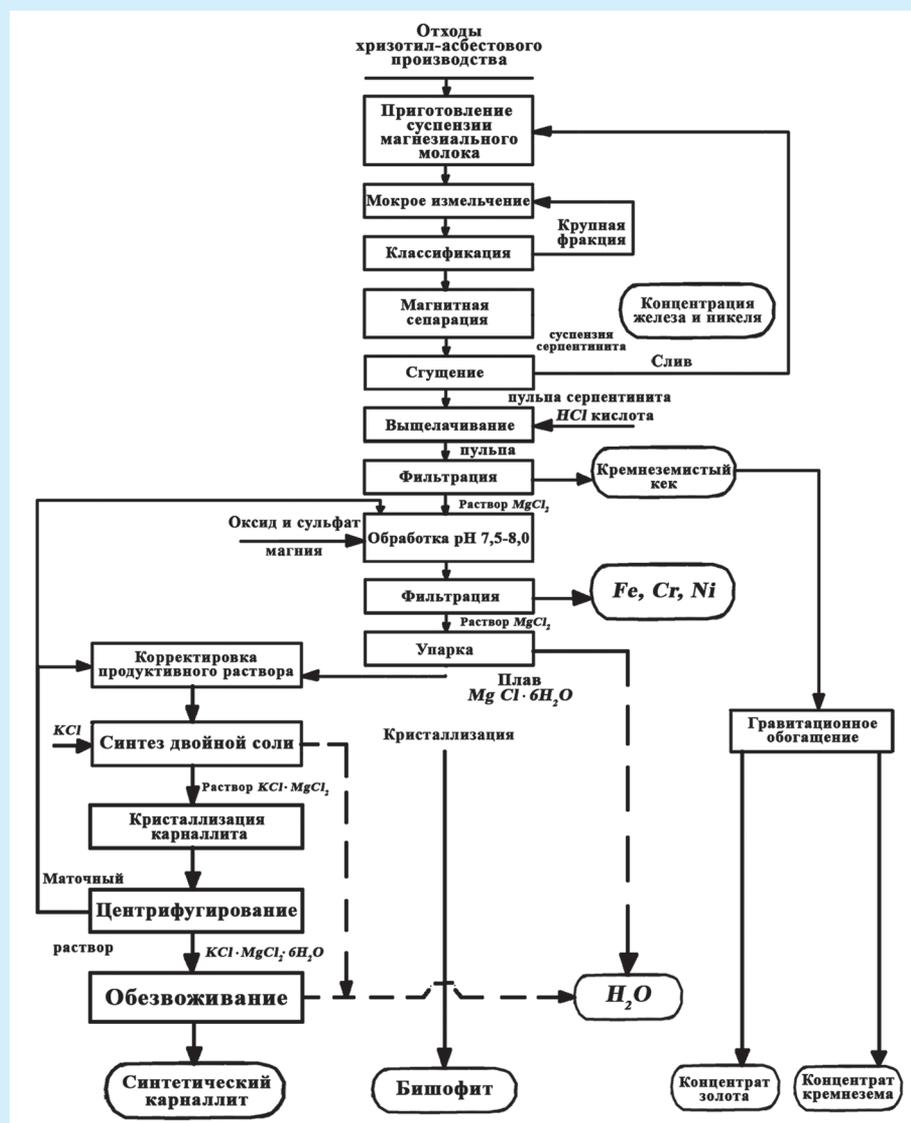


Рис. 2. Схема комплексной переработки хвостов обогащения хризотил-асбестового производства.

Сурет 2. Хризотил-асбест өндірісінің байыту қалдықтарын кешенді өңдеу схемасы.

Figure 2. Scheme of complex processing of enrichment tailings of chrysotile-asbestos production.

продуктов фракции 0,4-0,1 мм соляной или серной кислотой образуется аморфный гидратированный кремнезем (содержащий 95%  $SiO_2$  – диоксида кремния), он обладает высокой активностью для получения жидкого натриевого стекла. Аморфный гидратированный кремнезем смешивают с раствором гидроксида натрия, нагревают от 80° до 90°С в течение 0,5-1 ч при атмосферном давлении, затем полученную суспензию (не прореагировавший остаток) фильтруют и промывают водой. Полученное жидкое натриево-стекло имеет плотность 1,21-1,27 г/см<sup>3</sup> и содержит не более 0,05%  $FeO$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ;  $SiO_2 = 25,0-2,2\%$ ;  $NaO_2 = 6,5-7,8\%$ . Силикатный модуль 3,6-3,7.

Полученное жидкое натриево-стекло обладает повышенной прочностью и адгезией с минералами различной структуры, устойчиво к возгоранию, перегреву и деформациям. Область применения – автомобильная, металлургическая, строительная промышленность, также применяется в качестве связки при производстве теплоизоляции.

Отходы обогащения хризотил-асбестовых руд (серпентинитовые и перидотитовые породы) являются магнийсодержащими продуктами для получения оксида магния или металлического магния.

На асбестовых горно-обогажительных комбинатах разрабатываются и предлагаются к промышленному освоению технологии, предусматривающие серноокислотное выщелачивание отходов хризотил-асбеста с извлечением в раствор 75-80% магния в виде сульфата. Очистка раствора от примесей железа, никеля, кобальта и хрома проводится цементационно-химическим способом (рис. 1).

Растворы сульфата магния упаривают и, в зависимости от степени очистки, кристаллизацией получают  $MgSO_4 \times 7H_2O$ , который подвергают обезвоживанию и разложению с выделением паров воды

и сернистого газа  $SO_2$ . Сернистый газ направляется далее в контактные аппараты для производства серной кислоты с дальнейшим использованием в процессе выщелачивания в голове процесса совместно с парами воды и конденсата. Из технически чистого оксида магния  $MgO$  металлотермическим восстановлением получают металлический магний в чушках.

Для процесса выщелачивания и извлечения магния требуется подготовка отходов серпентинит-перидотитовых пород по фракционному и химическому составу, а именно: доизмельчение (в мельницах) и сепарация (как гравитационная для удаления хризотил-асбестового волокна, так и магнитная для удаления железа), так как крупная фракция и хризотил-асбестовое волокно, содержащие железо, снижают эффективность процесса выщелачивания.

Рассмотрим еще одну схему получения оксида магния с помощью термического разложения магнийсодержащих хвостов обогащения хризотил-асбестовых руд и выщелачивания их угольной кислотой. Схема включает в себя мокрую магнитную сепарацию для отделения магнийсодержащей суспензии от магнетита, выщелачивание с помощью угольной кислоты, карбонизацию и отжиг. Просев грузового потока цеха обогащения класса (-1,1+0) мм (серпентинит-перидотитовые породы) проходят термическую активацию в печи при температуре 500-600°С и после термической обработки подвергаются измельчению в мельницах до крупности менее 0,1 мм. После измельчения продукт менее 0,1 мм идет в процесс выщелачивания, который проводят с использованием топочного углекислого газа, образующего при пропуске через водную суспензию активированных пород серпентинита и перидотита угольную кислоту  $HCO_3$  (бикарбонатный ион)

с водородным показателем (кислой среды)  $pH = 3,5-4,5$ .

Важен контроль за температурой при термической активации продукта, ниже 500°С происходит недостаточная дегидратация соединения силиката магния, что приводит к меньшей эффективности выщелачивания угольной кислотой; при выщелачивании соединения железа переходят в раствор раньше, чем нужные соединения магния. При температуре больше 600°С идет излишняя дегидратация и перекристаллизация силиката магния; при выщелачивании угольной кислотой в раствор переходит силикагель, который забивает фильтры и делает дальнейшую фильтрацию невозможной.

Во всех применяемых схемах по выщелачиванию магния из хвостов обогащения хризотил-асбеста важна подготовка этих хвостов (серпентинита и перидотита) к процессу выщелачивания. Имеется ввиду допущение минимального значения свободного хризотил-асбестового волокна и оптимальная крупность продукта (подобранная фракционность продукта), так как мелочь (тонкий помол) повышает вязкость пульпы и снижает разделение минералов (фаз), увеличивает затраты на расход энергии активации.

Правильно подобранный фракционный состав продукта (хвостов обогащения хризотил-асбестовых руд, которые в основном представлены серпентинитовыми и перидотитовыми породами) повышает скорость процесса выщелачивания и степень извлечения магния, это достигается путем роста поверхностного контакта фаз и доступности включений растворяемого минерала.

Особо важен контроль исходного продукта по содержанию железа и самого магния. Для эффективности процесса выщелачивания рекомендуется уменьшать содержание железа, кальцита, талька, доломита в продукте перед выщелачиванием.

Окончание статьи читайте в №4 2022 г.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гольм А., Хазбиев А., Оганесян Т. Страсти по асбесту. // Эксперт. – 2012. – №49. – С. 68-72 (на русском языке)
2. Козлов Ю.А. Через пять лет «Ураласбест» будет другим. // Уральский хризотил. – 2021. – №4(205). – С. 1-2 (на русском языке)
3. Сиялова Н. Хризотил-асбест – минерал для жизни. // Горная Промышленность. – 2018. – №5(141). – С. 23-25 (на русском языке)
4. Салахиев Р.Г., Дедюхин А.В., Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г. Имитационное моделирование и автоматизированное управление горнотранспортными работами в карьерах. // Горный журнал. – М., 2012. – №1. – С. 82-85 (на русском языке)
5. Глебов А.В. Методика формирования парка карьерных самосвалов. // Горный журнал. – М., 2012. – №1. – С. 75-78 (на русском языке)

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Гольм А., Хазбиев А., Оганесян Т. Асбест құмарлығы // Сарапшы. – 2012. – №49. – Б. 68-72 (орыс тілінде)
2. Козлов Ю.А. Бес жылдан кейін «Ораласбест» басқа болады. // Орал хризотилі. – 2021. – №4(205). – Б. 1-2 (орыс тілінде)
3. Сиялова Н. Хризотил-асбест – өмірге қажетті минерал. // Тау-кен өнеркәсібі – 2018. – №5(141). – Б. 23-25 (орыс тілінде)
4. Салахиев Р.Г., Дедюхин А.В., Бахтурин Ю.А., Журавлев А.Г. Ашық карьерлердегі тау-кен және көлік операцияларын имитациялық модельдеу және автоматтандырылған басқару. // Тау-кен журналы. – М., 2012. – №1. – Б. 82-85 (орыс тілінде)
5. Глебов А.В. Тау-кен автосамосвалдарының паркін қалыптастыру әдістемесі. // Тау-кен журналы. – М., 2012. – №1. – Б. 75-78 (орыс тілінде)

## REFERENCES

1. Golm A., Khazbiev A., Oganesyana T. Strasti po asbestu [Passion for asbestos]. // E'kspert = Expert. – 2012. – №49. – P. 68-72 (in Russian)
2. Kozlov Yu.A. Cherez pyat' let «Uralasbest» budet drugim [In five years «Uralasbest» will be different]. // Ural'skij xrizotil = Ural chrysotile. – 2021. – № 4 (205). – P. 1-2 (in Russian)
3. Siyalova N. Xrizotil-asbest – mineral dlya zhizni [Chrysotile asbestos is a mineral for life]. // Gornaya Promyshlennost = Mining Industry. – 2018. – №5(141). – P. 23-25 (in Russian)
4. Salakhiev R.G., Dedyukhin A.V., Bakhturin Yu.A., Zhuravlev A.G. Imitacionnoe modelirovanie i avtomatizirovannoe upravlenie gornotransportnymi rabotami v kar'erax [Simulation modeling and automated control of mining and transport operations in open pits]. // Gornyj zhurnal = Mining Journal. – M., 2012. – №1. – P. 82-85 (in Russian)
5. Glebov A.V. Metodika formirovaniya parka kar'ernyx samosvalov [Methodology for the formation of a fleet of mining dump trucks]. // Gornyj zhurnal = Mining journal. – M., 2012. – №1. – P. 75-78 (in Russian)

## Сведения об авторах:

**Пуненков С.Е.**, канд. техн. наук, главный технолог управления комбината Публичного акционерного общества «Ураласбест» (г. Асбест, Россия), [ore-dressing@control.uralasbest.ru](mailto:ore-dressing@control.uralasbest.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4034-3457>

**Козлов Ю.С.**, студент кафедры международной экономики и менеджмента Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина» (г. Екатеринбург, Россия), [kozlovuyuryu@gmail.com](mailto:kozlovuyuryu@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0003-0121-0045>

## Авторлар туралы мәліметтер:

**Пуненков С.Е.**, техника ғылымдарының кандидаты, «Ораласбест» жария акционерлік қоғамы комбинаты басқармасының бас технологы (Асбест к., Ресей)

**Козлов Ю.С.**, «Ресейдің тұңғыш президенті Б.Н. Ельцин атындағы Орал федералдық университеті» Федералдық мемлекеттік автономды жоғары білім беру мекемесі, халықаралық экономика және менеджмент кафедрасының студенті (Екатеринбург к., Ресей)

## Information about the authors:

**Punenkov S.E.**, Candidate of Technical Sciences, Chief Technologist of the Plant Management of the Public Joint Stock Company «Uralasbest» (Asbest, Russia)

**Kozlov Y.S.**, Student at the Department of International Economics and Management of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin» (Yekaterinburg, Russia)