

Код МРНТИ 52.45.03; 67.09.05

\*С.Е. Пуненков

ПАО «Ураласбест (г. Асбест, Россия),

Уральский государственный горный университет (г. Екатеринбург, Россия)

## ХРИЗОТИЛОВЫЕ ВОЛОКНА И ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНЫЕ ИЗДЕЛИЯ НА ЕГО ОСНОВЕ

**Аннотация.** В статье рассматриваются технология производства, проблемы развития хризотиловой и хризотилцементной отраслей в странах СНГ. В статье приводятся сведения о составе и свойствах природных хризотиловых волокон, данные по качеству сырьевых материалов цемента и хризотиловых волокон, поставляемых на хризотилцементные предприятия, характеристики суспензии с ними, полуфабриката и свойства затвердевших хризотилцементных изделий. Рассмотрены появляющиеся запросы производителей хризотилцементных изделий (шифера, хризотилцементных труб) к горно-обогатительным предприятиям стран СНГ по качеству поставляемых хризотиловых волокон в связи с проявляющимися нарушениями физико-механических свойств шиферной продукции.

**Ключевые слова:** хризотилловые волокна, распушка, портландцемент, армирование, пигменты, гидрофобизатор, хризотилцементные изделия, магистральные трещины, высоты, рынок.

### Хризотил талшықтары және хризотил цементті оның негізіндегі бұйымдар

**Аннотация.** Мақалада өндіріс технологиясы, тәуелсіз мемлекеттер елдерінде хризотил және хризотилцемент салаларын дамыту проблемалары қаралады. Мақалада табиғи хризотил талшықтарының құрамы мен қасиеттері туралы мәліметтер, хризотилцемент кәсіпорындарына жеткізілетін цемент пен хризотил талшықтарының шикізат материалдарының сапасы жөніндегі деректер, олармен суспензияның, жартылай фабрикаттың сипаттамалары және қатып қалған хризотилцемент бұйымдарының қасиеттері келтіріледі. Шифер өнімдерінің физикалық-механикалық қасиеттерінің бұзылуы байқалуына байланысты жеткізілетін хризотил талшықтарының сапасы бойынша Тәуелсіз Мемлекеттер елдерінің тау-кен байыту кәсіпорындарына хризотилцемент бұйымдарын (шифер, хризотилцемент құбырлары) өндірушілердің пайда болған сұраныстары қаралды.

**Түйінді сөздер:** хризотил талшықтары, қосыту, портландцемент, арматуралау, пигменттер, гидрофобизатор, хризотилцемент бұйымдары, магистральдық жарықтар, ойықтар, өткізу нарығы.

### Chrysotile fibers and chrysotile cement products based on it

**Abstract.** The article discusses the production technology, the problems of the development of the chrysotile and chrysotile cement industries in the CIS countries. The article provides information on the composition and properties of natural chrysotile fibers, data on the quality of raw materials of cement and chrysotile fibers supplied to chrysotile cement enterprises, characteristics of suspension with them, semi-finished product and properties of solidified chrysotile cement products. The emerging requests of the manufacturers of chrysotile cement products (slate, chrysotile cement pipes) to the mining and processing enterprises of the CIS countries in terms of the quality of the supplied chrysotile fibers due to the apparent violations of the physical and mechanical properties of the slate products are considered.

**Key words:** chrysotile fibers, fluff, portland cement, reinforcement, pigments, hydrophobizator, chrysotile cement products, main cracks, seedlings, market.

### Введение

Создание хризотилцементных изделий в конце 19-го – в начале 20-го столетий можно назвать важным событием в мировой инженерной практике в связи тем, что они нашли применение в самых разных сферах и отраслях. Эти простые двухкомпонентные материалы имеют длительное время эксплуатации. Изделия не выделяют и не пропускают токсинов и газов, огнестойки и радиационнобезопасны, выдерживают перепады температуры и влажности. Не гниют, не ржавеют, функционально надежны в эксплуатации, просты в применении. Имеют при этом низкую цену по сравнению с другими кровельными материалами, особенно с металлом или керамической черепицей. Сроки эксплуатации изделий из хризотилцемента более 50 лет. Хризотилцементные изделия надежно адаптированы во всех климатических регионах мира. Материал и сегодня является значимым и незаменимым с точки зрения термостойкости, пожаробезопасности.

В России первые шиферные изделия были изготовлены в виде легкой асбестоцементной кровельной черепицы на заводе «Террофазерит» в 1908 году в г. Брянске и назывались «искусственным шифером» или «террофазеритом». Плитки имели толщину 4 мм и изготавливались разных размеров – 30 x 30, 40 x 40 см. При производстве шифера в смеску входило 19% хризотил-асбеста и 79% портландцемента. Брянский серый шифер начала 20 века выдерживал температуру нагрева +800 °С и двадцатипятикратное замораживание при -20 °С и оттаивание. Шифер имел прочность на разрыв 95-110 кг/см<sup>2</sup> и на удар – 1,5-1,6 кгс/см<sup>2</sup>, также он обладал морозостойкостью, огнеупорностью,

изоляционными свойствами (не проводил тепло и электрический ток), устойчивостью к атмосферным воздействиям. Основной химический состав брянского шифера – «террофазерита» был следующим:  $SiO_2$  – 16,8%,  $CaO$  – 50,3% и т. д.

Запуску брянскому асбоцементному заводу «Террофазерит» в начале XX века способствовал открытый в 1901 г. в г. Брянске завод по производству портландцемента. Завод для получения портландцемента использовал технологию смешивания мела и глины без предварительного высушивания с природным содержанием 25-30% влажности. Данный завод являлся поставщиком сырья цемента для шиферного завода «Террофазерит». Так постепенно хризотилцементный кровельный лист (шифер), изготовленный небольшими по размеру плитками, начал вытеснять кровельные плоские глинисто-сланцевые плитки, применяемые для кровли задний и сооружений в России. Два завода находились территориально рядом и были построены вблизи железнодорожных путей станции Брянск II, что обеспечивало логистику для сбыта продукции и поставки на завод уральского хризотил-асбеста. Примечательно, что «Schiver» в переводе с немецкого означал природный глинистый сланец и широко использовался для кровли домов, зданий и сооружений в Европе в 19 и начале 20 века [1].

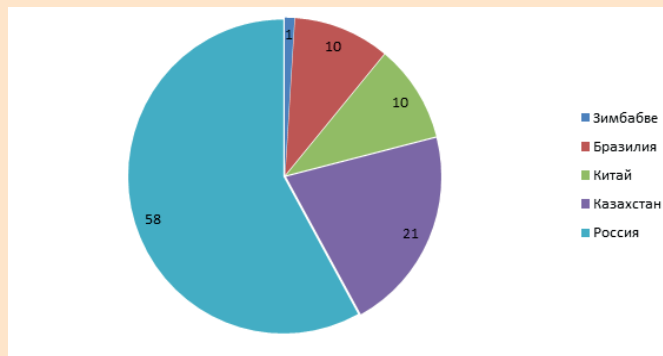
### Материалы и методы

**Хризотил** относится к одному из весьма широко распространенных в природе видов асбеста, к группе серпентинитов. Содержание воды в асбесте группы

# Минерально-сырьевые ресурсы

серпентина-хризотила составляет 13-14,5%. Именно хризотил-асбест наиболее широко применяется для изготовления различных материалов [2].

В связи с этим его добыча в мире составляет более 98% от общемирового производства асбестов. На территориях бывшего СССР и СНГ находятся три месторождения хризотилового асбеста: в России, на Урале, самое большое в мире – Баженовское (ПАО «Ураласбест»), в Оренбургской области – Кiemбаевское (ОАО «Оренбургские Минералы»), а в Казахстане – Джетыгаринское (АО «Костанайские Минералы»). Поэтому предприятия Российской Федерации и Республики Казахстан являются ключевыми производителями хризотил-асбеста в мире. Они производят 79,0% всего хризотил-асбеста в мире (рис. 1).



**Рис. 1. Динамика мирового производства хризотил-асбеста в 2021 г.**

**Сурет 1. Хризотил-асбест әлемдік өндірісінің динамикасы 2021 ж.**

**Figure 1. Global Chrysotile Asbestos Production Dynamics in 2021.**

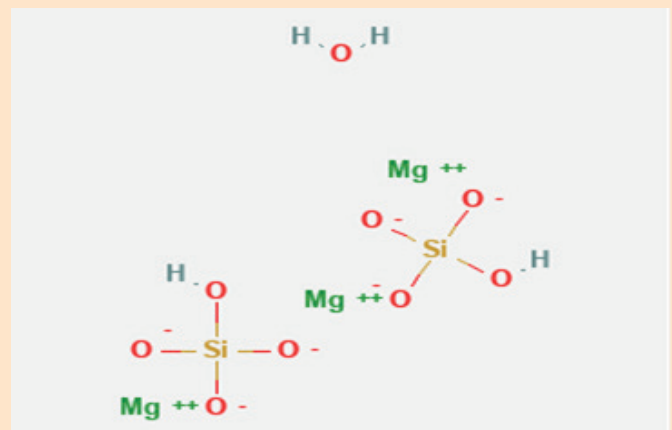
Объем производства хризотил-асбеста в России в 2023 г. составил 598 тыс. т. Внутри страны потребляется менее 30% от этого объема, а более 70% асбеста экспортируется как в страны СНГ, так и во многие страны мира. На внутреннем рынке России и Казахстана хризотил-асбест применяется для производства асбестоцементных изделий до 90%. При этом около 7% хризотил-волокон применяется для получения фрикционных изделий – тормозных колодок и накладок для механизмов сцепления и около 3% для производства мастик, герметиков, декинга, напольных покрытий и т.д. В хризотилцементной промышленности стран СНГ задействовано около 50 тысяч работающих граждан. В общей сложности с хризотиловой промышленностью в России и Казахстане связаны более 400 000 человек, включая членов семей и население градообразующих городов (здесь имеется в виду, что от деятельности данной отрасли зависит благосостояние людей). Значительная часть хризотилдобывающих и хризотилцементных предприятий – градообразующие [3, 4].

Также добыча хризотила идет в провинциях Китая Qinghai, Sichuan, Xinjiang, Shaanxi, Hebei, Shanxi, Yunnan, Jiangxi и Anhui. Почти 64% на территории Китая хризотила сосредоточено в провинции Qinghai.

Твердость сырьевого минерала хризотил-асбеста по шкале Мооса равна 2,5-3,5, его плотность 2,4-2,6 г/см<sup>3</sup>.

Молекулярная масса хризотила: 277,11 г/моль. Прочность хризотил-волокон на разрыв равна 1700-3600 МПа. Средние значения модуля упругости хризотил-асбеста колеблются от 1664 до 2184 МПа. Температура плавления волокон достигает 1450-1550 °С, а их эластичность и прочность сохраняются до температуры 700 °С.

Хризотил-асбест по химическому составу – это водный силикат магния (гидросиликат магния) –  $3MgO - 2SiO_2 - 2H_2O$ . Он может содержать примеси  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $C_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $NiO$ ,  $MnO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ , и  $K_2O$ . В зависимости от количества в хризотиле железа, волокна подразделяются на маложелезистые (суммарное содержание  $FeO$  и  $Fe_2O_3$  обычно не превышает 0,5%) и железистые (суммарное содержание  $FeO$  и  $Fe_2O_3$  более 0,5%). Часть  $FeO$  в хризотиловом волокне изоморфно замещает  $MgO$ . Другая количественная часть железа связана с механической примесью магнетита, реже хромита. Свойства физико-механические хризотилового волокна зависят от наличия вредных примесей и количества в хризотиле  $MgO$  и  $SiO_2$ ,  $FeO$  и  $Fe_2O_3$ , содержания конституционной воды и т.д. Известны три вида хризотила: клинохризотил (clinohrysotile), ортохризотил (orthochrysotile) и парахризотил (parachrysotile). На рисунке 2 дана химическая структура хризотил-асбеста.



**Рис. 2. Химическая (молекулярная) структура хризотил-асбеста.**

**Сурет 2. Хризотил-асбесттің химиялық (молекулярлық) құрылымы.**

**Figure 2. Chemical (molecular) structure of chrysotile asbestos.**

Наиболее важные химические элементы хризотил-асбеста, обеспечивающие ему лучшие текстурные, армирующие и прочностные характеристики в твердеющем порландцементе: оксид железа, оксид магния, кристаллизационная вода и адсорбированная вода, удерживаемая в технологических процессах.

Химический состав Баженовского, Кiemбаевского и Джетыгаринского хризотил-асбеста по данным 2023 г. представлен в таблице 1.

В Баженовском хризотил-асбесте присутствует самое большое количество оксида магния, самое низкое в волокнах Джетыгаринского хризотила. И, наоборот, в волокнах Баженовского хризотил-асбеста самое низкое количество оксида железа, и больше всего его в волокнах Джетыга-

ринского хризотила. Содержание природной и технологической воды самое высокое у хризотилковых волокон Баженовского месторождения. Все это и определяет более мягкую текстуру волокон Баженовского хризотил-асбеста. Они имеют после добычи большую длину, более распушены, имеют большую удельную поверхность. И все это при меньших затратах энергии на их подготовку. Наиболее жесткая структура у Джетыгаринских волокон, но они менее насыщены мелкодисперсной пылью, требуют больше энергии, времени для распушки.

**Таблица 1**  
**Химический состав хризотилковых волокон из разрабатываемых в России и Казахстане месторождений, %**

**Кесте 1**  
**Ресей мен Қазақстанда игерілетін кен орындарының хризотил талшықтарының химиялық құрамы, %**

**Table 1**  
**Chemical composition of chrysotile fibers from deposits developed in Russia and Kazakhstan, %**

Окислы	Месторождения России и Казахстана		
	Баженовское	Джетыгаринское	Киембаевское
$SiO_2$	42,1	44,4	44,69
$MgO$	41,99	39,33	39,86
$Al_2O_3$	0,53	0,84	0,3
$Fe_2O_3$	1,3	1,88	1,54
$FeO$	0,24	0,49	0,42
$CaO$	0,03	Следы	следы
$K_2O + Na_2O$	Следы	Следы	следы
$H_2O + 105^\circ$ (хим. связ.)	12,99	12,03	12,02
$H_2O - 105^\circ$ (адсорбционная)	1,42	0,8	0,7

В связи с различием свойств хризотил-асбеста вышеперечисленных трех месторождений несколько отличаются показатели волокон. Они делятся на три разновидности: нормальный – с высокой прочностью, ломкий – с пониженной прочностью, полумомкий. Это определяет области их применения и дозировки в производстве хризотилцемента. Тем не менее, при всех различиях данных видов добываемого асбеста, все они и именно только волокна хризотилового асбеста обеспечивают шиферу самые большие преимущества по свойствам [5, 6].

**Хризотилцемент.** Присутствие в цементной матрице армирующих хризотилковых волокон делает хризотилцемент композиционным материалом. Адгезионные и прочностные характеристики волокон из любого указанного хризотил-асбеста трех месторождений в смесях с тонкомолотым цементом дают готовым хризотилцементным изделиям хорошие эксплуатационные свойства.

При производстве хризотилцементных изделий используются два основных сырьевых компонента: хризотил-асбест и портландцемент. Основная продукция отрас-

ли – плоские и волнистые, непрессованные и прессованные листы, а также хризотилцементные трубы. При изготовлении листов в сырьевые смеси вводится 13-15% хризотил-асбеста, при производстве труб – 17-18%. Для всей этой продукции применяют в основном хризотил-асбест 3-6 групп, для листов больше хризотил-асбест 5-6 групп, меньше – 4-й, в производстве труб – преимущественно хризотил-асбест 3-4 групп.

**Применение хризотилцемента.** Хризотилцементные листы разного размера применяются больше для стен зданий и кровель. Большеразмерные и конструкционные изделия, усиленный шифер используются при изготовлении стеновых и каркасных панелей, фасадных и декоративных листов, изделий специального назначения, например, электроизоляционных деталей, плит для заборов.

Трубы изготавливаются напорные и безнапорные диаметром от 100 до 500 мм, используются они для транспортировки питьевой и технической воды, в качестве опор при сооружении зданий. Безнапорные трубы, как эффективная альтернатива стальным, применяются для канализации, мусоропроводов, для прокладки телефонных кабелей, сооружения столбчатых фундаментов для небольших строений и в качестве опорных столбов для заборов. Напорные трубы используются для газопроводов, водопроводных, технических и питьевых целей, канализационных, мелиоративных и оросительных систем и в качестве обсадных труб для колодцев. Они обладают большой прочностью, хорошо выдерживают напор, не подвержены коррозии, стойки к длительному воздействию горячей воды и имеют длительный срок службы – более 35 лет. Эти трубы высоко надежны при температуре воды до +130 °С и при минусовой температуре окружающей среды в разных климатических условиях, например, в Якутии с морозами до -65 °С. В мире до 2000 года проложено более 2,5 млн км хризотилцементных труб. Например, около 40000 км для питьевого водоснабжения в Нидерландах, более 1,5 млн км в России и 250000 км в Казахстане, в Канаде более 700000 км и т. д.

В России многие десятилетия широко производятся и используются неокрашенные и окрашенные шиферные изделия. Общая доля окрашенных изделий в различных покрытиях кровлях, стенах, заборах порядка 55%, а в малоэтажном и сельском строительстве – до 80%.

При изготовлении текстильных изделий, плетеных и тканевых набивок, электроизоляционных лент и шнуров, дисков сцепления, тормозных лент применяются хризотилковые волокна 0-3 группы.

Хризотилковые волокна трубных групп хорошо используются в микроармировании ячеистых материалов, а именно, в микроармировании пены с целью повышения ее качественных показателей для получения ячеистых бетонов (пенобетона).

Из хризотил-асбеста 4-ой и 5-ой группы изготавливают хризотилковую бумагу и картон. Хризотил 3-ей и 4-ой группы используется для производства хризотилрезинных листов (клингерита), термоизоляционных материалов (хризотиловой ваты, теплоизоляционного шнура, хризотилового гофрированного картона). Из хризотила 5-7-ой группы в комплексе с диатомитом, другими материалами и минеральными веществами изготавливаются

теплоизоляционные и термоизоляционные материалы, резинотехнические и минерально-полимерные композитные изделия (декинг, шпалы, заборные доски, лаги, террасные доски, штакетники, фасадные панели), пластмасс, линолеум, хризотилбитумные материалы (рубероид, дорожное покрытие (стабилизирующие добавки в асфальт), облицовочные и напольные плиты, наполнители, ремонтно-восстановительные составы, мастики, пеноасбест, асфальтобетонные, строительные и с каменноугольными смолами смеси, штукатурно-напыляемые составы, краски, хризотилмагнезиальные порошки, клеи, одеяла и т.д. Хризотил специального назначения марок АСН-3, АСН-4, АСН-5, АСН-6, АСНП-5 применяется для производства конструкционных клеев, диафрагм хлорных электролизеров, звуко- и шумопоглощающих прокладок, производства паронита, безуглеродных прокладок к двигателям внутреннего сгорания. При изготовлении сепараторной бумаги, применяемой в авиа- и судостроении, употребляется обезжелезненный апоультрамафитовый хризотил марки АХО-2, который производит ПАО «Ураласбест».

Все виды добытого хризотила (хризотил-асбеста) состоят из смеси волокон различной длины и их агрегатов с недеформированными волокнами размером в поперечнике не менее 2 мм. Их условно называют «кусовым хризотил-асбестом», а при толщине меньше 2 мм – «иголками». Хризотил-асбест, в котором волокна тонки, деформированы и перепутаны, называют «распушенным». Частицы сопутствующей породы меньшего диаметра, но не менее 0,25 мм в поперечнике называются «галей», а частицы породы и короткие асбестовые волокна, прошедшие через сито с размерами сторон ячейки в свету 0,25 мм, называют «пылью». Волокна же и частички, прошедшие через еще меньшие отверстия сита 0,075 мм, называют «мелкодисперсной пылью». При существующих технологиях обогащения хризотил-асбестовых руд все мелкоизмельченные фракции пыли и «гали» полностью не удаляются и присутствуют в распушенном товарном хризотиле. Это следствие высоких адгезирующих характеристик асбестовых волокон. Они удерживают на себе эти частицы и при просеве размолотых продуктов и при отсасывании их воздушным потоком. Засоренность распушенных волокон мелкоизмельченной и зернистой породой тем сильнее, чем больше распушены волокна в товарном хризотиле.

Текстура хризотил-асбестовых волокон, зависящая от степени сохранности пучков хризотил-асбеста в процессе его первичной обработки, одна из важнейших качественных характеристик товарного хризотил-асбеста. Определяется она по скорости фильтрации воды через навеску хризотила в приборе «Шоппер-Риглера» или на установке «УФА».

Для определения объема во влажном состоянии товарного хризотил-асбеста применяется лабораторный прибор «Инвертор». Он дает представление о длине, степени распушки и чистоте хризотилового волокна. Степень распушки хризотилового волокна определяется на лабораторном приборе «Элютриатор» или «КРАВ», «ПСХ-2». Удельную поверхность хризотилового волокна устанавливают на лабораторном оборудовании «Рапид-Тестер» («ОПА»). Прочность хризотил-асбестовых волокон в хризотилцементе детерминируется на прибор «Диллон».

Товарный хризотил – это смесь волокон различной длины и их агрегатов. В зависимости от длины волокон и содержания пыли и «гали» в нем, он разделяется на группы и марки. Все просеянные через сита хризотил-асбестовые волокна для формирования товарной продукции делятся по их средней длине на девять групп: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6к и 7. Фракционный состав каждой группы с 0 по 6 и 6к определяется на хризотилдобывающих предприятиях мокрым способом на пятиситном гидрокласификаторе «Бауер-Мак-Нетт» или «Турнер-Невалл», а при сухом расसेве – на АДА-02, Контрольном Аппарате и ПК-2А. Хризотил-асбест 7 группы в зависимости от насыпной плотности делится на четыре марки, которые определяются на установке для определения насыпной плотности [7, 8].

В маркировке хризотил-асбеста (см. таблицу 2) содержатся группы, прописные буквы и цифры, разделенные дефисами. Буква А обозначает наименование материала хризотил-асбест. Буква К – способ получения хризотил-асбеста из продуктов пылесосадирующих устройств. Буква М указывает на повышенное содержание массовой доли фракции менее 0,4 мм. Первая цифра показывает группу, вторая указывает гарантированный минимальный остаток на основном сите контрольного аппарата для хризотил-асбеста групп 0-6, 6к и насыпную плотность для хризотил-асбеста 7-й группы. Она же определяет и марку хризотила.

**Таблица 2**

**Группы и марки хризотил-асбеста согласно ГОСТу 12871-93 стран СНГ (с дополнениями 2006, 2007 г.)**

**Кесте 2**

**ТМД елдерінің 12871-93 МЕМСТ-на сәйкес хризотил-асбесттің топтары мен маркалары (2006, 2007 ж. толықтыруларымен)**

**Table 2**

**Groups and brands of chrysotile-asbestos according to GOST 12871-93 of the CIS countries (with additions 2006, 2007)**

Группа	Марка	Группа	Марка	Группа	Марка
0	А-0-80	4	А-4-40	6к	А-6К-45
	А-0-55		А-4-30		А-6К-30
1	А-1-75		А-4-20		А-6К-20
	А-1-50		А-4-10		А-6К-5
2	А-2-30	5	А-4-5	7	А-7-300
	А-2-22		А-5-80		А-7-370
	А-2-15		А-5-70		А-7-450
3	А-2-10	6	А-5-65		А-7-520
	А-3-75		А-5-60		
	А-3-70		А-5-55		
	А-3-60		А-5-50		
	А-3-50		А-6-45		
			А-6-40		
			А-6-40М		
			А-6-30		
			А-6-20		

Установлено, что при производстве всех видов хризотилсодержащих материалов и изделий на качество продукции влияет характеристика и свойства портландцемента, длина хризотилвых волокон и их насыщенность мелкодисперсной пылью. Особенно это относится к затвердевшей цементной матрице хризотилцемента.

До 90-ых годов прошлого столетия, когда товарный асбест подразделялся на сорта в зависимости от степени сохранности агрегатов (распушки), использовался еще один показатель асбеста – текстура. Волокна асбеста разных сортов имеют разные степени сохранности их агрегатов, т.е. разную текстуру, и делятся на следующие типы сортов: жесткая (Ж) – в ней преобладают иголки разной толщины, в основном недеформированные, игольчатые, сохранившие между собой связь и параллельно расположенные в раздавленных пучках; полужесткая (П) – с равным количеством иголок и распушенного волокна и мягкая (М) – с наибольшим количеством распушенного и очень малым количеством игольчатого волокна. Для каждой текстуры указывается средняя длина волокон и степень засоренности их пылью и галей. С девяностых годов прошлого столетия этот показатель был упразднен в связи с вводом показателя группы и марочности хризотил-асбеста на горно-обогатительных предприятиях стран СНГ.

Схемы обогащения хризотила на фабриках СНГ направлены на извлечение из руды максимально большего количества хризотилвых волокон с сохранением их текстуры и длины.

Сегодня в России и странах СНГ работают в производстве хризотилцементных листов и труб следующие предприятия (табл. 3).

Из указанного перечня в таблице 3 многие заводы производят напорные и безнапорные хризотилцементные муфты и трубы длиной от 2950 до 5950 мм, с проходным сечением 100-500 мм, толщиной стенки от 9 до 34 мм и весом трубы от 24 до 500 кг.

Безнапорные хризотилцементные трубы производятся следующими марками: обычные по толщине стенки трубы БНТ и тонкостенные с маркировкой БНТТ. Все они должны соответствовать величине испытательного гидравлического давления 4 и более кг.см/см<sup>2</sup>, нагрузки на раздавливание – 350 и более 600 кгс.

Качественные параметры характеристик хризотилцементных труб выражены следующими показателями: температурой транспортируемых веществ до 115 °С, наружным диаметром 116-514 мм, рабочим давлением 0,3-1,6 МПа; величиной гидравлического давления при испытании на водопроницаемость от 1,2 до 5,3 МПа; нагрузкой на раздавливание от 800 до 3900 кгс.

Для безнапорных хризотилцементных труб (диаметром 100 и 150 мм) минимальная нагрузка на изгиб составляет 180 и более 400 кгс, а для напорных хризотилцементных труб он выше и составляет 400 и более 1220 кгс. Напорные трубы и муфты производятся как для водопроводов, так и для теплопроводов. Показатель теплопроводности для напорных хризотилцементных труб (0,8 ккал/м\*ч\*град) существенно – в 60 и более раз ниже, чем у стальных. Срок службы у хризотилцементных труб намного выше – 35 и более лет, чем у стальных (6-8 лет) и суще-

ственно (в 2-4 раза) ниже их стоимость, чем у стальных и полимерных труб.

Хризотилцементные трубы более устойчивы к внешним воздействиям по сравнению со стальными. Они не подвержены гниению, развитию бактерии и грибов, защищены от коррозии, не проводят электрический ток, на них отсутствует конденсат при движении холодной воды, низкий коэффициент температурного удлинения. Также они устойчивы к щелочной и слабокислой среде, не требуют спаечных и сварочных работ при монтаже. Не теряют свою функциональность при давлениях до 58 атмосфер и температурных показателях выше +200 °С. Внутренняя поверхность напорных хризотилцементных труб не «зарастает» различными транспортируемыми продуктами, что позволяет избежать дополнительного гидравлического сопротивления [9].

Шиферные листы изготавливаются по ГОСТу 30340-2012: листы плоские – ЛП, непрессованные – НП и прессованные П. Также выпускаются волнистые листы с обозначением: ВО – волновой обыкновенный с размером 1200 x 680 мм, имеет две основные марки – 40/150 и 54/200, с профилем листов 40/150 и 54/200. В них первые цифры 40 и 54 обозначают высоту волны, а вторые цифры – шаг волны (S) – 150 мм. Выпускаются и следующие волнистые листы: УВ – унифицированный волновой с размером 1750 x 112 мм и ВУ – волновой усиленный с размером 2400 x 1000 мм. Выпускаются листы серые неокрашенные и окрашенные. Для кровель с углом наклона не менее 12 град. применяют волновой шифер. В зависимости от сечения лист шифера может иметь вес 20-27 кг.

Важные показатели качества для производства хризотилцементных листов (прессованных и непрессованных) плоских и волновых, окрашенных и не окрашенных является морозостойкость, количество циклов на замораживание/оттаивание -F25 и выше по заказу, прочность на изгиб – 16-19 мПа, плотность листа – 1,6-1,7 г/см<sup>3</sup>, ударная вязкость – 1,5-1,6 кДж/м<sup>2</sup>, водонепроницаемость – не менее 24 часов, сосредоточенная штамповая нагрузка – 150-220 кгс, испытательная планочная нагрузка – не менее 300 кгс, остаточная прочность – не менее 90%. Электрическая прочность 2 кВ/мм, дугостойкость при токе 20 МА равна 30 С°. В связи со всем сказанным выше, шифер (хризотилцементный лист) надежно адаптирован для всех климатических зон. Он также в несколько раз дешевле металла, черепицы и остальных материалов. Все это свидетельствует в пользу этого материала.

Присутствие в цементной матрице армирующих хризотилвых волокон делает хризотилцемент композиционным материалом. Совместная работа затвердевшего цементного камня, армированного высокодеформативными и прочными хризотил-асбестовыми волокнами, резко повышает его сопротивляемость растягивающим и ударным нагрузкам, придает готовым изделиям из хризотилцемента ценные строительные свойства: малую толщину, легкость, прочность, огнестойкость, морозостойкость, устойчивость к коррозии и гниению и в результате долговечность.

Структура хризотилцементных изделий со средним содержанием в нем компонентов представлена на рисунке 3.

Таблица 3

*Заводы России и стран СНГ по производству хризотилцементных труб и хризотилцементных листов (шифера) в 2022 г.*

Table 3

*Plants of Russia and the CIS countries for the production of chrysotile cement pipes and slate in 2022*

Кестме 3

*2022 жылы хризотилцемент құбырлары мен шифер шығаратын Ресей және ТМД елдерінің зауыттары*

№№	Название страны, населенного пункта, где расположено предприятие	Название предприятия, компании
	Россия	
1	Мордовия, Чамзинский р-н, р.п. Комсомольский	«ЛАТО», Мордовия ОАО «Оренбургские минералы»
2	г. Рязань, ул. Прижелезнодорожная, 26	«Фибратек»; ОАО «Оренбургские Минералы»
3	г. Фокино Брянская область	ООО «Брянский Фиброцементный Завод» («БФЗ»); группа компаний VF Tech-ПАО «Ураласбест»
4	г. Стерлитамак Республика, Башкортостан	ООО «Стерлитамакский фиброцементный завод» («СФЗ»); группа компаний VF Tech-ПАО «Ураласбест»
5	г. Белгород	«БЕЛАЦИ»; ПАО «Белгородасбестоцемент» группа компаний VF Tech-ПАО «Ураласбест»
6	г. Крымск, Краснодарский край, Крымский р-н	ООО «Черноморский фиброцементный завод» («ЧФЗ») группа компаний VF Tech-ПАО «Ураласбест»
7	г. Красноярск	ООО «Комбинат «Волна»
8	г. Сухой Лог, Свердловская обл.	Народное Предприятие Знамя» (ЗАО НП «Знамя»); («Сухоложскасбестоцемент»)
9	г. Михайловка, Волгоградская область	ОАО «Себряковский комбинат асбестоцементных изделий» («СКАИ»)
10	Республика Бурятия, Кабанский район, пос. Каменск	Тимлюйский шиферный завод
11	г. Новороссийск	«Шиферник». Новороссийское предприятие
12	г. Новоульяновск, Мордовия	ООО «Новоульяновский шиферный завод»
	Страны Независимых Государств	
13	Казахстан, г. Шымкент	«Шымкентский шиферный завод», ТОО «Tectum Engineering» (АО «Костанайские минералы»)
14	Казахстан, г. Семипалатинск	«Семипалатинский асбестоцементныйизделий», ТОО «Семей Курылыс Материалдары» (АО «Костанайские минералы»)
15	Украина, г. Запорожье	ООО «Завод «Днепровская волна» (ОАО «Запорожский завод асбестоцементных изделий»)
16	Украина, г. Ивано-Франковск	ПАО «Ивано-Франковский асбестоцементный завод»
17	Украина, Донецкая область, г. Краматорск	Краматорский Шиферный Завод
18	Узбекистан, г. Ахангаран Ташкентской обл.	«Ахангараншифер»
19	Узбекистан, г. Самарканд	«Shifer Zavod»
20	Беларусь, Могилевская область, Кричевский район, Краснобудский с/с	«КМБ-Восток», ОАО «Кричевцементношифер»
21	Таджикистан, г. Бохтар, Хатлонской обл.	«Бохтар шифер»
22	Кыргызстан, г. Кызыл-Кия	«Кант-ТШП»
23	Кыргызстан, Чуйская область, г. Кант, ВПЗ	ОсОО «Кант Курулуш»
и другие предприятия отрасли...		



**Рис. 3. Средний состав хризотилцемента.**  
**Сурет 3. Хризотилцементтің орташа құрамы.**  
**Figure 3. Average composition of chrysotile cement.**

### Результаты и их обсуждение

Производство хризотилцементных изделий зависит от количества применяемой воды и подразделяется на три вида: мокрый, полусухой и сухой. Также распушка хризотил-волокон на хризотилцементных заводах может быть сухой, мокрой и комбинированной.

Хризотилцементные изделия на всех территориях России и бывших республиках СССР, входящих в СНГ, изготавливаются преимущественно традиционным мокрым способом на листоформовочных и трубоформовочных машинах. При мокром методе производства формования среднее содержание в хризотилцементной суспензии хризотила и цемента составляет 8-16%, а воды – 84-92%.

Производство хризотилцементных изделий, связанных с водой, показано на рисунке 4 и состоит из основных этапов: приготовления шихты из хризотила определенных групп и марок для требуемой смеси; производства определенного хризотилцементного изделия, гидрораспушки хризотилового волокна (осуществляемого в два этапа: обминание (раздавливание) пучков хризотил-волокон в бегунах и расщепление размятых пучков на отдельные волокна в голлендерах или гидропушителях); смешения волокон хризотила с цементом и водой, формование изделий и их твердение, механическая обработка. Основные компоненты для производства хризотилцементных изделий – это портландцемент, хризотил-асбест, вода.

Кроме этих трех компонентов, применяются на хризотилцементных предприятиях в мире еще добавочные материалы: пластификаторы, модификаторы, полимеры, уплотняющие добавки, гидрофобизаторы, пигменты (для придания изделию определенной окраски), целлюлоза, зола и др. Важно помнить, что добавлять вещества необходимо с учетом не уменьшения фильтруемости хризотило-суспензии на стадии формования наката, а, наоборот, с учетом его увеличения. Правильно подобранные добавки к цементу не только экономят портландцемент при производстве хризотилцементных изделий, где доля его в смеси значительная, но и позволяют не уменьшать прочность хризотилцементных изделий, а где-то их увеличивать.

Процесс производства хризотилцементных изделий мокрым способом из хризотилцементной суспензии: мешки с хризотил-асбестом по 50 кг (40 кг) согласно группе и марки поступают с интервалом 0,5-1,0 метра друг от друга на ленточный транспортер. С транспортера мешки с хризотилом идут в растарачную машину для растаривания, где дисковыми ножами они вскрываются. Освобожденные мешки захватывающим устройством удаляются в накопитель, а брикеты с хризотиловым волокном направляют в вертикальный разрыхлитель с колосниковой решеткой, где хризотил подвергается механическому воздействию. Разрыхленный хризотил с помощью трубчатого шнека попадает в расходный бункер с дозатором. Затем с буккера подается хризотил на первую стадию распушки в бегуны (для эффективной работы бегунов массу одной порции желательно иметь не более 400 кг, т.к. производительность бегунов – 500 кг/час), куда и подается вода для увлажнения хризотила до 30%. Затем все обрабатывается в течение 12-20 минут (1 минута на 10 кг хризотила). Небольшое количество воды в пучках волокон под давлением катков способствует ослаблению связи между волокнами хризотила и отделяет их друг от друга. Истирающее действие катков нарушает взаимное расположение волокон по отношению друг к другу. Также в бегунах происходит перемешивание разделенных волокон между собой. Бегуны представляют из себя два тяжелых катка, изготовленных из чугуна или гранита, совершающих круговые движения в чаше. Распушка хризотил-волокон на хризотилцементных заводах, где применяется мокрый способ формования в России и странах СНГ, в большинстве случаев двухстадийный. На обеих стадиях хризотил увлажняется.

Низкие группы хризотила (6-7-ой группы) содержат много гали и пыли. Их присутствие вредно сказывается на технологическом процессе производства изделий. При распушке волокон хризотил-асбеста в бегунах острые грани гали и более мелкие частицы пород укорачивают хризотил-волокна данной смеси. В результате их длина иногда становится короче 1 мм. Уменьшается и их удельная поверхность по сравнению с распушенными волокнами хризотил-асбеста. Практика показала, что в введенных смесях с увеличенным содержанием коротких волокон хризотил-асбеста 6 и 7 групп уменьшаются армирующие свойства введенной порции асбеста. Все это ведет к снижению качества изделий с этими смесями. Кроме того, волокна больше осаждаются на дне голлендеров, мешалок, особенно в ваннах сетчатых цилиндров формовочных машин. Увеличивается унос хризотила через сеточную часть. Возникает необходимость более частых остановок оборудования для чистки.

Первый этап распушки хризотил-асбеста является наиболее щадящим для распушки хризотил-волокон, так как подается увлажненный водой хризотил.

Для придания эластичности хризотил-волокнам и снижения их хрупкости, повреждения (укорачивания) волокна увлажняются осветленной рекуперационной водой до 30-50%. Соотношения твердого к жидкому Ж/Т = 1/5. Хризотил-волокна насыщаются в течение 3-5 дней водой и увеличиваются в объеме в смесителях, затем подаются в бегуны, где хорошо увлажненные пучки

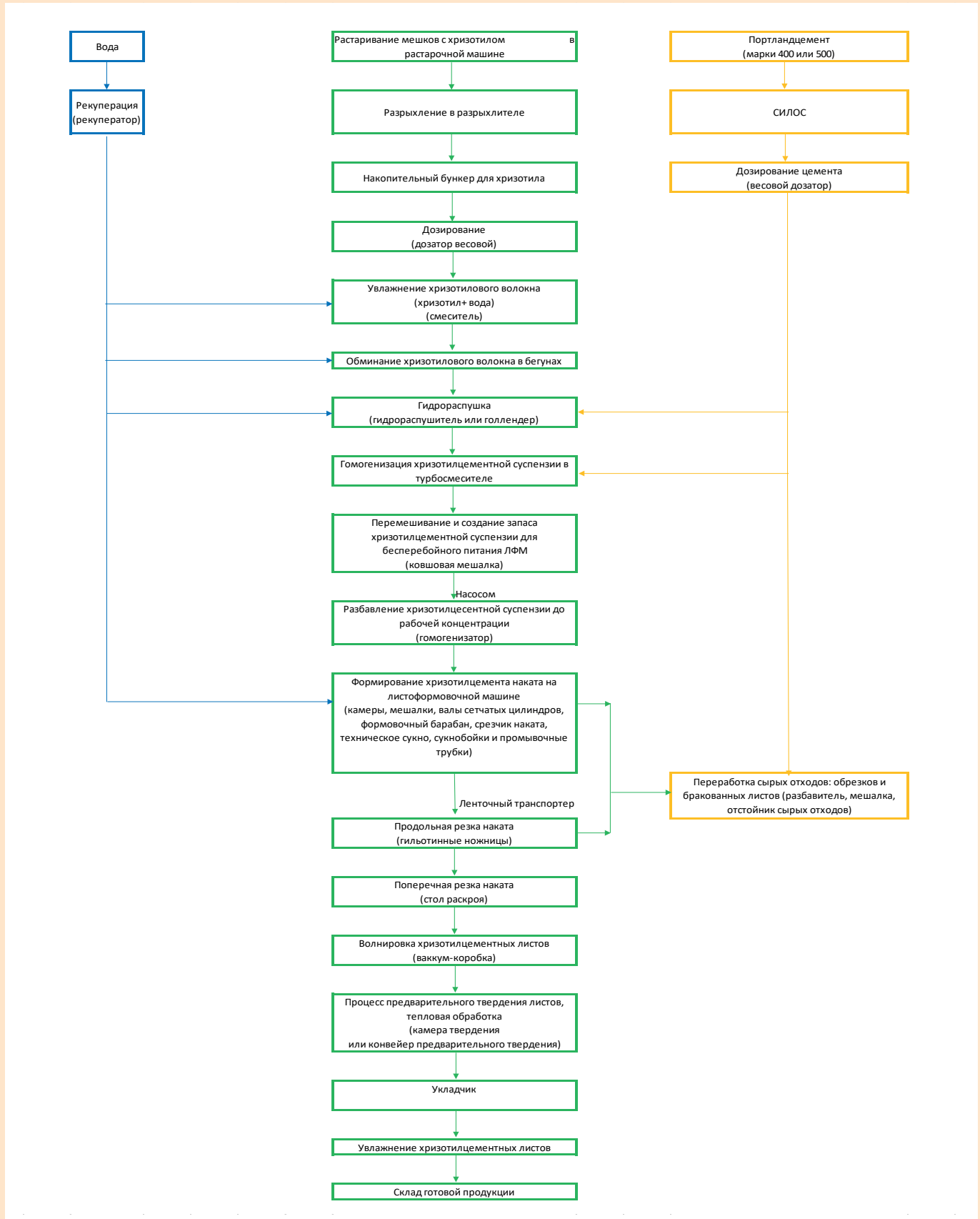


Рис. 4. Производство хризотилцементных изделий (волнистый шифер).

Figure 4. Production of chrysotile cement products (wavy slate).

Сурет 4. Хризотилцемент бұйымдарын өндіру (толқынды шифер).



хризотилковых волокон обминаются вращающимися тяжелыми катками (валами). Этот способ используется на хризотилцементных заводах в Бразилии и способствует увеличению сопротивления излому хризотилового волокна при обработке на бегунах. Вследствие чего волокна хризотила хорошо и легче распушиваются в бегунах. Распушка хризотил-асбеста в бегунах повышает сорбционную способность волокон и достигает на первом этапе подготовки 30-32%.

Надо отметить, что все больше получает распространение применение валковой машины для обминания хризотила вместо бегунов. Она позволяет непрерывным потоком производить данную операцию с хорошими показателями предварительной распушки.

Далее по процессу хризотиловая суспензия насосом перекачивается в гидрораспушитель или во вращающийся барабан голлендера, где на волокна хризотила оказывают интенсивное воздействие вращающиеся водяные потоки. Это второй этап (окончательный) гидрораспушки в течение 6-8 минут хризотилковых волокон с большей подачей воды. Распушка хризотила должна быть не менее 80-95%. При процессе распушки хризотил-асбест расщепляется на тонкие волокна, образуя в своей массе армирующую сетку, что позволяет удерживать и закреплять частички цементного камня на своей поверхности, обеспечивая тем самым высокую прочность хризотилцементным изделиям.

Необходимо отметить, что вода прямочная или оборотная (рекуперационная), используемая для всех технологических операций производства хризотилцемента (распушки хризотила, промывочных работ и т.д.), не должна содержать глинистых примесей, органических веществ, минеральных солей, продуктов разложения. Температура воды, применяемая в технологическом цикле, должна составлять от +30 °С до +40 °С. Рекуперационную воду для технологии отбирают из нижней части рекуператоров. Используемая рекуперационная вода для технологии должна содержать взвешенные вещества не более 100 мг/л и иметь рН не менее 8,5, то есть щелочную среду.

После гидрораспушки в гидрораспушителе происходит смешивание перекачиваемой насосом хризотиловой суспензии с портландцементом от 650 до 800 кг марки 400 или 500 в турбосмесителе или голлендере. Затем в целях создания гомогенности и запаса для бесперебойного питания листоформовочных (трубоформовочных) машин и перемешивания подают хризотилцементную суспензию и осветленную рекуператорами воду до требуемой концентрации в ковшовую мешалку. В начале гидратации основных клинкерных минералов с целью исключения ухудшения фильтрационных и формовочных свойств в гомогенизаторе полуфабрикат находится не дольше 30 минут.

Хризотилцементная масса сравнительно быстро, за 8-10 минут приобретает достаточную однородность, так как мельчайшие зерна цемента, несущие на поверхности высокий отрицательный электростатический заряд, быстро контактируют с развитой поверхностью тонковолокнистого хризотил-асбеста и прочно удерживаются на ней. Имеется также высокий, но положительный заряд в водной и щелочной среде. Именно в этих операциях происходит процесс адгезии цемента с хризотиловым волокном. Для получе-

ния текучести хризотилцементной суспензии необходимо на одну массовую часть сухой хризотилцементной смеси добавлять не менее четырех или пяти массовых частей воды. Разубоживание хризотилцементной суспензии устанавливается расчетом технолога в зависимости от применяемых групп и марок хризотила, марки портландцемента в смеси.

Из ковшовой мешалки с помощью дозатора готовая хризотилцементная масса с добавлением воды до содержания ее в хризотилцементной суспензии 86-97% (или 40-45%) и сухого вещества (с содержанием в нем хризотила 15% и портландцемент 85%) от 3 до 14% (или 55-60%) отправляется по желобу в три или четыре металлические ванны, внутри которых находятся лопастные мешалки для перемешивания поступающей суспензии и три или четыре вала кругло-сетчатых цилиндров листоформовочной машины. Также в желоб из нижней части рекуператора непрерывно поступает рекуперационная вода. Всем этим поддерживается должная консистенция мокрой хризотилцементной массы по концентрации твердых частиц хризотилцемента и по ее щелочности. В листоформовочной, как и в трубоформовочной машине, делается формование хризотилцементного наката (полуфабриката). Надо отметить, что из всех перечисленных процессов процесс формования является основным процессом при производстве хризотилцементных изделий, который определяет главные технологические и экономические показатели предприятия.

При процессе фильтрации влажная хризотилцементная масса отфильтровывается на круглосетчатых цилиндрах и в виде слоев хризотилцементной пленки снимается с них техническим фильтрованным бесконечным сукном (лентой), которое движется к форматному барабану листоформовочной машины. При этом на все металлические сетки вращающихся барабанов постоянно набираются из суспензий тонкие слои хризотилцемента. Они частично обезвоживаются за счет фильтрации воды сквозь сетку и за счет уплотнения на ней под влиянием гидростатического давления. Вода из барабанов отводится в рекуператоры (сгустители). Собранная в ней неунесенная сукном часть хризотилцементной массы затем возвращается в производство. А очищенная вода из рекуператоров используется для промывки сеток и сукна, а также для разжижения хризотилцементной массы. Сукно из прочных материалов, проходя над барабанами, пропускает через себя воду, формирует при разряжении в вакуум-коробке до 300 мм рт.ст. на себе пленку из цемента и волокон хризотил-асбеста и переносит обезвоженные хризотилцементные пленки на поверхность форматного барабана, навивая на его поверхность слой за слоем для формирования листа или трубы определенной толщины. При этом слои дополнительно уплотняются между вращающимися металлическими цилиндрами. После трех ступеней отжатия прессовыми валами, где создается давление первым валом прессовой части листоформовочной машины – 0,2-0,4 МПа, вторым под прессовочным валом – 10,0-12,0 МПа, третьим пресс-валом – 40,0 МПа хризотилцементная пленка содержит влагу 25%. После процесса отжатия (вакуумирования) хризотилцементная пленка набивается на форматный крутящийся барабан, образуя накат.

Образованный на данном этапе листоформовочной машины отфильтрованный до необходимой плотности хризотилцементный полуфабрикат автоматический, по достижению требуемой заданной толщины для выпускаемой продукции по сигналу толщиномера срезается срезчиком наката по образующей с форматного барабана и подается с помощью ленточного транспортера на гильотинные ножницы. После операции продольной резки, которая осуществляется с двух сторон, хризотилцементный накат направляется на стол раскроя поперечной резки. Раскрой наката производится на листы нужных размеров и форм с обрезкой кромок. Техническое сукно, имеющее замкнутый цикл работы, подвергается очистке через сукнобойки и промывочные трубки, затем направляется обратно к сетчатым цилиндрам листоформовочной машины. Далее для дополнительного уплотнения, в зависимости от выпускаемой продукции, идет процесс прессования (производство плоских прессованных хризотилцементных листов), где хризотилцементные листы укладывают пневмоукладчиком в стопы и прессуют под высоким давлением от 20 до 40 МПа на гидравлическом прессе; или же идет процесс волнирования (производство волнистых хризотилцементных листов) хризотилцементного полуфабриката (сырого наката) на вакуумном волнировщике, после которого хризотилцементный лист приобретает необходимую форму. Волнированные или плоские спрессованные хризотилцементные листы направляются на конвейер или камеру предварительного твердения. Затем пневмоукладчиком складываются в стопки и отправляются на термовлажную обработку в камеру увлажнения (пропарочную камеру) на 10-16 часов при температуре 50-60 °С и относительной влажности 90-95% или хризотилцементные трубы в бассейне с водой на 3-8 суток при температуре не ниже 20 °С. Быстрее происходит твердение хризотилцементных листов или хризотилцементных труб в автоклавах, которые используют некоторые хризотилцементные заводы в мире. Здесь происходит гидратация цемента и твердение хризотилцементных изделий. Для приобретения необходимой прочности и физико-механических свойств хризотилцементные листы или хризотилцементные трубы (муфты) помещаются в теплый склад на 5-7 суток. Окончательные декоративные характеристики готовым изделиям придают окраски, произведенные в процессе производства или после твердения хризотилцементных листов.

Практически все современные хризотилцементные заводы в мире имеют безотходное производство и систему оборотного водоснабжения (рекуперацию воды). На хризотилцементных заводах в Бразилии, России и Казахстане обрезки и брак перерабатываются и направляются снова в процесс производства.

Производство хризотилцементных труб и муфт разного диаметра реализуется на трубоформовочных машинах. Трубоформовочные машины работают по такому же принципу, как листоформовочные машины, и имеют практически такую же конструкцию (ванны, сетчатые цилиндры, вакуумобезвоживающие и для очистки сукна устройства и т.д.), но имеют некоторые отличия. Используется обычно один или два сетчатых цилиндра, помещенных в ванны (камеры) по сравнению с листоформовочной

машиной. Вместо формовочного барабана установлены съемные металлические от 3 до 6 метров скалки. Принципы формования труб те же, что хризотилцементных листов. По окончании процесса навивания хризотилцементных слоев будущей хризотилцементной трубы форматную скалку снимают и устанавливают новую. Чтобы было легче вынуть скалку из сформованной хризотилцементной трубы, ее диаметр несколько увеличивают. Для этого немного растягивают сетку у концов трубы с помощью металлических клиньев и затем развальцовывают трубу на специальном каландре. Диаметр этих металлических скалок соответствуют внутреннему диаметру формируемых хризотилцементных труб. Снятые со скалок влажные хризотилцементные трубы проходят термовлажную обработку на конвейере твердения, где они вращаются вокруг собственной оси для обеспечения цилиндрической формы. Затем торцы труб обрезаются дисковыми пилами.

Для изготовления муфт хризотилцементные напорные трубы режутся. Затем растачивают внутреннюю часть трубы для уплотнения резиновыми кольцами [10].

Важным для долгого применения хризотилцементных материалов является сохранение их эксплуатационных характеристик, в т. ч. устойчивость при короблении, при ультрафиолетовом излучении, исключение склонности к образованию высолов и долговечность окрашенной поверхности.

Из перечисленных факторов самыми важными, позволяющими существенно увеличивать объемы применения хризотилцементных изделий в строительстве, являются долгое сохранение их декоративных покрытий и исключение образования на них высолов, белого налета. Это является наиболее острым требованием и к серой продукции, и особенно к цветной (окрашенной) – именно снижение и исключение высолообразования. Сохранность начального состояния поверхности шиферного листа зависит от степени гидрофобизации поверхности хризотилцементного листа.

Из проведенных исследований научными институтами и промышленными экспериментами на хризотилцементных заводах России, Казахстана, Белоруссии и Украины с 2006 по 2022 г. по вопросам образования на поверхности хризотилцементных листов высолов сделаны выводы, что высолы – результат образования гидроксида кальция на наружных слоях хризотилцементных листов. Причина видится как следствие разности скорости гидратации свободного оксида кальция на внутренних и наружных слоях хризотилцементного листа. Экспериментами установлено, что для снижения возможности образования высолов на шифере необходимо использовать в производстве продукции портландцемент с минимальным до 1% содержанием  $CaO_{св}$  и обрабатывать сформованные хризотилцементные листы кремнийорганическими гидрофобизаторами на основе водной эмульсии силана и силоксанов.

Установлено также, что хризотилцементные материалы пронизаны большим количеством пор и капилляров. И это может обеспечивать им нежелательное избыточное водопоглощение. Для уменьшения воздействия этого фактора хризотилцементные листы обрабатывают гидрофобизаторами и полимерными красками.

При окрашивании хризотилцементных плоских и волнистых листов важно использовать краски с высокими адгезионными характеристиками, содержащие светостойкие пигменты, устойчивые к ультрафиолету, обеспечивающие хризотилцементным листам защиту от окружающей среды, повышенную водостойкость и морозостойкость. Наиболее широкое применение на хризотилцементных шиферных заводах России и СНГ с 2000-ых годов нашли краски с полимерным порошковым составом [11, 12].

**Качество хризотилового волокна.** Хризотилцементные предприятия в последние годы направляют на хризотилосы горно-обогатительные предприятия стран СНГ запросы по качеству поставляемого хризотилового волокна. Хризотилцементные листы временами имеют повышенную трещиноватость сырого формируемого листа полуфабриката и образование в нем магистральных трещин вдоль волны, а также в затвердевшей (готовой) продукции. Магистральные трещины и дальше появляются в листах вдоль волны и нетрадиционно для хризотилцементных листовых изделий поперек волны, т.е. в так называемом «сильном» направлении. Возникают они при хранении листов под нагрузкой в стопах на территории предприятия, при их транспортировке к потребителю и при монтаже на объекте.

Массовое возникновение трещин обусловлено отсутствием связи между хризотил-асбестовым волокном и портландцементом, и может зависеть от многих причин. Это может возникать при неожиданно резком изменении свойств цемента в хризотилцементной матрице, при экономии цемента, замене привычной смеси хризотила на другую, прежде всего, обедненную фракциями с длинными волокнами, при нарушении режимов распушки хризотила и пропорции добавок при производстве хризотилцементных изделий. Также при неравномерном увлажнении, замораживании и оттаивании листов, особенно в стопах, при хранении стоп под осадками, при резких перепадах температур и при резких возникновениях больших нагрузок на листы, на их стопы, при хранении, транспортировке, эксплуатации. Но из практики хризотилцементных предприятий известно, что почти все эти факторы имели место в той или иной степени ранее. И в то же время такое массовое появление трещин в листах, причем, практически на многих предприятиях, раньше не отмечалось. Технологи по производству хризотилцемента вынуждены рассматривать это как возможное следствие изменения главного фактора, определяющего условия взаимодействия хризотила и цемента при создании и изменении хризотилцементной матрицы фракционного состава поставляемого хризотила.

Поэтому сегодня представляется необходимым проанализировать параллельно ситуации с возможной неоднородностью поставляемых хризотил-асбеста и цемента, применяемых добавок как следствие отклонения их составов от нормативных.

В то же время есть определенные трудности в проверке связи сбоев в хризотилцементной технологии, связанных с увеличением в продукции числа трещин, в т. ч. магистральных и в обоих направлениях, «слабом» и «сильном», с качеством поставляемого на предприятия хризо-

тила. С одной стороны, на абсолютном большинстве хризотилцементных предприятий нет гидроклассификаторов «Бауэр-Мак-Нетт» (либо отсутствуют, либо неисправны), а только на них можно точно определить количество и размеры хризотилосых волокон (фракционный состав) в поступивших партиях сырья. На части хризотилцементных предприятий также отсутствуют пневмоклассификаторы ПК-2А для контроля сырья сухим методом. В результате пределы колебания свойств хризотилосых волокон и, соответственно, степени однородности хризотилового сырья от партии к партии продукции потребителям хризотил-асбеста неизвестны. Синхронный контроль качества хризотил-асбеста, подготовленного к применению в производстве хризотилцементных изделий, отсутствует в лабораториях горнодобывающих предприятий. В связи с этим специалисты обеих отраслей хризотил-асбестовых и хризотилцементных предприятий не имеют точных коэффициентов сопоставимости показателей состава примененного хризотила со свойствами полученного хризотилцемента и могут ориентироваться только на сведения сопроводительной документации к партии сырья. Все это не позволяет установить связь технологических сбоев в хризотилцементной технологии с качеством использованной партии хризотила. Необходимо найти нужный механизм связи между этими ситуациями для правильного диалога отраслей. Только в этом случае удастся накопить сравнительные данные по связи состава поставленного хризотил-асбеста для производства хризотилцемента с его армирующими характеристиками, всеми физико-механическими параметрами изделий в свежесформованном и в затвердевшем хризотилцементе.

Сегодня хризотилцементные предприятия в своих запросах указывают на необходимость вести на хризотил-асбестовых горно-обогатительных предприятиях усиленный контроль фракционного состава хризотилосых волокон, особенно для волокон классов (фракции): +1,18 мм и -0,075 мм, удельной поверхности волокон, их объема во влажном состоянии, а также обеспечивать однородность этих показателей в рамках партии и полное соответствие партии показателям ГОСТа или утвержденных ТУ.

Для хризотил-асбестовых горно-обогатительных предприятий стран СНГ возникла необходимость систематического определения не только содержания хризотил-асбеста на Контрольном Аппарате, но и его фракционного состава на пневматическом классификаторе «ПК-2А» или гидроклассификаторе «Бауэр-Макк-Нетт» (содержания волокон классов +1,18 мм и -0,075 мм) уже на стадии эксплуатационной разведки по аналогам зарубежных хризотил-асбестовых горно-обогатительных предприятий.

Исследования показали, что с увеличением удельной поверхности хризотил-асбеста улучшается его армирующая способность и становится прочнее сцепление волокон с цементным камнем, что является результатом сложных физико-химических процессов адсорбции зерен цемента с волокнами хризотила. Исходя из этого, в процессе изготовления хризотилцемента необходимо стремиться как можно больше разделить, распушить хризотилосые волокна для того, чтобы наиболее полно использовать его армирующую способность. Немаловажную роль играет для добывающих

и обогащающих хризотил-асбест предприятий России и Казахстана более полное использование волокон, остающихся на четвертом сите Контрольного Аппарата класс -1,35 мм +0,4 мм. Их использование отражается на качестве и объемах хризотила и хризотилцементных изделий, получаемых на горно-обогатительных предприятиях и хризотилцементных заводах. В ходе исследований и накопленного опыта работы на хризотилцементных заводах выявлена отрицательная роль перенасыщения в хризотил-асбесте волокнами класса -0,4+0,0 мм (то есть пыли) и особенно мелкодисперсной пыли фракции класса -0,075 мм.

Многие современные хризотилцементные заводы в мире применяют в качестве добавок к основным компонентам, образующих фиброцементные изделия, таких как хризотил и портландцемент, еще и золу, целлюлозу, полипропилен. При производстве фиброцементных изделий заводы используют золу от 15 до 30%, переработанные отходы своего производства от 2 до 3% и переработанную целлюлозу от 3 до 4%. Внедрением инновации в технологии производства плоских и гофрированных фиброцементных листов продвинулись заводы компании «Everest», «Fiber Cement Board Plant», ООО «Комбинат «Волна» и т.д.

Согласно вышеизложенному материалу, проблемы, стоящие перед хризотилцементной отраслью, в частности, для производства хризотилцементных изделий, волнистых и неволнистых кровельных листов, фасадных панелей: однородность и требуемый состав фракции хризотилитовых волокон, степень их распушки, стойкость и равномерность цвета, образование высолов, трещин на листах и панелях.

В целом для производителей хризотилитовых волокон и хризотилцементных изделий стоят общие задачи – снижение себестоимости и улучшение качества выпуска готовой продукции, расширение его ассортимента и рынков сбыта.

## Выводы

Хризотил-асбестовая отрасль в мире развивается, выдерживает кризисы и рыночную конкуренцию. Производители горного льна, как и производители хризотилцементной продукции, в последние годы оптимизируют свои

затраты и расходы на производство, логистику, снижают свои потери, модернизируют и расширяют свой ассортимент, обновляют новым и современным, улучшенным оборудованием. Заводы и фабрики совершенствуют свою технологию, постоянно расширяют ассортимент продукции, улучшают ее качество. В настоящее время в строительной массовой индустрии и в индивидуальном строительстве все больше повышается спрос на окрашенные хризотилцементные изделия (хризотилцементные листы, сайдинг), террасную доску.

В настоящей статье сделана попытка обобщить совокупные знания двух отраслей о влиянии состава хризотилитовых смесок, цемента на свойства хризотилцемента и проанализировать, произошли ли какие-либо реальные перемены в качестве поставляемого хризотилитового сырья в последние десятилетия.

Производство плоских хризотилцементных листов (шифера), напорных хризотилцементных труб требует обязательного расчета смесок хризотилцемента по содержанию фракционного состава хризотилитового волокна на лабораторном пневмокласификаторе (ПК-2А) или гидрокласификаторе «Бауэр-Мак-Нетт» (БМН). Расчеты всех вариантов двух- и трехкомпонентных хризотилцементных смесок показывают, что применение более дорогих смесок вызывает снижение фактического расхода хризотил-асбеста. И наоборот, более дешевые типовые хризотилцементные смески с низкими группами хризотил-асбеста вызывают увеличение расходного коэффициента хризотил-асбеста в смеси, что в конечном итоге приводит к удорожанию производства хризотилцементных изделий.

В отрасли последние десять лет хорошо отработаны технологии окраски шиферных изделий. Окрашенные хризотилцементные изделия, плоские и волнистые листы (шифер) имеют большую популярность в строительной отрасли стран СНГ, Средней и Юго-Восточной Азии, Африки.

Применение полимерного покрытия для хризотилцементных листов при использовании гидрофобизаторов повысит качество и долговечность хризотилцементной продукции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Комаров Ю.Т. 100-летний юбилей Брянского асбестоцементного завода. // *Строительные материалы*. 2008. №9. С. 34-35 (на русском языке)
2. Уиттакер Э.Д.В. Структура и свойства асбеста. // *Справочник по структуре текстильных волокон: натуральные, регенерированные, неорганические и специальные волокна*. 2009. С. 425-449. (на английском языке)
3. Шкаредная С.А. Асбестосодержащие изделия и строительные материалы. / С.А. Шкаредная, Т.М. Каскевич. // *Горно-геологический журнал*. 2005. №2. С. 37-39 (на русском языке)
4. Robert L. Virta. Асбест: геология, минералогия, горное дело и использование. // *Геологическая служба*. 2022. С. 28 (на английском языке)
5. Пуненков С.Е. Хризотил-асбест и ресурсосбережение в хризотил-асбестовой отрасли. / С.Е. Пуненков, Ю.С. Козлов. // *Горный журнал Казахстана*. 2022. №1. С.5-10 (на русском языке)
6. Сводные данные о минеральных товарах за 2022 год. USGS. Геологическая служба. 2022. С. 204 (на английском языке)
7. Кагановский О.С., Градобоев О.В., Плугин А.А. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: проблемы производства хризотил-цемента. // *Сб. науч. тр. Украинского государственного университета железнодорожного транспорта*. Харьков: УкрДУЗТ. 2013. Вып. 138. С. 50-47 (на украинском языке)

8. Пуненков С.Е. Современное состояние и перспектива развития хризотил-асбестовой отрасли в Бразилии. // *Строительные материалы*. 2011. № 5. С. 20-21 (на русском языке)
9. Чесноков В.С. Хризотилцементные напорные трубы: практика применения в теплотрассах. / В.С. Чесноков, В.А. Бабич. // *Строительные материалы*. 2008. №9. С. 13-15 (на русском языке)
10. Ободович О.М. Увеличения степени распушки асбестовых волокон с помощью гидромеханической обработки. / О.М. Ободович, О.М. Недбайло, О.Г. Чернишин, А.Е. Недбайло. // *Керамика: наука и жизнь*. 2021. №1 (50). С. 26-29 (на украинском языке)
11. Кухта Т.Н. Повышение долговечности полимерного покрытия асбестоцементных листов при использовании гидрофобизатора. // *Строительные материалы*. 2010. №1. С.58-60 (на русском языке)
12. Урецкая Е.А. Технологические особенности поверхностной гидрофобизации асбестоцементного шифера. / Е.А. Урецкая, Т.Н. Кухта. // *Строительная наука и техника*. 2008. №6 (21). С. 95-100 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Комаров Ю.Т. Брянск асбест-цемент зауытының 100 жылдық мерейтойы. // *Құрылыс материалдары*. 2008. №9. С. 34-35 (орыс тілінде)
2. Уиттакер Э. Д. В. Асбест құрылымы мен қасиеттері. // тоқыма талшықтарының құрылымы туралы Нұсқаулық: табиғи, қалпына келтірілген, Бейорганикалық және арнайы талшықтар. 2009. 425-449 ББ. (ағылшын тілінде)
3. Шкаредная С.А. Құрамында асбест бар бұйымдар мен құрылыс материалдары. / С.А. Шкаредная, Т.М. Каскевич. // *Тау-кен геологиялық журналы*. 2005. №2. С. 37-39 (орыс тілінде)
4. Robert L. Virta. Asbestos: geology, mineralogy, mining, and uses. // *AQSI Ішкі істер департаменті АҚШ Геологиялық қызметі*. 2022. Б. 28 (ағылшын тілінде)
5. Пуненков С.Е. Хризотил-асбест және хризотил-асбест саласындағы ресурс үнемдеу. / С.Е. Пуненков, Ю.С.Козлов. // *Қазақстанның тау-кен журналы*. 2022. №1. Б. 5-10 (орыс тілінде)
6. 2022 жылғы минералдық шикізаттың қорытындылары. USGS. АҚШ Геологиялық қызмет, Рестон, Вирджиния. АҚШ. 2022. Б. 204 (ағылшын тілінде)
7. Кагановский О.С., Градобоев О.В., Плугин А.А. Минералдық және синтетикалық талшықтар негізіндегі тиімділігі жоғары композициялық материалдар: хризотил-цемент өндірісінің проблемалары. // *Украина мемлекеттік темір жол көлігі университетінің ғылыми еңбектер жинағы*. Харьков: УкрДУЗТ. 2013. Шығ. 138. Б. 50-47 (украин тілінде)
8. Пуненков С.Е. Бразилиядағы хризотил-асбест саласының қазіргі жай-күйі және даму перспективасы. // *Құрылыс материалдары*. 2011. №5. Б. 20-21 (орыс тілінде)
9. Чесноков В.С. Хризотилцементтік қысымды құбырлар: жылу трассаларында қолдану практикасы. / В.С. Чесноков, В.А. Бабич. // *Құрылыс материалдары*. 2008. №9. Б. 13-15 (орыс тілінде)
10. Ободович О.М. Гидромеханикалық өңдеу көмегі үшін азбест талшықтарын таратудың интенсификациясы. / О.М. Ободович, О.М. Недбайло, О.Г. Чернишин, А.Е. Недбайло. // *Керамика: ғылым және өмір*. 2021. №1 (50). Б. 26-29 (украин тілінде)
11. Кухта Т.Н. Гидрофобизаторды пайдалану кезінде асбест-цемент табақтарының полимерлік жабынының ұзақтығын арттыру. // *Құрылыс материалдары*. 2010. №1. Б. 58-60 (орыс тілінде)
12. Урецкая Е.А. Асбестоцемент шиферінің үстіңгі қабатын гидрофобизациялаудың технологиялық ерекшеліктері. / Е.А. Урецкая, Т.Н. Кухта. // *Құрылыс ғылымы және техникасы*. 2008. №6 (21). Б. 95-100 (орыс тілінде)

#### REFERENCES

1. Komarov Yu.T. 100-letnii yubilei Bryanskogo asbestotsementnogo zavoda. // *Stroitel'nye materialy*. 2008. №9. S. 34-35 [Komarov Yu.T. 100th anniversary of the Bryansk asbestos cement plant. // *Construction materials*. 2008. №9. P. 34-35] (in Russian)
2. Whittaker E.J.W. Structure and properties of asbestos // *Handbook of Textile Fibre Structure Natural, Regenerated, Inorganic and Specialist Fibres Volume 2 in Woodhead Publishing Series in Textiles*. 2009. P. 425-449. (in English)
3. Shkarednaya S.A. Asbestosoderzhashchie izdeliya i stroitel'nye materialy. / S.A. Shkarednaya, T.M. Kaskevich. // *Gorno-geologicheskii zhurnal*. 2005. №2. S. 37-39 [Skarednaya S.A. Asbestos-containing products and building materials. / S.A. Skarednaya, T.M. Kaskevich. // *Mining and geological journal*. 2005. №2. P. 37-39] (in Russian)
4. Robert L. Virta. Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses. // U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. Eng. 2022. P. 28 (in English)
5. Punenkov S.E. Khrizotil-asbest i resursoberezhenie v khrizotil-asbestovoi otrasli. / S.E. Punenkov, Yu.S. Kozlov. // *Gornyi zhurnal Kazakhstana*. 2022. №1. S.5-10 [Punenkov S.E. Khrizotil-asbestos and

- resource saving in the chrysotile-asbestos industry. / S.E. Punenkov, Yu.S. Kozlov. // *Mining Journal of Kazakhstan*. 2022. №1. P. 5-10] (in Russian)
6. *Mineral Commodity Summaries 2022*. USGS. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. USA. 2022. P. 204 (in English)
  7. Kaganovskii O.S., Gradoboev O.V., Plugin A.A. *Vysokoeffektivnyye kompozitsionnye materialy na osnove mineral'nykh i sinteticheskikh volokon: problemy proizvodstva khrizotil-tsementa*. // *Sb. nauch. tr. Ukrainskogo gosudarstvennogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta*. Khar'kov: UkrDUZT. 2013. Vyp. 138. S. 50-47 [Kaganovsky O.S., Gradoboev O.V., Plugin A.A. *Highly effective composites based on mineral and synthetic fibers: problems of chrysotile cement production*. // *Sat. scientific. tr. Ukrainian State University of Railway Transport*. Kharkov: UkrDUZT. 2013. Vol. 138. P. 50-47] (in Ukrainian)
  8. Punenkov S.E. *Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya khrizotil-asbestovoi otrasli v Brazii*. // *Stroitel'nye materialy*. 2011. №5. S. 20-21 [Punenkov S.E. *Current state and prospect of development of chrysotile-asbestos industry in Brazil*. // *Construction materials*. 2011. №5. P. 20-21] (in Russian)
  9. Chesnokov V.S. *Khrizotiltsementnye napornye truby: praktika primeneniya v teplotrassakh*. / V.S. Chesnokov, V.A. Babich. // *Stroitel'nye materialy*. 2008. №9. S. 13-15 [Chesnokov V.S. *Chrysotile cement pressure pipes: practice of use in heating mains*. / V.S. Chesnokov, V.A. Babich. // *Construction materials*. 2008. №9. P. 13-15] (in Russian)
  10. Obodovich O.M. *Uvelicheniya stepeni raspushki asbestovykh volokon s pomoshch'yu gidromekhanicheskoi obrabotki*. / O.M. Obodovich, O.M. Nedbailo, O.G. Chernishin, A.E. Nedbailo. // *Keramika: nauka i zhizn'*. 2021. №1 (50). S. 26-29 [Obodovich O.M. *Increasing the degree of spreading of asbestos fibers using hydromechanical processing*. / O.M. Obodovich, O.M. Nedbailo, O.G. Chernishin, A.E. Nedbailo. // *Ceramics: science and life*. 2021. №1 (50). P. 26-29] (in Ukrainian)
  11. Kukhta T.N. *Povyshenie dolgovechnosti polimernogo pokrytiya asbestotsementnykh listov pri ispol'zovanii gidrofobizatora*. // *Stroitel'nye materialy*. 2010. №1. S.58-60 [Kukhta T.N. *Increasing the durability of the polymer coating of asbestos-cement sheets when using a hydrophobizator*. // *Construction materials*. 2010. №1. P. 58-60] (in Russian)
  12. Uretskaya E.A. *Tekhnologicheskie osobennosti poverkhnostnoi gidrofobizatsii asbestotsementnogo shifera*. / E.A. Uretskaya, T.N. Kukhta. // *Stroitel'naya nauka i tekhnika*. 2008. №6 (21). S. 95-100 [Uretskaya E.A. *Technological features of surface hydrophobization of asbestos cement slate*. / E.A. Uretskaya, T.N. Kukhta. // *Construction science and technology*. 2008. №6 (21). P. 95-100] (in Russian)

**Информация об авторах:**

**Пуненков С.Е.**, канд. техн. наук, главный технолог ПАО «Ураласбест», заведующий базовой кафедрой «Обогащения полезных ископаемых», Уральский Государственный Горный Университет (г. Екатеринбург, Россия), [ore-dressing@control.uralasbest.ru](mailto:ore-dressing@control.uralasbest.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4034-3457>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Пуненков С.Е.**, Орал Мемлекеттік Тау-кен Университеті, «Пайдалы қазбаларды байыту» базалық кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының кандидаты (Екатеринбург қ., Ресей)

**Information about the authors:**

**Punenkov S.E.**, Ural State Mining University, Head of the Basic Department of Mineral Enrichment, Candidate of Technical Sciences (Yekaterinburg, Russia)