

ПОЛУЧЕНИЕ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРИЗОТИЛА – ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Сергей Евгеньевич Пуненков

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия;

ПАО «Ураласбест», Асбест, Россия

PRODUCTION OF FIBRE CEMENT PRODUCTS USING CHRYSOTILE - CHRYSOTILE CEMENT INDUSTRY

Sergey Evgenievich Punenkov

Urals State Mining University, Yekaterinburg, Russia;

PJSC "Uralasbest," Asbest, Russia: ore-dressing@control.uralasbest.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4034-3457>

Abstract. The article discusses the technology of production, the problems of the development of chrysotile and chrysotile cement industries in the countries of independent states. 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 countries of independent states on the quality of the supplied chrysotile fibers in connection with the apparent violations of the physical and mechanical properties of the slate products are considered.

Keywords: chrysotile fibers, fluff, portland cement, reinforcement, pigments, hydrophobizator, chrysotile cement products, main cracks, seedlings, risks, market.

© 2024 Azerbaijan Technical University. All rights reserved.

Введение

Создание шиферных – хризотилцементных изделий в конце 19-го – в начале 20-го столетий можно назвать важным событием в мировой инженерной практике в связи тем, что этот простой двухкомпонентный материал имеет длительное время эксплуатации. Образцы первого шифера стоят в костеле австрийского г. Феклабрук с 1901 года до сих пор без повреждения. Большим достоинством шиферных изделий, прежде всего – листов и труб, являются их биостойкость, безопасность и долговечность. В XXI веке хризотилцементные изделия, в том числе шифер, сайдинг и другие асбоцементные изделия являются важными и незаменимыми с точки зрения экономичности, термостойкости, пожаробезопасности материалом для строительной индустрии. Срок службы хризотилцементных листов как кровельного материала в зависимости от условия эксплуатации – более 50 лет. В России первые шиферные изделия были изготовлены в виде лёгкой асбестоцементной кровельной черепицы на заводе «Террофазерит» в 1908 году в г. Брянске [1].

Материалы и методы

Хризотил относится к одному из весьма широко распространённых в природе видов асбеста, к группе серпентинитов. Содержание воды в асбесте группы серпентина - хризотила составляет 13-14,5%. Именно хризотил-асбест наиболее широко применяется для изготовления различных материалов. В связи с этим его добыча в мире составляет более 98% от общемирового производства асбестов [2].

В целом для производителей хризотиловых волокон и хризотилцементных изделий общие стоят задачи. Это снижения себестоимости и улучшения качества выпуска готовой продукции, расширения его ассортимента и рынков сбыта.

Твердость сырьевого минерала хризотил-асбеста по шкале Мооса равна 2,5-3,5, его плотность 2,4–2,6 г/см³. Молекулярная масса хризотила: 277,11 г/моль. Прочность хризотиловых

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°C, а их эластичность и прочность сохраняются до температуры 700°C.

Хризотилковый асбест по химическому составу это водный силикат магния (гидросиликат магния) - $3\text{MgO} - 2\text{SiO}_2 - 2\text{H}_2\text{O}$. Он может содержать примеси Fe_2O_3 , FeO , Cr_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 хризотиле волокне изоморфно замещает MgO . Другая количественная часть железа связано 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 , содержание конституционной воды и т.д. Известны три вида хризотила: клинохризотил (clinochrysotile), ортохризотил (orthochrysotile) и парахризотил (parachrysotile). На рис. 1 дана химической структуры хризотил-асбеста.

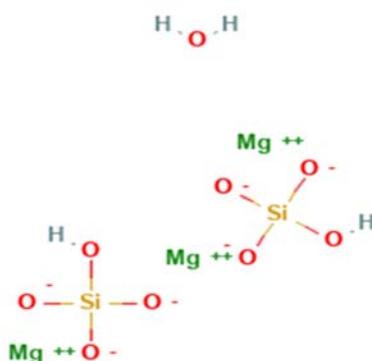


Рис. 1. Химическая (молекулярная) структура хризотил-асбеста

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

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

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

	Окислы	Месторождения Россия и Казахстана		
		Баженовское	Джетыгаринское	Киёмбаевское
1	SiO_2	42,1	44,4	44,69
2	MgO	41,99	39,33	39,86
3	Al_2O_3	0,53	0,84	0,3
4	Fe_2O_3	1,3	1,88	1,54
5	FeO	0,24	0,49	0,42
6	CaO	0,03	Следы	следы
7	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	Следы	Следы	следы
8	$\text{H}_2\text{O} + 105^\circ$ (хим. связ).	12,99	12,03	12,02
9	$\text{H}_2\text{O} - 105^\circ$ (адсорбционная)	1,42	0,8	0,7

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 – Киёмбаевское (ОАО "Оренбургские Минералы"), а в Казахстане – Джетыгаринское (АО «Костанайские Минералы»). Они производят 79,0% всего хризотил-асбеста в мире, представлено на рис. 2.

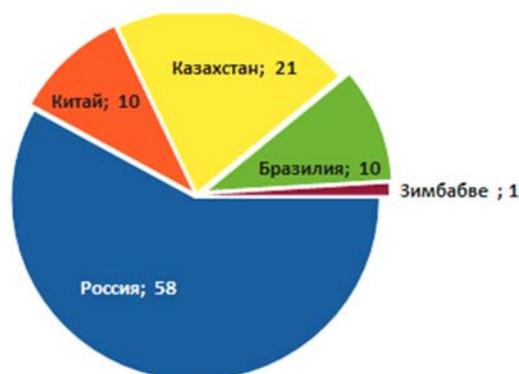


Рис. 2. Динамика мирового производства хризотил-асбеста в 2021г.

Годовой объем производства хризотил-асбеста в России в 2023 г. составил 598 тыс. тонн, потребление его в России от этого объема менее 30% и более 70% произведенного хризотилового волокна поставляется в страны СНГ и в дальнее зарубежье. В основном поставка российского хризотил-асбеста идет Азиатско-Тихоокеанский регион (Юго-Восточную Азию) – Индия, Китай, Индонезия, Вьетнам, Шри-Ланка, Филиппины, Бангладеш, Таиланд, Пакистан, Лаос и т. д. 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. Ежегодно в России товарной продукции из хризотила производится на сумму более 150 млн. долларов США, в Казахстане на сумму более 43 млн. долларов США и в США на сумму более 4 млн. долларов США [3, 4].

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 Джетыгаринского хризотила. Содержание природной и технологической воды самое высокое у хризотил-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.

В связи с различием свойств хризотил-асбеста вышеперечисленных трех месторождений несколько отличаются показатели прочности волокон. Где, прочность хризотил-асбестового волокна характеризуется модулем упругости и механической прочностью на разрыв. В связи с этим хризотил-асбестовые волокна делятся на три разновидности: нормальный – с хорошей прочностью (механическая прочность на разрыв 2800–3600 МПа), ломкий - с пониженной прочностью (механическая прочность на разрыв 1700–2200 МПа), полулломкий и продольный средней прочности (механическая прочность на разрыв 2200–2800 МПа). 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 хризотилых 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 многочисленные и высокие эксплуатационные свойства. Это показатели: статическая и динамическая прочность, трещиностойкость, пожаробезопасность и долговечность, морозостойкость, тепло- и звукозащитность, кислото – и щелочестойкость, электроизоляционные и диэлектрические свойства. Изделия с хризотилыми волокнами также имеют и ряд других полезных свойств: бактерицидность, нетоксичность, защиту от радиации. Все это подтверждено мировой практикой.

При производстве хризотилцементных изделий используются два основных сырьевых компонента: хризотил-асбест и портландцемент. Основная продукция отрасли - 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 в основном применяют хризотил-асбеста 5-6 групп, для производства труб - преимущественно хризотил-асбест 3-4 групп.

Результаты и их обсуждение

Производство хризотилцементных изделий, показано на 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) хризотилых волокон в бегунах и расщепление волокна на в голлендерах или гидрораспушителях. Смешивание волокон хризотила с цементом и водой, формование изделий на листоформовочной или трубоформовочной машинах, волнировка шифера на механическом или вакуумном волнировщике и их твердение, механическая обработка.

Кроме этих трех компонентов, применяются на хризотилцементных предприятиях в мире ещё добавочные материалы: пластификаторы, модификаторы, полимеры, уплотняющие добавки, гидрофобизаторы, пигменты (для придания изделию определенной окраски), целлюлоза, зола и др. 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.

Для придания эластичности хризотилым волокнам и снижения их хрупкости, повреждения (укорачивания) волокна увлажняются осветленной рекуперационной водой до 30-50%. Соотношения твердого к жидкому Ж/Т=1/5. Хризотилые волокна насыщаются в течении 3-5 дней водой и увеличиваются в объёме в смесителях, затем подаются в бегуны, где хорошо увлажненные пучки хризотилых 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 хризотила в бегунах повышает сорбционную способность волокон. Надо отметить, что вместо бегунов для обминания хризотила все больше распространение имеют в хризотилцементной промышленности валковые машины.

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

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 [7].

Важным для долгого применения хризотилцементных материалов является сохранение эксплуатационных их 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 увеличить объемы применения хризотилцементных изделий-шифера в строительстве, являются долгое сохранение их декоративных покрытий и исключение образования на них высолов, налета белого налёта. 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 [8].

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 $\text{CaO}_{\text{св}}$ и обрабатывать сформованные хризотилцементные листы кремнийорганическими гидрофобизаторами на основе водной эмульсии силана и силоксанов.

Из проведенных исследований (рис. 3) по водопоглощению поверхности хризотилцементных плиток размером 200x150 мм обрабатывались гидрофобизатором и помещались с погружением в воду на определенный период времени (24 часа).

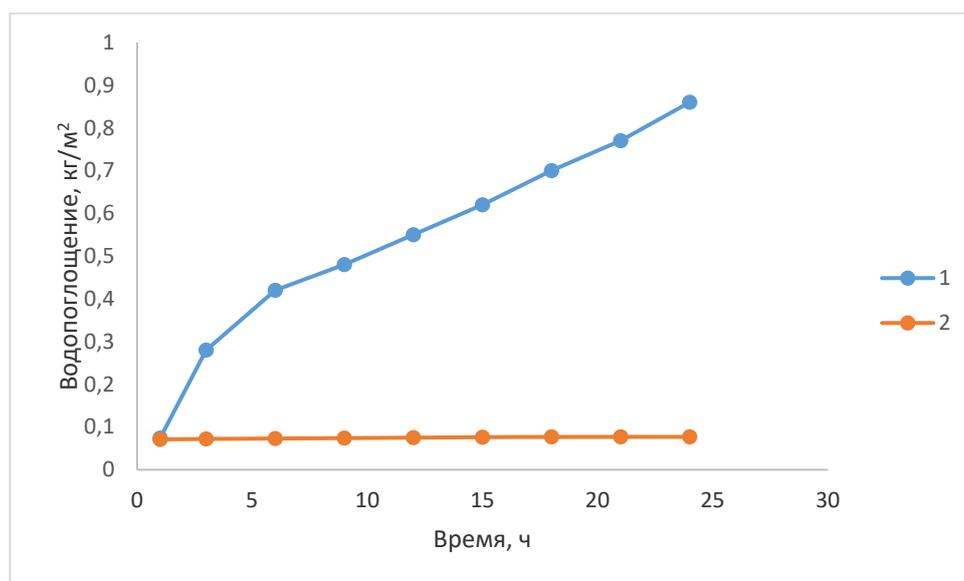


Рис. 3. График зависимости капиллярного водопоглощения усреднённых образцов хризотилцементных плиток от времени: 1 - не обработанные образцы гидрофобизатором; 2 – обработанные образцы гидрофобизатором

В результате проведенных испытаний показатель капиллярного водопоглощения обработанных гидрофобизатором хризотилцементных плиток был более в 8 раз ниже – от 0,85 до

0,074 кг/м², чем у образцов не обработанных гидрофобизатором. Это обусловлено, что гидрофобизирующие эмульсии (эмульгатор и силикон) с концентрацией 50–60 % производят эффект водоотталкивания и снижения впитывания капиллярного водопоглощения в хризотилцементных плитках. Что препятствует, переносу растворимых солей на наружную поверхность плиток, снижая тем самым образования на них высолообразования.

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 [10-12].

Качество волокна и риски

Хризотилцементные предприятия в последние годы направляют на хризотилево горнообогатительные предприятия стран СНГ запросы по качеству поставляемого хризотилового волокна. Хризотилцементные листы часто имеют повышенную трещиноватость сырого полуфабриката и образование в нем магистральных трещин вдоль волны, а также и в затвердевшей (готовой) продукции. Магистральные трещины и дальше появляются в листах вдоль волны, также поперек волны, что не характерно для хризотилцементных листовых изделий, 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 обеднённую 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 на сквознях, 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.

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 %. Согласно выше изложенному материалу, проблемы и задачи, стоящие перед хризотилцементной отраслью, в частности, для производства фиброцементных, волнистых и не волнистых кровельных листов (хризотилцементных из-

делий) и фасадных панелей: однородность и требуемый состав фракции хризотилых волокон, степень их распушки, стойкость и равномерность цвета, образование высолов, трещин на листах и панелях.

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.

Увеличения удельной поверхности хризотил-асбеста перед формованием хризотилцементного полуфабриката улучшается его армирующую способность и сцепление волокон с цементным камнем, что является результатом сложных физико-химических процессов адсорбции зерен цемента с волокнами хризотила. Немаловажную роль играет для получения хорошего качества хризотилцементных изделий и оптимальной себестоимости производства на хризотилцементных предприятиях является фракционный состав хризотил-асбеста (волокна класса: +1, 18 и -0,075 мм), поставляемый горно-обогачительными предприятиями.

Производство плоских хризотилцементных листов (шифера), напорных хризотилцементных труб требует обязательного расчета смесок хризотилцемента по содержанию фракционного состава хризотилового волокна на лабораторном пневмокласификаторе (ПК-2А) или гидрокласификаторе «Бауэр-Мак-Нетт» (БМН).

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, Южной Америки, Африки. Применение полимерного покрытия для хризотилцементных листов при использовании гидрофобизаторов повысило качество и долговечность хризотилцементной продукции, делает ее конкурентной на международном рынке.

Рынок потребления в мире и странах СНГ хризотил-асбеста и хризотилцементной продукции за последние 50 лет сильно изменился. В основном рынок сбыта сосредоточен в Азиатско-Тихоокеанском регионе и странах СНГ.

ЛИТЕРАТУРА

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., Плагин 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).

ПОЛУЧЕНИЕ ФИБРОЦЕМЕНТНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХРИЗОТИЛА – ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

С.Е. Пуненков

Резюме. В статье рассматриваются технологии производства, проблемы развития хризотиловой и хризотилцементной отраслей в странах СНГ. В статье приводятся сведения о составе и свойствах природных хризотил-волокон, данные по качеству сырьевых материалов цемента и хризотил-волокон, поставляемых на хризотилцементные предприятия, характеристики суспензии, полуфабриката и свойства затвердевших хризотилцементных изделий. Так же в данном материале статьи сделана попытка обобщить совокупные знания двух отраслей о влиянии состава хризотил-смесок, цемента на свойства хризотил-цемента и проанализировать, произошли ли какие-либо реальные перемены в качестве поставляемого хризотилового сырья в последние десятилетия. В материале отражена строительная отрасль. Массовая индустрия и в индивидуальное строительство, где все больше повышается спрос на окрашенные хризотилцементные изделия (хризотилцементные листы, сайдинг), террасную доску. Приведены рынки потребления и производства хризотилового волокна, динамика развития хризотилцементной промышленности. Описаны проблемы и риски отрасли.

Ключевые слова: хризотил-волокна, распушка, портландцемент, формование, армирование, пигменты, гидрофобизатор, хризотилцементные изделия, магистральные трещины, высолы, рынок сбыта.

Accepted: 28.03.2023