

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2026. Т. 28. № 4. С. 209–231.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2026; 28(4): 209–231.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 691.276

<https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-4-209-231>



EDN: TKKOEА

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ХРИЗОТИЛСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

**Людмила Николаевна Наумова, Валерия Валерьевна Строкова,
Павел Александрович Куценко, Данил Андреевич Рулев,
Алина Валентиновна Абзалилова**

*Белгородский государственный технологический университет
им. В.Г. Шухова, г. Белгород, Россия*

Аннотация. *Актуальность.* Технология производства хризотилцементных изделий востребована и широко применяется во всем мире. За период своего столетнего существования она проходила этапы автоматизации, модернизации, обновления оборудования, решения экологических и экономических вопросов. Актуальные задачи в области производства хризотилсодержащих изделий связаны с поиском эффективных связующих, модификаторов, наполнителей, пигментов. Представленные подходы позволяют совершенствовать технологический процесс, улучшать физико-химические и эксплуатационные характеристики как сырьевых компонентов, так и готовых изделий.

Цель работы – комплексный анализ научных работ за период 1954–2024 гг., посвященных вопросам изучения рационализации технологических операций производства хризотилосодержащих композиционных материалов с использованием микроармирующих волокон хризотила с учетом их структурных особенностей.

Методы. В работе систематизированы результаты научного поиска по существующим способам использования хризотилосодержащих волокон в производстве различных хризотилце-

ментных и хризотилсодержащих материалов, повышения эффективности производства на основе цементных и полимерных связующих. Выполнен анализ публикационной активности отечественных и зарубежных ученых, подтверждающий актуальность применения хризотилсодержащих изделий.

Результаты. Представлены технологические подходы, обеспечивающие эффективность производства хризотилowych композитов и изделий различного функционального назначения. При этом показан компонентный состав хризотилсодержащих материалов и технологические этапы получения изделий. Рассмотрена техническая и технологическая эффективность использования волокон хризотила при изготовлении не только традиционных хризотилцементных изделий, но и материалов на основе полимерных связующих.

Ключевые слова: хризотил, хризотилцементные изделия, асбест, строительные материалы, хризотилсодержащие композиционные материалы, структурные характеристики, физико-химические свойства, эксплуатационные характеристики

Финансирование: работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2026-0005 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Для цитирования: Наумова, Л.Н., Строкова, В.В., Куценко, П.А., Рулев, Д.А., Абзалилова, А.В. Современное состояние исследований в области оптимизации технологических процессов производства хризотилсодержащих композиционных материалов и изделий // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2026. Т. 28. № 4. С. 209–231. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-4-209-231>. EDN: TKKOEА

ORIGINAL ARTICLE

OPTIMIZATION OF PRODUCTION PROCESS OF CHRYSOTILE-CONTAINING COMPOSITE MATERIALS AND PRODUCTS

**Lyudmila N. Naumova, Valeria V. Strokovа, Pavel A. Kutsenko,
Danil A. Rulev, Alina V. Abzalilova**

*Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov,
Belgorod, Russia*

Abstract. To date, the chrysotile cement technology is in demand and widely used all over the world. During its century-long existence, it has undergone automation, modernization, equipment upgrades, and solution of environmental and economic problems. Actual tasks in the field of production of chrysotile-containing products relate to search for effective binders, modifiers, fillers, and pigments. The proposed approaches make it possible to improve the, improve physicochemical and operational properties of raw materials and finished products.

Purpose: A comprehensive analysis of the literature for the period of 1954–2024, is devoted to the production process of chrysotile composites. Technological aspects of the production of chrysotile-containing composite materials are studied using micro-reinforcing chrysotile fibers, taking into account their structural features.

Methodology: The paper systematizes research results of methods using chrysotile fibers in the production of various chrysotile cement and chrysotile-containing materials, increasing the production efficiency based on cement and polymer binders. The analysis of Russian and foreign literature is conducted which confirms the relevance of the use of chrysotile-containing products.

Research findings: Technological approaches ensure the production efficiency of chrysotile composites and products of various functional purposes. The component composition of chrys-

otile-containing materials and production process are discussed. Technical and technological efficiency of using chrysotile fibers is considered not only in the manufacture of traditional chrysotile cement products but also materials based on polymer binders.

Keywords: chrysotile, chrysotile cement product, asbestos, building material, chrysotile-containing composite material, structural properties, physicochemical properties, operational properties

Funding: This work was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FZWN-2026-0005). The authors like to express their gratitude towards the management of BSTU Hi-Tech Center for equipment employed in these studies.

For citation: Naumova, L.N., Strokova, V.V., Kutsenko, P.A., Rulev, D.A., Abzalilova, A.V. Optimization of Production Process of Chrysotile-containing Composite Materials and Products. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2026; 28(4): 209–231. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2026-28-4-209-231>. EDN: TKKOEА

Введение

Россия обладает уникальной возможностью производить и потреблять экономичный и долговечный хризотилцементный материал, применяемый в более чем 100 странах мира, для решения насущных строительных задач.

Хризотилцементные изделия относятся к композиционным материалам, в которых цементная матрица армирована хризотиловыми волокнами, что позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами.

Хризотилцементные строительные изделия имеют ряд преимуществ по сравнению с конкурентными строительными материалами: волокнисто-цементными, металлическими кровельными, фасадными материалами и трубами [1, 2].

Можно отметить следующие наиболее существенные преимущества: срок эксплуатации до 50 лет; устойчивость к знакопеременным нагрузкам от -70 до $+70$ °С; негорючесть; низкая теплопроводность; коррозионно- и водостойкость; диэлектрические свойства; легкая механическая обработка; эстетическая привлекательность окрашенных кровельных и фасадных изделий. Преимущества заключаются также в доступной цене, практичности, несложных монтажных работах, высоких физико-механических показателях готовых изделий.

Основные компоненты хризотилцементных материалов: портландцемент для производства хризотилцементных изделий по ГОСТ 34902–2022 – 75–90 %; хризотилковое волокно, армирующее хрупкую цементную матрицу, – 10–25 %; вода, которая не должна иметь глинистых примесей, органических веществ, – 5 % [3–8].

Основным армирующим компонентом в хризотилцементных изделиях являются хризотилковые волокна, обладающие значительным количеством технологических характеристик [9–12]. Хризотилковые волокна способны расщепляться на тончайшие фибриллы и тем самым формировать значительную область контактов с цементными частицами для достижения адгезионной прочности вяжущих и прочности цементной матрицы в целом [3–8].

Для формирования устойчивой композиции, прежде всего, необходимо подготовить хризотилковое волокно для увеличения его удельной поверхности,

что обеспечивается двумя стадиями распушки волокна на производстве. Данный подход позволяет улучшить армирующую способность и сцепление волокон с цементным связующим за счет физико-химических процессов гидратации цемента на поверхности волокон хризотила.

В России технология производства хризотилцементных изделий существует с начала XX в. и до настоящего времени широко применяется во всем мире. За столетний период своего существования она совершенствовалась в части автоматизации, цифровизации, модернизации производства, обновления оборудования, а также в экологическом и экономическом аспектах. Актуальные задачи в этой области связаны с поиском эффективных связующих, модификаторов, наполнителей и пигментов. Указанные направления позволяют совершенствовать технологический процесс, улучшать физико-химические и эксплуатационные характеристики как сырьевых компонентов, так и готовых изделий.

В настоящее время на территории России функционирует 12 предприятий по производству различных видов хризотилцементных изделий [1, 2]:

- 1) «ЛАТО», Мордовия, ОАО «Оренбургские минералы»;
- 2) «Фибратек», ОАО «Оренбургские минералы»;
- 3) ООО «Брянский фиброцементный завод» («БФЗ»), группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»;
- 4) ООО «Стерлитамакский фиброцементный завод» («СФЗ»); группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»;
- 5) «БЕЛАЦИ»; ПАО «Белгородасбестоцемент», группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»;
- 6) ООО «Черноморский фиброцементный завод» («ЧФЗ»), группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»;
- 7) ООО «Комбинат «Волна»;
- 8) «Народное предприятие „Знамя“» (ЗАО НП «Знамя») («Сухоложскасбестоцемент»);
- 9) ОАО «Себряковский комбинат асбестоцементных изделий» («СКАИ»);
- 10) Тимлюйский шиферный завод;
- 11) «Шиферник». Новороссийское предприятие;
- 12) ООО «Новоульяновский шиферный завод».

Оценка объемов производимых хризотилцементных листов на отечественных предприятиях (рис. 1) показывает снижение экспорта продукции за рубеж и выравнивание количества продаваемой продукции на внутреннем рынке.

В настоящее время хризотилцементные изделия используются в более чем 100 странах. Крупнейшими экспортерами хризотила в эти страны являются Россия, Казахстан, Китай и Бразилия [13–15]. Хризотилцементная продукция пользуется спросом в странах СНГ, Средней и Юго-Восточной Азии, Южной Америки, Африки. Рынок потребления хризотил-асбеста и хризотилцементной продукции сосредоточен в Азиатско-Тихоокеанском регионе и странах СНГ. Расширяется спектр применения хризотил-асбеста не только в строительной отрасли, но и в химической, машиностроительной и других направлениях промышленности.

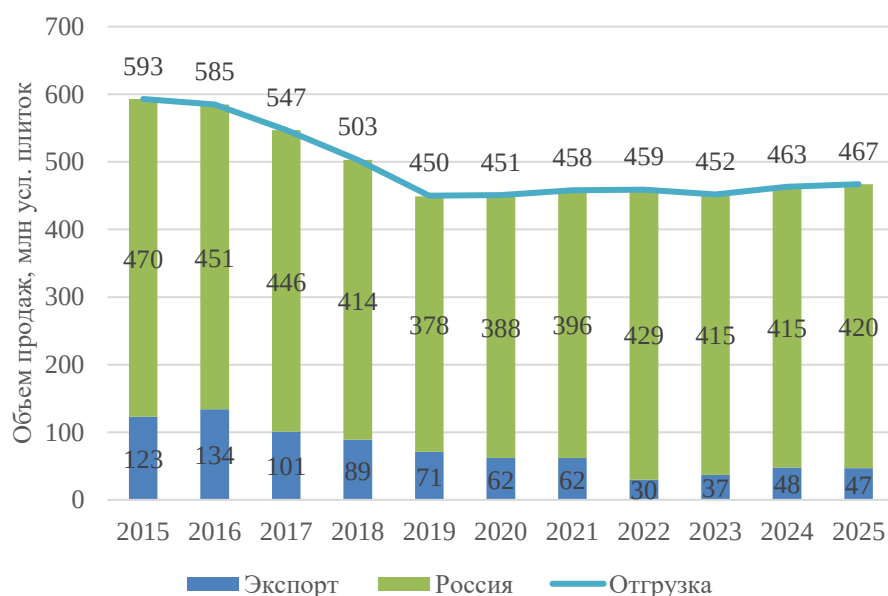


Рис. 1. Объем продаж хризотилцементных листов: миллион условных плиток (муп)

Fig. 1. Sales volume of chrysotile cement sheets in a million conventional tiles

Технологический процесс изготовления хризотилцементных изделий и их разновидности

Получение хризотилцементных изделий осуществляется разными способами в зависимости от состава сырьевой смеси. Производство хризотилцементных изделий по способу формования связано с именем австрийского инженера Л. Гатчека, запатентовавшего данное изобретение (круглосеточная листоформовочная машина Л. Гатчека). Данный способ применяется для низкоконцентрированных суспензий (8–10 %) в ваннах сетчатых цилиндров.

Область применения хризотилвых волокон в строительной отрасли описывается на следующие группы материалов и изделий [1, 7]:

- кровельные и стеновые изделия (хризотилцементные волнистые, полуволнистые и плоские листы, плитки);
- трубы и муфты (хризотилцементные напорные и безнапорные трубы и муфты различного диаметра);
- фасадные материалы (плиты, сайдинг);
- хризотилцементные электротехнические дугостойкие доски (АЦЭИД);
- асбестотехнические электро- и теплоизоляционные изделия (ткани, шнуры, картон, фильтры, фрикционные изделия, тормозные ленты, паронит и др.);
- мастики, герметики, футеровочные составы, органосиликатные покрытия, буровые и тампонажные растворы, асфальтобетонные смеси, клеевые смеси и замазки, строительные растворы, ремонтно-восстановительные составы.

Основной продукцией хризотилцементной отрасли являются плоские и волнистые листы – непрессованные и прессованные, трубы – напорные и безнапорные. Сырьевая смесь для производства листов содержит 13–15 % волокон

хризотила (группы 5–6), для труб – 17–18 % (группы 3, 4) [3–7]; остальная часть минеральной составляющей смеси представлена цементом.

Основные технологические операции производства хризотилцементных листов включают следующие этапы:

- запас сырьевых компонентов (цемент, хризотил) формируется в бункерах, их дозирование осуществляется с помощью весовых дозаторов; запас хризотилцементной массы создается в ковшовой мешалке;
- подготовка волокон хризотила проходит две стадии – в бегунах и гидроропушителе;
- смешение хризотила с цементом происходит в турбосмесителе;
- формирование хризотилцементного наката происходит на форматном барабане; волнирование наката осуществляется с помощью волнировочно-стопирующего агрегата;
- набор прочности полуфабриката протекает при температурно-влажностных условиях в камере предварительного твердения; окончательное твердение листов происходит на складе готовой продукции.

Производство хризотилцементных труб осуществляется на трубоформовочных машинах, работающих по тому же принципу, что и листоформовочные, только вместо форматного барабана на них устанавливают съемные металлические скалки.

Хризотилцементные листы разного размера применяются в основном 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.

Безнапорные трубы являются альтернативой стальным и применяются для канализации, дымоходов, мусоропроводов, для прокладки телефонных кабелей, сооружения столбчатых фундаментов для небольших строений и в качестве опорных столбов для заборов. Напорные трубы используются для газопроводов, водопроводов (технические и питьевые), канализационных, мелиоративных, оросительных устройств, вентиляционных воздуховодов, в качестве обсадных труб для колодцев. Данная продукция обладает высокой прочностью, не корродирует, хорошо выдерживает знакопеременные нагрузки и имеет длительный срок службы.

Выгодной отличительной особенностью хризотилцементных изделий от металлических и полимерных является высокая щелочестойкость, долговечность, безопасность, радиационная стойкость. Также большое значение имеет экономическая составляющая: они в несколько раз дешевле металла, черепицы, керамических плиток и других материалов.

Хризотилцементные листы удобны при проведении ремонтных работ: при возникновении повреждения можно заменить поврежденный участок без нарушения целостности всей поверхности покрытия.

В течение многих лет в России производят и окрашенные изделия, доля которых в различных покрытиях (кровля, стены, заборы) – около 55 %, а в малоэтажном и сельском строительстве – до 80 % [16–18].

При изготовлении текстильных изделий, плетеных и тканевых набивок, электроизоляционных лент и шнуров, дисков сцепления, тормозных лент при-

меняют хризотилловые волокна 0–3 групп. Их применяют в микроармировании ячеистых материалов (пенобетон). Хризотил 4-й и 5-й групп используют для изготовления хризотилловой бумаги и картона, хризотил 3-й и 4-й групп – для производства хризотилрезиновых листов (клингерит), термоизоляционных материалов (хризотилватная вата, теплоизоляционный шнур, хризотилгофрированный картон). При использовании хризотила 5–7 групп вместе с другими минеральными веществами (например, диатомит) производят теплоизоляционные, термоизоляционные материалы, резинотехнические, минерально-полимерные композиции (декинг, шпалы, заборные доски, лаги, террасные доски, штакетники, фасадные панели), пластмассы, линолеум, хризотилбитумные материалы (рубероид, стабилизирующие добавки в асфальт, облицовочные и напольные плиты, наполнители, ремонтно-восстановительные составы, мастики, пеноасбест, асфальтобетонные, строительные смеси и смеси с каменноугольными смолами, штукатурно-напыляемые составы, краски, хризотил-магнезиальные порошки, клеи, одеяла и т. д.) Хризотил специального назначения (марок АСН-3, АСН-4, АСН-5, АСН-6, АСНП-5) применяют для производства конструктивных клеев, диафрагм хлорных электролизеров, звуко- и шумопоглощающих прокладок, паронита, безусадочных 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» [16–18].

При производстве всех видов хризотилсодержащих материалов и изделий на качество продукции влияют характеристика и свойства портландцемента, длина хризотилловых волокон и их насыщенность мелкодисперсной пылью. Особенно это относится к затвердевшей цементной матрице хризотилцемента.

Анализ исследований в области повышения эффективности производства хризотилсодержащих композиционных материалов на основе цементных и полимерных связующих

Поиск научных публикаций, связанных с терминологическим понятием «хризотилсодержащие композиционные материалы с использованием цементных и полимерных связующих», проводился по электронной базе eLibrary.ru и полнотекстовой базе данных ScienceDirect. Ввиду отсутствия устоявшегося терминологического понятия поиск был продолжен с разбивкой по следующим направлениям, каждое из которых вносит вклад в повышение эффективности производства:

- совершенствование состава хризотилсодержащих композитов;
- управление структурообразованием при синтезе хризотилсодержащих систем;
- оптимизация технологии и модифицирующие добавки;
- расширение функциональных возможностей (специальные композиты);
- повышение качественных показателей и долговечности хризотилцементных композитов.

Были рассмотрены статьи в журналах, книги, материалы конференций, диссертации и патентные документы. Результаты поиска за период 1985–2023 гг. представлены на рис. 2.

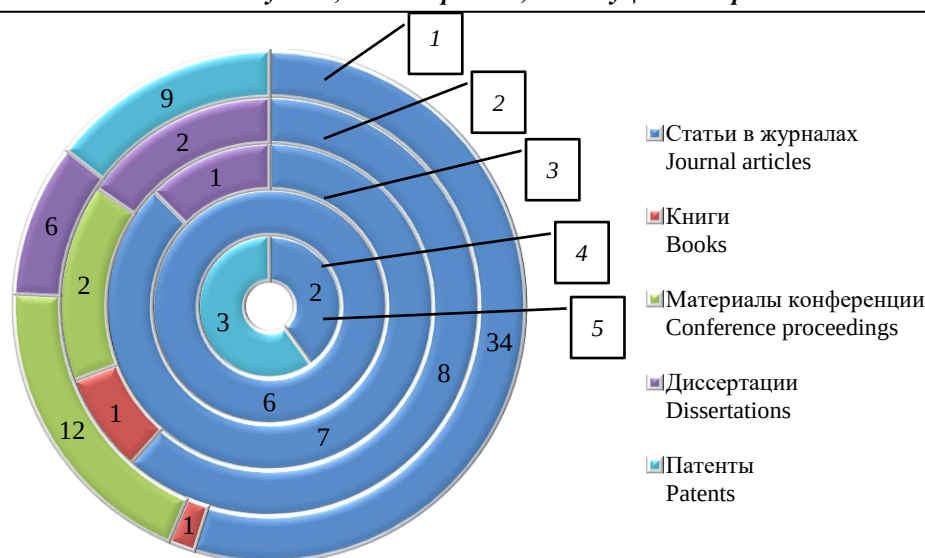


Рис. 2. Количество публикаций по терминологическому поиску:

1 – совершенствование состава хризотилсодержащих композитов (62 шт.); 2 – управление структурообразованием при синтезе хризотилсодержащих систем (13 шт.); 3 – оптимизация технологии и модифицирующие добавки (8 шт.); 4 – расширение функциональных возможностей (специальные композиты) (6 шт.); 5 – повышение качественных показателей и долговечности хризотилцементных композитов (5 шт.)

Fig. 2. Number of publications by terms:

1 – composition improvement of chrysotile-containing composites (62); 2 – structure control during synthesis of chrysotile-containing systems (13); 3 – optimization process and modifying additives (8); 4 – expansion of functional capabilities (special-purpose composites) (6); 5 – quality improvement and durability of chrysotile composites (5)

Помимо этого, был проведен анализ публикаций, охватывающий период с 1985 по 2023 г., в которых представлены составы хризотилсодержащих композиционных материалов и способы их получения.

Анализ показал следующие виды технологических подходов, обеспечивающих повышение эффективности получаемой продукции.

В работе [19] высокотемпературный материал получали на основе гомогенизации в водной среде состава, масс. %: глина – 40–92,5; шамот – 0,5–35; супертонкое силикатное волокно – 5–15; химически распущенный асбест – 2–10. Качественные показатели продукта составили: объемная плотность – 350–800 кг/м³; прочность при сжатии – 0,8–2,5 МПа; коэффициент теплопроводности: при 100 °С – 0,06–0,10 Вт/(м·К), при 1000 °С – 0,15–0,18 Вт/(м·К).

Авторы в работе [20] получали состав теплоизоляционного материала на основе следующих компонентов, масс. %: морская водоросль с объемной плотностью 80–100 кг/м³ – 30–40, полиакриламид – 0,5–2,0, асбест 6-й группы – 59,5–68,0. Показатели готового продукта: объемная плотность – 350–400 кг/м³; прочность при сжатии – 0,3–0,45 МПа; прочность при изгибе – 0,25–0,32 МПа.

Теплоизоляционный материал [21] для теплоизоляции промышленного оборудования, трубопроводов, при изготовлении самонесущих стен, перегородок внутри зданий получали при автоклавировании следующего состава,

масс. %: вспученный перлитовый песок – 30–40, хризотилцементная суспензия – 5–15. Плотность полученного продукта составила 160–181 кг/м³; коэффициент теплопроводности – 0,049–0,059 Вт/(м·К); предел прочности при изгибе – 0,15–0,24 МПа; водопотребность – 0,61–0,63 м³ воды на 1 м³ изделий.

Фасадные стеновые панели получали [22] с использованием следующих групп асбеста в смеси: А-4-20 – 30–40 %, А-5-65 – 60 %. Данную смесь подвергали распушке, смешивали с цементирующим веществом до гомогенного состояния. Использовали режим прессования: время подъема давления – до 50 мин; максимальное давление – 600 МПа; удельное давление прессования – 21,2 МПа; выдержка при максимальном давлении прессования – до 15 мин. Технический результат: увеличение прочности при изгибе – до 30 МПа; повышение морозостойкости изделий – до 150 циклов попеременного оттаивания и замораживания.

Асбестоцементные изделия улучшенного качества получали при приготовлении хризотилцементной суспензии с добавлением полиакрилата в количестве 0,0015–0,015 % от массы сухих компонентов [23]. Характеристики асбестоцементной суспензии: время фильтрации – 0,86–3,07 мин; средняя скорость фильтрации – 128,4–35,8 мл/мин; устойчивость – 67–95 %. Характеристики асбестоцементных изделий: плотность – 1710–1730 кг/м³; предел прочности при изгибе через 28 сут – 35,8–48,4 МПа; ударная вязкость – 3,2–3,6 кДж/м²; водопоглощение – 22,2–23,0 %.

Экструзионные панели получали при приготовлении хризотилцементной массы с использованием водного раствора пластификатора нитрата или нитрита кальция в количестве 0,53–0,132 % от массы цемента [24].

Повышение ударной вязкости хризотилцементных изделий достигали при составлении компонентного состава, масс. %: портландцемент – 76–94; асбест (содержание оксида магния 41,47–42,91 % и закиси железа 0,16–0,58 %) – 3,6–21,6; асбест (содержание оксида магния 38,83–39,6 % и закиси железа 2,12–3,25 %) – 0,6–9,6 [25]. Соотношение указанных асбестов составляет (60–90) : (10–40). Физико-механические показатели готового продукта составили: плотность – 1400–1750 кг/м³; предел прочности при изгибе – 26,2–42,6 МПа; ударная вязкость – 3,2–7,26 кДж/м²; водопоглощение – 20,3–30,3 %.

Пресс-материалы электротехнического назначения с температурой эксплуатации композита от –60 до +400 °С получали при приготовлении компонентного состава, масс.ч: полиметилфенилсилоксановая смола К-9 – 100,0; стеарат кальция – 2,5–4,5; хризотилковый асбест (длина волокон 10–20 мкм, диаметр 0,03 мкм), модифицированный кристаллическим кремнеземом, – 31–44 (средний диаметр частиц изометрической формы 0,1–0,3 мкм); рН водной вытяжки – 7,5; спирт этиловый – 268–342 [26]. Стадии получения прессовочной композиции: приготовление модифицированного хризотилового асбеста; приготовление пропиточного состава; пропитка стекловолокна; сушка и рубка полученных прядей.

Дорожные составы получали на основе следующего компонентного состава, масс. %: асбестовые волокна класса 0,075–0,5 мм – 0,135–2,64; фракции хризотил-асбеста крупностью, мм: (0–5) – 34,88–39,12; крупностью (5–20) – 53,26–44,59; минеральный порошок – 5,63–7,28; битум БНД 90/130 – 6,064–6,338; присадка «Амдор-9» – 0,031–0,032 [27]. Асбестовые волокна вводили в ас-

фальтобетонную смесь, предварительно смешивая с минеральным порошком при массовом соотношении (асбестовые волокна) : (минеральный порошок) – (0,024 : 0,363). Далее к полученной смеси добавляли фракции хризотил-асбеста с размером частиц 0–5 мм, щебня – с размером частиц 5–20 мм; битума и присадки «Амдор-9» (смесь полиаминоамидов и полиаминоимидозолинов). Результатом работы явились экономические и экологические аспекты эффективности применения продукта.

Для получения хризотилового картона и бумаги [28] сначала необходимо обработать асбест водным раствором алюмината натрия до влажности 33–34 %. После этого обработать в бегунах в течение 12 мин. За 3–5 мин до окончания обработки в полученную смесь ввести обожженный гидросиликат магния, отход асбестообогащения – 1,5–3,5 % от массы асбеста. Через 3–5 мин совместной обработки полученная смесь поступает в гидропушитель, где смешивается с водой до получения 2%-й суспензии. Формирование картона происходит на листоформовочной машине. Степень увлажнения асбеста в бегунах составила 33–34 %; скорость фильтрации асбестовой суспензии в ваннах сетчатых цилиндров – 32–48 мл/мин. Прочность полученного картона на разрыв при 20 °С – 1,2–2,1 МПа; при 400 °С – 1,2–1,9 МПа.

Теплоизоляционный материал повышенной термостойкости получали с использованием компонентного состава, масс. %: каолиновое волокно – 30,0–40,0; растворимое стекло – 8,0–12,0; феррохромовый шлак – 20,0–30,0; асбест – 8,0–12,0; отходы обогащения циркон-ильменитовой руды – 8,0–12,0; сподумен – 8,0–12,0 [29]. Компоненты дозировали – в требуемых количествах. Феррохромовый шлак, сподумен, отходы обогащения циркон-ильменитовой руды размалывали до порошкообразного состояния, просеивая их через сито № 014. Асбест подвергали двухстадийной распушке – полусухой и мокрой, смешивали с каолиновым волокном, добавляли растворимое стекло, размолотые феррохромовый шлак, сподумен, отходы обогащения циркон-ильменитовой руды. Из подготовленной массы с влажностью 8–11 % формовали изделия (плиты, полуцилиндры, сегменты), которые обжигали при температуре 1050–1100 °С.

Паронит маслобензостойкий [30] отличается от других видов своим составом, масс. %: вулканизат нитрильного каучука – 15,0–18,0; вулканизат каучука: жидкое вещество, в соотношении (1,00) : (0,03–0,10); глинозем – 19,0–21,0; асбест – 60,0–63,0; пигмент органический – 0,2–0,4; антиоксидант – 0,1–0,6. Асбест, каучуки, добавки взвешиваются, смешиваются и подаются в прессы, где формируются под высоким давлением и температурой. После этого проводят резку прокладок на листы нужного размера и формы и штампуют. Данный материал эксплуатируется в средах органических масел и бензина на горизонтальных поверхностях.

Гидроизоляционный кровельный материал [31] имеет состав, масс. %: композит битума или гудрона – 30–40, с резиновой крошкой размером 20 мкм, в соотношении (2–20) : (1); асбест – 8–10; вода – остальное. В смеситель-диспергатор (типа СБ-148) загружали весь расчетный объем воды (например, на 1 м³ – 500 л), подогретой до 80 °С. После этого включали перемешивание и загружали все расчетное количество асбеста (например, 100 кг на 1 м²). Следующим этапом является введение гудрона (400 кг/м³). Гудрон подается непрерывно в течение

$\tau = 5$ мин при температуре $t = 80\text{--}100$ °С. После завершения этой операции перемешивание (диспергирование) осуществляется 5–7 мин. Готовая эмульсия перекачивается в емкость-хранилище. Характеристики кровельного материала: адгезия – 0,4 МПа; водопоглощение – 1–2 масс. %; набухание – 1–2 об. %; работоспособность – 20 лет (определена методом ускоренного испытания в камере искусственного климата); температура оплавления – 120–140 °С; температура хрупкости – от –30 до –40 °С.

Теплоизоляционный материал [32] с токопроводящим наполнителем имеет состав: гидроксид натрия – 13,3 г; вода – 500 мл; олеиновая кислота – 100–105 мл; асбест – 2,4–2,6 кг; карбонизированное углеродное волокно – 3–12 масс. %; специальный смачиватель или сульфанол – 6,8 кг. Приготовление раствора олеата натрия: 13,3 г гидроксида натрия растворяют в 500 мл воды, добавляют в раствор 100–105 мл олеиновой кислоты небольшими порциями при постоянном помешивании на водяной бане в течение 2–2,5 ч до растворения осадка и разбавляют водой до объема 1 л. Исходные компоненты гидрофобизирующей эмульсии (жидкость, вода, олеат натрия в соотношении 5:4:1) смешивают и вводят в эмульгатор при скорости перемешивания в мешалке 3000 об/мин в течение 5–7 мин.

Приготовление асбеста. 2,4–2,6 кг загружают в ножевой смеситель, добавляют 50 л воды, специальный смачиватель или сульфанол в количестве 6,8 кг и обрабатывают в течение 30–40 мин. Затем распущенный асбест, воду, углеродное волокно (3–12 масс. %) помещают в бак-смеситель на 5–7 мин, вводят смачиватель и продолжают перемешивание в течение 10–12 мин. После этого вводят гидрофобизирующую эмульсию и продолжают перемешивание в течение 20–25 мин до получения вспененного состояния. Полученную смесь выливают в застеленные стеклотканью поддоны и сушат в течение 3 ч с чередованием температур 80–90–100 °С через каждый час и далее по 2 ч на каждые 10 мм покрытия при температуре 110 °С. После сушки проводят термообработку при 230–240 °С в течение 35–40 мин. Коэффициент теплопроводности полученного покрытия – 0,03–0,05 Вт/м·К; плотность – 20 кг/м³.

Щебеночная асфальтобетонная мастичная добавка [33] представляет собой компонентный состав, масс. %: хризотилевое волокно – 70–90; вяжущее – 10–30; битум – 20–30; петролатум – 20–30; вода – 40–60. Для ее получения в смеситель загружают хризотилевое волокно, смесь парафина и петролатума и осуществляют смешение хризотилового волокна со смесью парафина и петролатума до равномерного распределения вяжущего в волокне. Полученную однородную массу подают с помощью шнекового транспортера и элеватора в ворошитель, где производят непрерывное перемешивание, откуда готовая масса подается в пресс-гранулятор. В пресс-грануляторе однородного состава смесь вяжущего и структурообразователя проходит через профилированные отверстия матрицы, срезается ножом, что позволяет обеспечить одинаковую длину и толщину готовых гранул. После чего гранулы перемещают на ленточный транспортер, с помощью которого передают на виброгрохот, где происходит их классификация, т. е. фракции размером 2 мм и более подают на упаковку, а остальные вновь возвращают в пресс-гранулятор.

Получение пиронагревателей [34] начинают с предварительного прокаливания асбеста при температуре от 390 до 450 °С не менее 2 ч, выдержки его при

комнатной температуре в течение 1,5–2 ч. Распушивание асбеста проводят путем измельчения и расчесывания материала на волокна в водной суспензии с концентрацией 0,2–3 % после предварительной выдержки их в воде не менее 30 мин. Затем обезвоживают, высушивают асбестовую пластинчатую заготовку, часть которой далее диспергируют в воде, гомогенизируют водную суспензию асбеста и компонентов пиронагревателей при концентрации (30 ± 15) г/л, объемно дозируют ее в форму с фильтром-подложкой, удаляют воду вакуумированием.

Смазочная композиция [35] для формирования противоизносных и антифрикционных приповерхностных слоев трущихся деталей содержит основной смазочный материал (сплавы на основе железа или цветных металлов) и полученный состав, масс. %: (хризотил, лизардит) – (80–87); хлорит – (2–3); магнетит – (1–2); амакинит – (1–2); кальцит – (0,5–1); рентгеноаморфная фаза – (8,5–12). Для получения состава необходимо предварительное измельчение природных минералов до порошка; диспергирование их в жидком смазочном материале, содержащем поверхностно-активные вещества, образующие с частицами минералов в процессе диспергирования коллоидный раствор; отстаивание полученной смеси и использование образовавшейся над осадком суспензии в качестве присадки к смазочному материалу. Перед диспергированием в жидком смазочном материале порошок вводят в технологическую жидкость и проводят обработку полученной суспензии с помощью ультразвука при мощности излучения не менее 5 кВт при длительности не менее 10 мин с последующим удалением технологической жидкости и диспергированием в жидком смазочном материале. В качестве технологической жидкости используется вода, спирт, керосин.

Для получения структурирующей добавки цементсодержащего композита строительного назначения предлагается [36] следующий состав, масс. %: вода – 80, волокна хризотила – 10, суперпластификатор СЗ – 2. Цементный композит содержит портландцемент ЦЕМ I 32,5 Н; природный речной песок с модулем крупности $M_k = 2,0$. Предварительно готовят водную дисперсию волокон хризотил-асбеста, стабилизированную поверхностно-активным веществом на основе полиметиленафталинсульфонатного суперпластификатора с обработкой ее в кавитационном диспергаторе на базе вихревого теплогенератора мощностью 2,2 кВт. В качестве модифицирующих компонентов выступали волокна хризотил-асбеста и частицы технического углерода при следующем соотношении по массе: (волокна хризотил-асбеста) : (частицы технического углерода) – 5 : 1. Частицы технического углерода вводятся в составе пигментной пасты. Обработка дисперсии занимала 30 мин. Максимальное повышение прочности цементно-песчаного раствора было достигнуто при совместном введении добавки хризотил-асбеста в количестве 0,05 % от массы цемента и технического углерода в количестве 0,01 %. В данном случае прочность образца на сжатие повышается на 31,9 %, на изгиб – на 26,7 %. Введение комплексной добавки способствует снижению общей пористости образцов на 18 %, объем открытых капиллярных пор снижается на 43 %, условно-закрытых пор – увеличивается в 5 раз. Марка по водонепроницаемости образцов повысилась с W6 до W12.

Получение ячеистого бетона неавтоклавного твердения [37] проходило с использованием следующего состава, масс. %: портландцемент – 44–83,3; микрокремнезем – 9–10; природный песок ($M_{кр. 1,2-1,8}$) – 0–30; комплексный

порообразователь пастообразный (КПП) – 0,7–1,5 (КПП, масс. %: алюминиевая пудра – 20–25; пенообразователи «Пеностром» и ПБ 2000 в соотношении 1 : (12–20) – 15–25 соответственно); волокнистый наполнитель (асбест и «Фибрин») – 7–10; вода до В/Т – 0,32–0,53. Сырьевую смесь, состоящую из портландцемента, микрокремнезема, природного песка, волокнистого наполнителя (асбеста) и органического искусственного волокна (полипропиленовый «Фибрин») – диаметр волокнистого наполнителя 9–18 мкм, длина 3–18 мм; воды и комплексного порообразователя гомогенизировали в турбулентном смесителе «Турбо-0,25» с числом оборотов турбины 800–1000 об/мин. Прочность поробетона при изгибе составила, МПа: 1,2; 2,4; 4,2; плотность, кг/м³: 300, 500, 900; прочность, МПа: 1,4; 3,2; 5,8.

Композиционный материал строительного назначения [38] имеет компонентный состав, масс. %: хризотил А1 – (1–3); А2 – (1–4,5); А3 – (4–8), магнезиальное вяжущее – (50–58); (16–45); (55–75); песок – 30–60; бишофит – (39–49), (35–45); вода. Полученный композит имел следующие показатели: прочность (28 сут), МПа: А1 – 35; А2 – 38; А3 – 44; предел прочности при изгибе – 43 МПа; плотность – 1,63 г/см³; ударная вязкость – 2,5 кДж/м²; морозостойкость – 130 циклов.

Цементсодержащий композиционный материал с электропроводящими свойствами [39] имеет в своем составе: портландцемент марки ЦЕМ I 32,5 Н; песок; пластификатор С-3; хризотилловые волокна, никель/углеродные волокна; нитрат кальция. Оптимальным содержанием никель/углеродных частиц в структуре цементной системы является диапазон от 0,01 до 0,02 % в массовом отношении от количества вяжущего. Прирост прочности при этом составляет 69 % при сжатии и 84 % на растяжение при изгибе.

Композиционный материал [40] на основе термореактивной смолы и волокнистого хризотилового наполнителя имеет следующий состав: хризотил марок АН-К6, 7R, А-6-30; жидкая фенолоформальдегидная смола резольного типа СФЖ-3031. Характеристики полученного продукта: композиционные материалы с АН-К6, 7R, А-6-30, соответственно: ударная вязкость, кДж/м²: 1971,6; 2469; 2876,2; изгибающее (разрушающее) напряжение, МПа: 47,1; 56,3; 63,4; прочность при разрыве, Н/мм²: 15,2; 22,9; 27,9; относительное удлинение при разрыве, %: 4,1; 6,2; 7,4; твердость, НВ, Н/мм²: 25; 35; 32. Коэффициент трения – 0,3–0,4.

Получение древесно-наполненного композита [41] на основе ПВХ и хризотилловых волокон основано на следующем составе: базовый состав ПВХ-композиции: ПВХ марки С-7059-М (100 масс. ч.), термостабилизатор двухосновный стеарат свинца (5 м.ч.), стабилизатор – смазка стеарат кальция (3 масс. ч.), модификатор ударной прочности FM-50 (7 масс. ч.), древесная мука (50 масс. ч. на 100 масс. ч. ПВХ); асбест хризотилловый со средней длиной 2 мм из шнура ШАОН 5 (ГОСТ 1779–83¹) – 7,5 масс. ч. Средний диаметр агрегатов волокон распущенного шнура составляет 10 мкм. Наполнение асбестовыми волокнами показало свою эффективность в усилении древесно-наполненных композиций на ос-

¹ ГОСТ 1779–83. Шнуры асбестовые. Технические условия: дата введения 1985-01-01. Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2003. 6 с.

нове ПВХ. Композиты с данным видом наполнителя показывали увеличение прочности при растяжении на 25 %, при изгибе – на 38 %, модуля упругости при растяжении – в 2 раза.

Поробетон получали [42] на основе смеси волокон хризотила Кiemбаевского месторождения различной длины, соответствующих марок: 3-60; 4-30; 5-70; 6К-30; 6-50; пенообразователя белкового происхождения производства Foamsem (Италия), плотность раствора – 1150 кг/м³; pH среды – $6,7 \pm 0,3$; портландцемента с В/Ц = 0,27. Наилучшими показателями повышения стойкости пены по критериям синерезиса, осаждения столба и стойкости в поризованном растворе характеризуется хризотил-асбест марки 4-30 при увеличении дозировки фибры более 1,5 %.

Мелкозернистый бетон получали [43] на основе водной дисперсии 10 % волокон хризотила, нитрилотриметилфосфоновой кислоты, пластификатора ДС-5, углеродных нанотрубок. Приготовление водной суспензии 10 % волокон хризотила проводили в присутствии соли НТФК (нитрилотриметилфосфоновая кислота) для предотвращения коагуляции частиц. Комплексную добавку приготовили на основе пластификатора ДС-5, модифицированного углеродными нанотрубками, диспергированными в поликарбоксилатном поверхностно-активном веществе и неионогенном ПАВ. Смешение комплексной добавки и суспензии хризотилых волокон проводили с цементным раствором. Оптимальная концентрация хризотиловой суспензии составила 0,1 и 1 %.

В работе по получению хризотилсодержащей термостойкой (до 700 °С) композиции использовали латекс ВХВД-65 (сополимер винилхлорида с винилиденхлоридом в соотношении 35 : 65 %) и ДВХБ-70 (водная дисперсия сополимера винилиденхлорида и бутадиена в соотношении 70 : 30 %) [44]. По результатам проведенной работы и совокупности прочностных и гидрофобных свойств для получения бумагоподобного материала на основе хризотила (100 масс. ч.) рекомендуется латекс ДВХБ-70 (10–20 масс. ч.) и коагулянт $Al_2(SO_4)_3$ – (3–6 масс. ч.).

Получение износостойкого композиционного материала проводили [45] на основе состава: 98,0 г полиэтилен тетрафторэтилена (ПТФТЭ), 2,0 г механоактивированного хризотила. Активация волокон хризотила происходила в планетарной мельнице в течение 2 мин, после этого их смешивание с полиэтилен тетрафторэтиленом проводили в лопастном смесителе до получения однородной массы. После смешения состава его прессовали и спекали при температуре 375–380 °С.

Авторами работы [46] предложена структурирующая добавка для цементсодержащего композита на основе волокон хризотила и сажи, имеющего в своем составе хризотил, суперпластификатор С-3, формальдегид, сажу. Проводили кавитационное смешение 10 % суспензии волокон хризотила с суперпластификатором С-3 на основе нафталинсульфокислоты в количестве 2 % от массы воды и формальдегидом. Смешение волокон хризотила с сажой проводили в соотношении 10 : 1; 7,5 : 1; 5 : 1; 2,5 : 1; 1 : 1. Элементный состав сажи: углерод (88,6–93,7 %), водород (0,7–0,8 %), кислород (5,5–10,5 %). Размер частиц сажи составил 30–120 нм.

Получение хризотил-эластомерной композиции [47] проводили при использовании 600 г хризотила, 10 % (от массы хризотила) эвтектического рас-

плава (получен смешением N-изопропил-N-, фенил-п-фенилендиамин с ϵ -капролактамом при $t = (75 \pm 5)^\circ\text{C}$ в равных массовых долях). Состав 1: предварительное диспергирование с замачиванием хризотила в расплаве проводили в шаровой мельнице (без мелющих тел) в течение $\tau = 1$ ч. Выгруженную из мельницы в пластмассовый контейнер массу подавали к вальцам ЛБ 320 160/160 до получения частиц размером 1000 мкм. Окончательное диспергирование проводили в шаровой мельнице емкостью 3 л с керамическими шарами $\varnothing 1,5$ см и общей массой около 600 г, размер частиц 315 мкм. Состав 2: 900 г состава 1 диспергировали в двойном этиленпропиленовом каучуке СКЭП-40 (300 г), распускали на вальцах. Процесс диспергирования проводили по общепринятой технологии смешения каучука с ингредиентами. Завершали процесс при температуре валков $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ и зазору между ними 1,5–2,0 мм по истечении 10 мин с момента загрузки.

Получение ячеистого бетона [48] проводили с использованием следующего состава: гашеная известь, полевошпатово-кварцевый песок, портландцемент марки М400, хризотил, порошок алюминия, вода. Готовили шлам, состоящий из гашеной извести, полевошпатово-кварцевого песка и 50 масс. % воды (от общего количества воды затворения) с температурой 70–80 $^\circ\text{C}$. Активное перемешивание осуществляли в бетономешалке НО-1510 (БП-33) в течение 5–7 мин. Не останавливая мешалки, в полученный шлам добавляли асбестовые волокна длиной 0,05–2 мм, технологические добавки, портландцемент марки М400 и оставшееся количество воды. В приготовленную смесь вводили предварительно подготовленную суспензию порошка алюминия при непрерывном перемешивании массы в течение 3–5 мин. Температура бетонной смеси составляла 30–35 $^\circ\text{C}$. Полученную смесь разливали в разъемные, предварительно смазанные и подогретые металлические формы. После достижения необходимой прочности изделия извлекали из форм и направляли в пропарочную камеру на тепловлажностную обработку при атмосферном давлении и температуре 90 $^\circ\text{C}$ по режиму 1,5–(6–8)–(1,5–2) ч для завершения процессов твердения. Получены ячеисто-бетонные образцы: средняя плотность – 500–550 кг/м³; прочность – 2,65–2,75 МПа, что на 15–20 % выше показателей, установленных стандартом.

Авторами работы [49] показана возможность получения эпоксидсодержащего клеевого состава с использованием в качестве армирующего наполнителя волокнистого гидросиликата магния состава $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Полимерная композиция состояла из следующих составов: № 1 – эпоксидная смола, отвердитель – полиэтиленполиамин, наполнитель – полиэтиленсилоксан; № 2 – эпоксидная смола, отвердитель – полиэтиленполиамин, наполнитель – хризотил; № 3 – зарубежный клеевой состав Kleiberit марки 303.7. Испытания клеевых швов (при склеивании деревянного бруса) на водостойкость, разрушающую нагрузку, предел прочности на скалывание показали повышенные значения для состава № 2 по сравнению с остальными составами.

В работе Л.Н. Наумовой [50] показана возможность использования модифицированных волокон хризотила в качестве наполнителя эпоксидно-полиэфирных покрытий для улучшения их физико-химических свойств. Результаты исследования химического состава исходной и наполненной, модифицированными волокнами хризотила, эпоксидно-полиэфирной порошковой композиции

показали химическое взаимодействие между компонентами порошковой композиции и волокнами хризотила. Наполненные полимерные покрытия имеют повышенную химическую устойчивость в среде раствора 25 % HCl для покрытий с измельченными и обработанными хлоридом аммония волокнами соответственно в средах раствора 5 % NaCl и раствора 20 % CuSO₄. Установлено, что пористость эпоксидно-полиэфирных покрытий с наполнителями на основе модифицированных волокон хризотила меньше на 40 и 70 % по сравнению с ненаполненными. При 550 °C потери массы для наполненных эпоксидно-полиэфирных покрытий на 11 и 23 % меньше по сравнению с ненаполненными.

Л.Н. Наумовой [51] рассмотрены возможности улучшения физико-механических показателей получения хризотилцементных композитов на стадии подготовки сырьевого компонента, использования разных способов формирования пленки и отверждения полуфабриката.

Показано, что введение раствора Na₂O·nSiO₂·mH₂O в режиме турбулентного потока расщепления хризотилового волокна способствует повышению распушки на 22 %.

Установлено, что при использовании технологии формирования хризотилцементного наката методом фильтрации и введении добавки Na₂O · nSiO₂ · mH₂O в ванны сетчатых цилиндров и при твердении в увлажнителе происходит улучшение его качественных показателей: увеличение плотности в среднем в 1,5 раза; уменьшение водопоглощения – в 0,6 раза и пористости в 0,8 раза.

Показано, что значения предела прочности при изгибе хризотилцементных композиций на модифицированном волокне и твердеющих в растворе Na₂O · nSiO₂ · mH₂O увеличивается в среднем в 1,3 раза.

Выявлено, что потери прочности при изгибе хризотилцементных композитов, подвергшихся воздействию режимов жесткого фактора, не превысили 10 % по сравнению с контрольными, что соответствует требованиям.

Обозначено увеличение стойкости хризотилцементного композита на немодифицированном и модифицированном хризотиле после его нахождения под влиянием физико-химического фактора естественных условий в 1,1 и 0,9 раза соответственно.

В работе В.И. Павленко, Л.Н. Наумовой, О.Д. Едаменко и их соавторов [52] показана возможность модифицирования волокон хризотила растворами солей Na₂WO₄, K₂WO₄ и Pb(CH₃COO)₂. Показано, что наибольшей способностью к адсорбции в структуре хризотильных нановолокон обладает вольфрамат калия, содержание которого в хризотиле достигает ~30 масс. %. Добавление в раствор соли этилового спирта способствует значительному улучшению процесса адсорбции и более прочному закреплению соли в структуре нанотрубок. При последовательной обработке хризотила водно-спиртовым раствором K₂WO₄ и раствором Pb(CH₃COO)₂ был получен материал, представленный в значительной степени нанотрубками, заполненными изнутри и/или покрытыми снаружи вольфраматом свинца, при этом было достигнуто содержание PbWO₄ до 30 масс. %. Полученный материал может эффективно использоваться для армирования как полимерных, так и неорганических матриц при производстве радиационно-защитных композитов, что обусловлено повышением радиационно-защитных свойств материала, содержащего в своем

составе легкие и тяжелые элементы. Для применения полученного материала в производстве полимерных композитов необходимо улучшение его сродства к полимерным матрицам и повышение степени наполнения полимерного композита, что может быть достигнуто дополнительной гидрофобизацией материала путем его обработки раствором метилсиликоната натрия.

Заключение

До настоящего времени хризотилцементные изделия, в том числе шифер, сайдинг и др., являются востребованными на рынке строительных материалов в силу их экономической составляющей, термостойкости, пожаробезопасности, сохранения эксплуатационных характеристик. Хризотилевая и хризотилцементная отрасли в мире продолжают развиваться, реагируют на возникающие кризисы и рыночную конкуренцию, модернизируют и расширяют ассортимент выпускаемых изделий, обновляют оборудование. Заводы и фабрики совершенствуют свою технологию, постоянно расширяют ассортимент продукции, улучшают ее качество.

Анализ представленного материала показывает, что в настоящее время экспериментальные работы направлены на следующие аспекты: разработку составов композиционных материалов с использованием волокон хризотила на цементном вяжущем, полимерных связующих и комплексных/композиционных вяжущих с заданными свойствами; совершенствование способов подготовки волокон; формирование компонентного состава с применением модификаторов, наполнителей, пигментов; оптимизацию технологии получения композиционных материалов с учетом специфики вводимых волокон. За многолетний период своего существования технология производства хризотилцементных изделий совершенствовалась в вопросах модернизации производства, обновления оборудования, а также в экологическом и экономическом аспектах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Тарская-Лаптева, Е.Г., Репина, Ж.В.* Хризотилцементные строительные материалы. Москва : Хризотилевая ассоциация, 2020. 174 с.
2. *Хризотилевая ассоциация* : [сайт]. URL: <http://www.chrysotile.ru> (дата обращения: 20.03.2026).
3. *Соколов, П.Н.* Технология асбестоцементных изделий. Москва : Стройиздат, 1968. 294 с.
4. *Берней, И.И.* Технология асбестоцементных изделий. Москва : Высшая школа, 1977. 226 с.
5. *Мешков, Г.В., Волчек, И.З.* Производство асбестоцементных изделий. Москва : Высшая школа, 1976. 191 с.
6. *Берней, И.И., Колбасов, В.М.* Технология асбестоцементных изделий. Москва : Стройиздат, 1985. 400 с.
7. *Берней, И.И.* Теория формования асбестоцементных листов и труб. Москва : Стройиздат, 1988. 288 с. ISBN 5-274-00145-9.
8. *Барабаничиков, Ю.Г.* Строительные материалы и изделия. Москва : Академия, 2014. 416 с. ISBN 978-5-4468-1030-7.
9. *Перлин, В.Д., Грачева, О.И., Зевин Л.С.* Исследование структуры, физико-химических и механических свойств хризотил-асбеста как сырья для асбестоцементной промышленности // Неметаллические полезные ископаемые гипербазитов. Москва : Наука, 1973. С. 111–120.
10. *Naumann, A.W., Dresher, W.H.* The morphology of chrysotile asbestos as inferred from nitrogen adsorption data // American Mineralogist. 1966. V. 51. № 5–6. P. 711–725.
11. *Whitaker, E.J.W.* Diffraction contrast in electron microscope of chrysotile // Acta Crystallographica. 1966. V. 21. P. 461–466. DOI: 10.1107/s0365110x6600330x

12. Young, G.J., Healey, F.H. The physical structure of asbestos // The Journal of Physical Chemistry, 1954. V. 58. № 10. P. 881–884.
13. Punenkov, S.E. Composite materials based on natural chrysotile fibers // Chemical Bulletin. 2024. V. 7. № 1. P. 4–21. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-1-4-21
14. Пуненков, С.Е. Хризотилловые волокна и хризотилцементные изделия на их основе // Горный журнал Казахстана. 2024. № 2. С. 12–25. <https://doi.org/10.48498/minmag.2024.226.2.006>
15. Козлов, Ю.С. Хризотил-асбест и ресурсосбережение в хризотил-асбестовой отрасли // Горный журнал Казахстана. 2022. № 1. С. 5–10. <https://doi.org/10.48498/minmag.2022.201.1.001>
16. Кагановский, О.С., Градобоев, О.В., Плугин, А.А. Высокоэффективные композиционные материалы на основе минеральных и синтетических волокон: проблемы производства хризотил-цемента // Сборник научных трудов Украинского государственного университета железнодорожного транспорта. Харьков : УкрДУЗТ, 2013. Вып. 138. С. 47–50. DOI: 10.18664/1994-7852.138.2013.102272
17. Пуненков, С.Е. Хризотилловые волокна и хризотилцементные изделия на их основе // Горный журнал Казахстана. 2024. № 2. С. 12–25. <https://doi.org/10.48498/minmag.2024.226.2.006>
18. Пуненков, С.Е. Высокоэффективные натуральные композиционные материалы на основе наноматериала – природных хризотилловых волокон // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2024. № 3. С. 100–113. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-3-100-113
19. Патент № 2057741 Российская Федерация, МПК C04B 38/00, C04B 14/38, C04B 111/20. Композиция для получения теплоизоляционного материала : заявл. 01.04.1992 : опубл. 10.04.1996 / Николаев А.С., Коробов В.А., Нахшин М.Ю., Каменцев М.В. ; патентообладатель ГНПП «Квант». 6 с.
20. Патент № 1573010 СССР, МПК C04B 18/24, C04B 14/40. Сырьевая смесь для изготовления теплоизоляционного материала : заявл. 23.05.1988 : опубл. 23.06.1990 / Батманов М.Б., Коробов В.А., Джуламанов К.Д., Асылханов С.А. ; патентообладатель Казахский ГНИПИ нефтяной промышленности. 2 с.
21. Патент № 1583386 СССР, МПК C04B 28/02, C04B 14/18. Сырьевая смесь для изготовления автоклавных теплоизоляционных материалов : заявл. 01.02.1988 : опубл. 07.08.1990 / Удачкин И.Б., Червяков Ю.Н., Филатов А.Н., Лаповская С.Д. и др. ; патентообладатель ГосНИИ строительных материалов. 3 с.
22. Патент № 2232151 Российская Федерация, МПК C04B 40/00. Способ производства асбестоцементной плиты под фасад : заявл. 01.02.1988 : опубл. 07.08.1990 / Малоедов С.Д., Яланский Я.В. ; патентообладатель ООО «Комбинат «Волна». 4 с.
23. Патент № 1749212 СССР, МПК C04B 28/04, C04B 40/00. Способ приготовления асбестоцементной суспензии под фасад : заявл. 28.06.1990 : опубл. 23.07.1992 / Байрамов Ф.А., Оруджев Ф.М., Расулов Х.И., Ахмедов Н.А. ; патентообладатель НИПИ строительных материалов им. С.А. Дадашева. 2 с.
24. Патент № 1168540 СССР, МПК C04B 38/02. Способ приготовления асбестоцементной суспензии : заявл. 21.01.1982 : опубл. 23.07.1985 / Беркович Т.М., Молев В.К. ; патентообладатель ВНИИ асбестоцементной промышленности. 4 с.
25. Патент № 1728169 СССР, МПК C04B 28/04, C04B 14/40. Сырьевая смесь для изготовления асбестоцементных изделий : заявл. 25.10.1989 : опубл. 23.04.1992 / Лузин В.П., Лузина Л.П., Елфимов А.И., Половнев Б.А. ; патентообладатель ВНИИ геологии нерудных полезных ископаемых. 5 с.
26. Патент № 2050386 Российская Федерация, МПК C08K 13/02, C08L 83/04, C08K 5/098, C08K 7/12. Пропиточный состав : заявл. 01.07.1993 : опубл. 20.12.1995 / Везенцев А.И., Захаров В.А., Насонова А.Н. и др. ; патентообладатель Белгородский технологический институт строительных материалов. 8 с.
27. Патент № 2351561 Российская Федерация, МПК C04B 26/26, C08L 95/00. Способ армирования асфальтобетонной смеси : заявл. 29.12.2006 : опубл. 10.04.2009 / Дедюхин А.Ю., Телюфанова О.П., Булдаков С.И. [и др.] ; патентообладатели Дедюхин А.Ю., Телюфанова О.П., Булдаков С.И. [и др.]. 10 с.
28. Патент № 1178821 СССР, МПК D21H 5/18. Способ изготовления асбестового картона и бумаги : заявл. 19.07.1984 : опубл. 15.09.1985 / Солодовников Д.Н., Везенцев А.И., Смоликов А.А., Маматов А.М. ; патентообладатель Белгородский технологический институт им. И.А. Гришманова. 3 с.

29. Патент № 2338717 Российская Федерация, МПК C04B 28/26, C04B 18/14, C04B 18/12, C04B 14/38. Теплоизоляционный материал : заявл. 25.01.2007 : опубл. 20.11.2008 / Щепочкина Ю.А. ; патентообладатель Щепочкина Ю.А. 4 с.
30. Патент № 2597922 Российская Федерация, МПК B32B 25/02, C09K 3/10. Паронит маслобензостойкий : заявл. 19.11.2014 : опубл. 20.09.2016 / Сафонов В.Г., Седов М.П., Шраер И.И., Сафонов Е.В.; патентообладатель ЗАО «Вати-Пром». 5 с.
31. Патент № 1796644 СССР, МПК C08L 95/00, C08K 7/02. Водоземлюльсионная мастика : заявл. 26.06.1990 : опубл. 23.02.1993 / Проскуряков С.В., Паукку А.Н., Русанов Д.В., Овчинников В.А. ; патентообладатели ЛНПО «Пигмент», МТПО «Резерв». 3 с.
32. Патент № 1738095 СССР, МПК E21D 11/00. Защитное покрытие : заявл. 24.07.1990 : опубл. 30.05.1992 / Назин Б.И., Сеницын Ф.Ф. ; патентообладатели Назин Б.И., Сеницын Ф.Ф. 3 с.
33. Патент № 2601327 Российская Федерация, МПК C08L 95/00, C04B 26/26, C04B 14/40, C04B 24/36. Способ получения стабилизирующей добавки для щебеночно-мастичного асфальтобетона : заявл. 05.08.2015 : опубл. 10.11.2016 / Литвинов А.А., Мазепа П.В. ; патентообладатель ОАО «Ураласбест». 12 с.
34. Патент № 2664915 Российская Федерация, МПК H01M 6/36, C06B 21/00. Способ изготовления пиронагревателей : заявл. 25.09.2017 : опубл. 23.08.2018 / Варёных Н.М., Вагонов С.Н., Присянюк В.В., Суворов И.С., Романов В.И. ; патентообладатель АО «ФНПЦ «НИИ прикладной химии». 8 с.
35. Патент № 2399650 Российская Федерация, МПК C10M 125/26, C10M 177/00. Способ получения нанодисперсного противозносного состава (НДПС) и содержащая его смазочная композиция : заявл. 26.12.2008 : опубл. 20.09.2010 / Поляков С.А., Хазов С.П. ; патентообладатель ОАО «Российские железные дороги». 9 с.
36. Патент № 2768884 Российская Федерация, МПК C04B 28/02, C04B 14/40, C04B 40/00. Комплексная добавка для силикатных композиционных материалов и способ ее приготовления : заявл. 02.08.2021 : опубл. 25.03.2022 / Яковлев Г.И., Полянских И.С., Саидова З.С., Кузьмина Н.В. ; патентообладатель Яковлев Г.И. 10 с.
37. Патент № 2297933 Российская Федерация, МПК C04B 38/02. Поробетон : заявл. 29.08.2005 : опубл. 27.04.2007 / Удачкин И.Б., Удачкин В.И., Смирнов В.М., Колесников В.Е. ; патентообладатели Удачкин И.Б., Удачкин В.И., Смирнов В.М., Колесников В.Е. 5 с.
38. Пиканеров, Д.Ю., Мартынов, В.Д. Композиционный материал на основе асбеста // Современные тенденции развития науки и производства : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Кемерово, 28 февраля 2017 г. Том I. Кемерово : ЗапСибНЦ, 2017. С. 12–16. EDN: YLBPPD
39. Яковлев, Г.И., Черни, В., Пудов, И.А., Полянских, И.С., Саидова, З.С., Бегунова, Е.В., Семёнова, С.Н. Свойства цементных матриц с повышенной электропроводностью // Строительные материалы. 2022. № 1–2. С. 11–20. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-802-5-73-76>
40. Забродина, Н.А., Бастраков, В.М., Алибеков, С.Я., Забродин, Н.Г. Разработка и исследование полимерного композиционного материала с заданными физико-механическими свойствами // Инновации и инвестиции. 2020. № 8. С. 158–160.
41. Хантимиров, А.Г., Сулейманов, А.М., Абдрахманова, Л.А., Низамов, Р.К., Хохряков, О.В. Влияние модификации на долговечность поливинилхлоридных древесно-полимерных композитов // Известия КГАСУ. 2023. № 3 (65). С. 26–35. DOI: 10.52409/20731523_2023_3_26. EDN: CMSMHV
42. Егорова, А.Д., Попов, А.Л., Заровняев, П.П., Дуюков, Т.Т. Влияние микроармирования хризотил-асбестом разных марок на свойства и структуру пен // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 24–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-24-31. EDN: WWHMTW
43. Novikova, V.A., Tulegenova, A.V., Sharanova, A.A. Modification of cement binders with chrysotile asbestos nanostructure // International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering. 2019. № 1. P. 20–24. EDN: ZLMFQN
44. Мальцев, Г.И., Юрьев, Ю.Л. Применение винил- и винилиден-хлоридных латексов при изготовлении асбестового картона // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14. № 1 (53). С. 151–169. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/9
45. Патент № 2460742 Российская Федерация, МПК C08J 5/16, C08L 27/18, 27/12. Антифрикционная полимерная композиция : заявл. 19.11.2011 : опубл. 27.05.2012 / Слеп-

- цова С.А. ; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова». 6 с.
46. Saidova, Z., Yakovlev, G., Smirnova, O., Gordina, A., Kuzmina, N. Modification of Cement Matrix with Complex Additive Based on Chrysotyl Nanofibers and Carbon Black // *Applied Sciences*. 2021. V. 11. Art. 6943. DOI: 10.3390/app11156943
 47. Пучков, А.Ф., Спиридонова, М.П., Куцов, Д.А., Куцов, А.Н. Эластомерные композиции с асбестом хризотилловым, модифицированным лактамсодержащим расплавом // *Известия ВолгГТУ*. 2021. С. 77–82. DOI: 10.35211/1990-5297-2021-12-259-77-82
 48. Долотова, Р.Г., Верецагин, В.И., Смирнская, В.Н. Процессы фазообразования и формирования пористой структуры газобетона на основе портландцемента с использованием полевошпатово-кварцевого песка и волокон асбеста // *Известия Томского политехнического университета*. 2011. Т. 319. № 3. С. 47–51.
 49. Наумова, Л.Н. Эпоксидсодержащий клеевой состав с армирующими волокнами хризотила // *Инженерный Вестник Дона*. 2025. № 9. С. 382–389.
 50. Наумова, Л.Н. Изменение химического состава эпоксидно-полиэфирной порошковой композиции на основе модифицированных волокон хризотила // *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2025. № 6. С. 197–211. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2025-27-6-197-211>. EDN: MIGBLX
 51. Наумова, Л.Н. Повышение физико-механических характеристик цементного композиционного материала на основе модифицированного волокна хризотила // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2025. № 8. С. 8–17. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-8-8-17>
 52. Павленко, В.И., Наумова, Л.Н., Едаменко, О.Д., Носков, А.В., Соколенко, И.В. Модифицированный нанотрубчатый хризотил для получения композиционного радиационно-защитного материала // *Физика и химия обработки материалов*. 2015. № 1. С. 91–96. EDN: TJHZQX

REFERENCES

1. Tarskaya-Lapteva, E.G., Repina, Zh.V. Chrysotile Cement Building Materials. Moscow: Khrisatilovaya assotsiatsiya, 2020. 174 p. (In Russian)
2. Chrysotile Association. Available: www.chrysotile.ru (accessed May 20, 2024). (In Russian)
3. Sokolov, P.N. Technology of Asbestos Cement Products. Moscow: Stroyizdat, 1968. 294 p. (In Russian)
4. Berney, I.I. Technology of Asbestos-cement Products. Moscow: Vysshaya shkola, 1977. 226 p. (In Russian)
5. Meshkov, G.V., Volchek, I.Z. Production of Asbestos Cement Products. Moscow: Vysshaya shkola, 1982. 208 p. (In Russian)
6. Berney, I.I., Kolbasov, V.M. Technology of Asbestos Cement Products. Moscow: Stroyizdat, 1985. 400 p. (In Russian)
7. Berney, I.I. Theory of Asbestos Cement Sheet and Pipe Formation. Moscow: Stroyizdat, 1988. 229 p. (In Russian)
8. Barabanshchikov, Yu.G. Building Materials and Products. Moscow: Akademiya, 2014. 415 p. (In Russian)
9. Perlin, V.D. Structure, Properties and Application of Chrysotile Asbestos in Asbestos Cement Industry. *Itogi nauki i tekhniki. Ser. Nemetallicheskie poleznye iskopaemye*. 1973; 2: 74–127. (In Russian)
10. Naumann, A.W., Drescher, W.H. The Morphology of Chrysotile Asbestos as Inferred from Nitrogen Adsorption Data. *American Mineralogist*. 1966; 51(5–6): 711–725.
11. Whitaker, E.J.W. Diffraction Contrast in Electron Microscope of Chrysotile. *Acta Crystallographica*. 1966; 21: 461–466. DOI: 10.1107/s0365110x6600330x
12. Yang, G.J., Hiale, F.H. The Physical Structure of Asbestos. *Journal of Physical Chemistry*. 1954; 58(10): 881–884.
13. Punenkov, S.E. Composite Materials Based on Natural Chrysotile Fibers. *Chemical Bulletin*. 2024; 7(1): 4–21. DOI: 10.58224/2619-0575-2024-7-1-4-21
14. Punenkov, S.E. Chrysotile Fibers and Chrysotile Cement Produced therefrom. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*. 2024; (2): 12–25. (In Russian)

15. Kozlov, Yu.S. Chrysotile Asbestos and Resource Saving in the Chrysotile-asbestos Industry. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*. 2022; (1): 5–10. (In Russian)
16. Kaganovsky, O.S., Gradoboev, O.V., Plugin, A.A. High-performance Composite Materials based on Mineral and Synthetic Fibers: Problems of Chrysotile-cement Production. *Coll Papers: Ukr-DUZT*. 2013; (138): 47–50. (In Russian)
17. Punenkov, S.E. Chrysotile Fibers and Chrysotile-cement Products Therefrom. *Gornyi zhurnal Kazakhstana*. 2024; (2): 12–25. <https://doi.org/10.48498/minmag.2024.226.2.006> (In Russian)
18. Punenkov, S.E. Highly Efficient Natural Composite Materials based on Nanomaterials–Natural Chrysotile Fiber. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2024; (3): 100–113. DOI: 10.21440/0536-1028-2024-3-100-113 (In Russian)
19. Nikolaev, A.S., Korobov, V.A., Nakhshin, M.Yu., Kamentsev, M.V. Composition for Heat-insulating Material Production. Russ. Fed. Patent No. 2057741. 1996. 6 p. (In Russian)
20. Batmanov, M.B., Korobov, V.A., Dzhamanov, K.D., Asylkhanov, S.A. Raw Mixture for the Production of Heat-insulating Material. USSR Patent No. 1573010. 1990. (In Russian)
21. Udachkin, I.B., Chervyakov, Yu.N., Filatov, A.N., Lapovskaya, S.D., et al. Raw Mixture for the Production of Autoclave Heat-insulating Materials. USSR Patent No. 1583386. 1990. 2 p. (In Russian)
22. Maloedov, S.D., Yalanskiy, Ya.V. Method for Producing Asbestos Cement Facade Slab. Russ. Fed. Patent No. 2232151. 1990. 4 p. (In Russian)
23. Bayramov, F.A., Orudzhev, F.M., Rasulov, Kh.I., Akhmedov, N.A. Production Method of Asbestos Cement Suspension for Facade. USSR Patent No. 1749212. 1992. 2 p. (In Russian)
24. Berkovich, T.M., Molev, V.K. Production Method of Asbestos Cement Suspension. USSR Patent No. 1168540. 1985. 4 p. (In Russian)
25. Luzin, V.P., Luzina, L.P., Elfimov, A.I., Polovnev, B.A. Raw Mixture for the Production of Asbestos Cement Products. USSR Patent No. 1728179. 1992. 5 p. (In Russian)
26. Vezentsev, A.I., Zakharov, V.A., Nasonova, A.N., et al. Impregnating Composition. Russ. Fed. Patent No. 2050386. 1995. 8 p. (In Russian)
27. Dedyukhin, A.Yu., Telyufanova, O.P., Buldakov, S.I., et al. Method of Reinforcing Asphalt Concrete Mixture. Russ. Fed. Patent No. 2351561. 2009. 10 p. (In Russian)
28. Solodovnikov, D.N., Vezentsev, A.I., Smolikov, A.A., Mamatov, A.M. Production Method of Asbestos Cardboard and Paper. USSR Patent No. 1178821. 1985. 3 p. (In Russian)
29. Shchepochkina, Yu.A. Heat-insulating Material. Russ. Fed. Patent No. 2338717. 2008. 4 p. (In Russian)
30. Safonov, V.G., Sedov, M.P., Shraer, I.I., Safonov, E.V. Oil-and-petrol-resistant Paronite. Russ. Fed. Patent No. 2597922. 2016. 5 p. (In Russian)
31. Proskuryakov, S.V., Pauku, A.N., Rusanov, D.V., Ovchinnikov, V.A. Water-emulsion Mastic. USSR Patent No. 1796644. 1993. 3 p. (In Russian)
32. Nazin, B.I., Sinitsyn, F.F. Protective Coating. USSR Patent No. 1738095. 1992. 3 p. (In Russian)
33. Litvinov, A.A., Mazepa, P.V. Production Method of Stabilizing Additive for Crushed Stone-Mastic Asphalt Concrete. Russ. Fed. Patent No. 2601327. 2016. 12 p. (In Russian)
34. Varenikh, N.M., Vagonov, S.N., Prosyannuk, V.V., Suvorov, I.S., Romanov, V.I. Method for Manufacturing Pyrotechnical Heaters. Russ. Fed. Patent No. 2664915. 2018. 8 p. (In Russian)
35. Polyakov, S.A., Khazov, S.P. Production Method of Nanodisperse Anti-wear Composition and a Lubricating Composition Containing it. Russ. Fed. Patent No. 2399650. 2010. 9 p. (In Russian)
36. Yakovlev, G.I., Polyanskikh, I.S., Saidova, Z.S., Kuzmina N.V. Complex Additive for Silicate Composite Materials and Production Method. Russ. Fed. Patent No. 2768884. 2022. (In Russian)
37. Udachkin, I.B., Udachkin, V.I., Smirnov, V.M., Kolesnikov, V.E. Aerated Concrete. Russ. Fed. Patent No. 2297933. 2007. 5 p. (In Russian)
38. Pikanerov, D.Yu., Martynov, V.D. Asbestos Based Composite. In: *Proc. 5th Int. Sci. Conf. 'Modern Trends in Science and Production Development'*, vol. 1, Kemerovo, 2017. Pp. 12–16. EDN: YLBPPD (In Russian)
39. Yakovlev, G.I., Cherni, V., Pudov, I.A., Polyanskikh, I.S., Saidova, Z.S., Begunova, E.V., Semenova, S.N. Properties of Cement Matrices with Increased Electrical Conductivity. *Stroitel'nye materialy*. 2022; (1–2): 11–20. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-799-1-2-11-20 (In Russian)
40. Zabrodina, N.A., Bastrakov, V.M., Alibekov, S.Ya., Zabrodin, N.G. Polymer Composite Material with Specified Physical and Mechanical Properties. *Innovatsii i investitsii*. 2020; (8): 158–160. (In Russian)

41. Khantimirov, A.G., Suleimanov, A.M., Abdrakhmanova, L.A., Nizamov, R.K., Khokhryakov, O.V. Modification of Polyvinyl Chloride Wood-polymer Composites and its Effect on Durability. *Izvestiya KGASU*. 2023; 3(65): 26–35. DOI: 10.52409/20731523_2023_3_26. EDN: CMSMHV (In Russian)
42. Egorova, A.D., Popov, A.L., Zarovnyaev, P.P., Duyukov, T.T. Influence of Micro-reinforcement with Different Grades of Chrysotile Asbestos on Foam Properties and Structure. *Vestnik BGTU im. V.G. Shukhova*. 2020; (4): 24–31. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-24-31 (In Russian)
43. Novikova, V.A., Tulegenova, A.V., Sharanova, A.A. Modification of Cement Binders with Chrysotile Asbestos Nanostructure. *International Journal of Advanced Studies in Computer Engineering*. 2019;(1): 20–24. EDN: ZLMFQN
44. Maltsev, G.I., Yuriev, Yu.L. Application of Vinyl and Vinylidene Chloride Latexes in Asbestos Cardboard Manufacture. *Lesotekhnicheskii zhurnal*. 2024; 14(1): 151–169. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/9 (In Russian)
45. Sleptsova, S.A. Antifriction Polymer Composition. Russ. Fed. Patent No. 2460742. 2012. 6 p. (In Russian)
46. Saidova Z., Yakovlev, G., Smirnova, O., Gordina, A., Kuzmina, N. Modification of Cement Matrix with Complex Additive Based on Chrysotyl Nanofibers and Carbon Black. *Applied Sciences*. 2021; 11: 6943. DOI: 10.3390/app11156943
47. Puchkov, A.F., Spiridonova, M.P., Kutsov, D.A., Kutsov, A.N. Elastomer Compositions with chrysotile Asbestos Modified by Lactam-containing Melt. *Izvestiya VolgGTU*. 2021: 77–82. DOI: 10.35211/1990-5297-2021-12-259-77-82 (In Russian)
48. Dolotova, R.G., Vereshchagin, V.I., Smirenskaya, V.N. Phase and Porous Structure Formation of Gas Concrete Based on Portland Cement using Feldspar-quartz Sand and Asbestos Fibers. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2011; 319(3): 47–51. (In Russian)
49. Naumova, L.N. Epoxy-Containing Adhesive Composition with Reinforcing Chrysotile Fiber. *Inzhenernyi Vestnik Dona*. 2025; (9): 382–389. (In Russian)
50. Naumova, L.N. Chemical Composition of Epoxy-polyester Powders Based on Modified Chrysotile Fiber. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture*. 2025; 27(6): 197–211. <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2025-27-6-197-211>. EDN: MIGBLX (In Russian)
51. Naumova, L.N. Improvement of Physical and Mechanical Characteristics of Cement Composite Material Based on Modified Chrysotile Fiber. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova*. 2025; (8): 8–17. <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2025-10-8-8-17> (In Russian)
52. Pavlenko, V.I., Naumova, L.N., Edamenko, O.D., Noskov, A.V., Sokolenko, I.V. Modified Nanotubular Chrysotile for Composite Radiation-shielding Material Production. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*. 2015; (1): 91–96. EDN: TJHZQX (In Russian)

Сведения об авторах

Наумова Людмила Николаевна, канд. техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, naumova_ln@mail.ru

Строкова Валерия Валерьевна, докт. техн. наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, vvstrokova@gmail.com

Куценко Павел Александрович, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, kutspv@yandex.ru

Рулев Данил Андреевич, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, danilruly22@gmail.com

Абзалилова Алина Валентиновна, канд. техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, alina.ishchenko.92@mail.ru

Authors Details

Lyudmila N. Naumova, PhD, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, naumova_ln@mail.ru

Valeria V. Strokova, DSc, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, vvstrokova@gmail.com

Pavel A. Kutsenko, Research Assistant, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, kutspv@yandex.ru

Danil A. Rulev, Research Assistant, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, danilrulv22@gmail.com

Alina V. Abzalilova, PhD, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46, Kostyukova, 308012, Belgorod, Russia, alina.ishchenko.92@mail.ru

Вклад авторов

Наумова Л.Н. – исследование, сбор материала, написание исходного текста, итоговые выводы.

Строкова В.В. – научное руководство, доработка текста, итоговые выводы.

Куценко П.А. – участие в анализе источников, подбор и анализ данных для иллюстраций.

Рулев Д.А. – участие в анализе источников, участие в разработке иллюстраций.

Абзалилова А.В. – участие в анализе источников, участие в разработке иллюстраций.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

Naumova L.N.: investigation; data collection; writing–original draft preparation.

Strokova V.V.: supervision; writing–review and editing.

Kutsenko P.A., Rulev D.A. and Abzalilova A.V.: data curation

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.05.2026
Одобрена после рецензирования 20.05.2026
Принята к публикации 01.06.2026

Submitted for publication 14.05.2026
Approved after review 20.05.2026
Accepted for publication 01.06.2026