

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА
РХТУ.Р.03 РХТУ им. Д. И. Менделеева
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от 23 октября 2020 года, протокол № 1

О присуждении ученой степени кандидата технических наук Зин Мин Хтету, представившего диссертационную работу на тему «Композиционные материалы на основе жидкостеклольного связующего для теплоизоляции» по научной специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Принята к защите 31 августа 2020 года на заседании Аттестационной комиссии РХТУ им. Д. И. Менделеева, протокол № 7.

Состав диссертационного совета утвержден в количестве 10 человек приказом ректора РХТУ им. Д.И. Менделеева № 81 ОД от «15» сентября 2020 г.

Соискатель Зин Мин Хтет родился 22 сентября 1990 года в городе Нахтоджи Республики Союз Мьянма. В 2007 году поступил на обучение в Янгонский технологический университет, в 2010 году присуждена степень бакалавра. В 2012 г продолжил обучение в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева». в магистратуре на кафедре кибернетики химико-технологических процессов. После получения диплома магистра в 2015 г продолжил обучение в аспирантуре на кафедре общей технологии силикатов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», которое завершил 2019 г.

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Композиционные материалы на основе жидкостеклольного связующего для теплоизоляции» по научной специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов защитил в 2020 году в диссертационном совете РХТУ.Р.03, созданном на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Диссертация выполнена на кафедре общей технологии силикатов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Научный руководитель: доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры общей технологии силикатов Тихомирова Ирина Николаевна.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук Косенко Надежда Федоровна, профессор кафедры технологии керамики и наноматериалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет»

кандидат технических наук Сафронова Татьяна Викторовна, старший научный сотрудник кафедры неорганической химии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

Ведущая организация - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ).

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены в 8 научных работах, опубликованных соискателем, в том числе в 3 публикациях в рецензируемых изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Тихомирова И.Н., Макаров А.В., Зин Мин Хтет. Теплоизоляционные материалы на основе вспученного вермикулита и вспененного жидкого стекла/Новые огнеупоры. – 2020. – № 8. – С 41–45 (WoS, Scopus).

В данной статье приведены исследования свойств теплоизоляционных материалов, изготовленных на основе вспученного вермикулита и жидкостеклольного связующего, полученного вспениванием с помощью пенообразователя и объемно отвержденного за счет химической реакции с кремнефтористым натрием. Зин Мин Хтет является основным автором работы, он определил соотношения между количеством связующего и наполнителя, которые дают возможность

формовать изделия литьевым способом и получать материалы с разной прочностью, теплопроводностью и плотностью.

2. Зин Мин Хтет, Тихомирова И.Н. Технология получения композиционного теплоизоляционного материала с использованием натриевого жидкого стекла и минеральных наполнителей //Техника и технология силикатов. – 2019. – Т. 26, № 1. С. 14–19 (RSCI WoS).

В статье внимание уделено получению теплоизоляционных материалов на основе связующего и волластонита. В данной работе приведены данные эксперимента, проведенного Зин Мин Хтетом, по подбору вида и количества пенообразователя, обеспечивающие получение масс с разным коэффициентом вспенивания и определены соотношения между количеством связующего и волластонита. В образцах на основе волластонита были определены такие свойства материала, как теплопроводность, прочность при сжатии и кажущаяся плотность.

3. Зин Мин Хтет, Тихомирова И.Н. Теплоизоляционный материал на основе вспученного перлита и вспененного минерального связующего // Строительные материалы. – 2019. – № 1–2. – С. 107–112 (RSCI WoS).

Статья посвящена проблеме создания эффективного огнестойкого минерального теплоизоляционного материала на базе связующего, основу которого составляет гель кремневой кислоты, получаемый объемным отверждением вспененного натриевого жидкого стекла, и вспученного перлита. В статье приведены данные эксперимента Зин Мин Хтета по подбору вида и количества пенообразователя, обеспечивающие получение масс с разным коэффициентом вспенивания. Определены соотношения между количеством связующего и перлита, которые дают возможность формовать изделия литьевым способом и получать материалы с разной прочностью и плотностью. Рассмотрены способы упрочнения материала за счет частичного введения в состав пылевидного кварца, а также за счет модифицирования жидкого стекла.

Результаты диссертационной работы также апробированы на 5 всероссийских и международных научных конференциях Зин Мин Хтет участвовал в подготовке материалов конференций и выступал в качестве докладчика. Опубликовано 5 материалов докладов. В том числе устный доклад Зин Мин Хтета на международной конференции в Италии (Zin Min Htet, Tikhomirova Irina Nikolaevna, Karpenko Marina A. Mineral Thermal Insulation Materials Based on Sodium Liquid Glass. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, International Science Index. – 2018. – Т. 12, № 7. – С. 1912–1915) был посвящен исследованиям в области технологии получения теплоизоляционных материалов на основе жидкого стекла и различных легких наполнителей.

На диссертацию и автореферат постушили отзывы:

1. Отзыв на диссертацию официального оппонента, доктора технических наук, профессора кафедры технологии керамики и наноматериалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» Косенко Надежды Федоровны.

В отзыве отражены актуальность темы, научная новизна, практическая значимость, достоверность и надежность полученных данных, приведен общий обзор работы, и выводы диссертации.

Замечания по работе:

1. При использовании метода планирования эксперимента автор не приводит матрицы планирования, которые содержат информацию о диапазонах изменения учитываемых параметров.

2. На рис. 3.3 приведены зависимости коэффициента вспенивания от концентрации пенообразователя для стекол с модулем 2,93 и разной плотностью, характер которых заметно различается: для плотности 1,485 и 1,385 кг/м³ наблюдаются плавные кривые, а для 1,24 кг/м³ – резкое возрастание коэффициента до содержания пенообразователя 1 % и дальнейший постепенный рост без выхода зависимости на плато. Однако автор в работе не обсуждает данное различие.

3. Использованный в работе цеолитсодержащий трепел Хотынецкого месторождения имеет до 27 % аморфного кремнезема, около 40 % клиноптилолита, и около 12 % глинистых минералов (табл. 2.4). Вместе с тем, роль цеолита, а также монтмориллонита и глауконита не проанализирована. Представляло бы интерес сопоставить полученные результаты с материалом, содержащим только природный цеолит.

4. В экспериментальной части указано применение термического анализа для определения состава сырьевых материалов и продуктов, однако в обсуждении результатов такие данные отсутствуют.

5. Кристаллы муллита действительно могут иметь призматическую и даже игольчатую форму. Однако после измельчения отходов муллитовых огнеупоров для частиц порошка удлиненный габитус уже не характерен (рис. 3.38), поэтому сопоставление результатов, полученных для муллитсодержащего наполнителя, с волластонитом вряд ли целесообразно.

6. Диссертант использует некоторые устаревшие термины и единицы измерения: окись и гидроокись (вместо *оксид* и *гидроксид*), удельный вес и объемный вес (вместо *плотность* и *объемная масса*), ангстремы и $\text{кг}/\text{см}^2$ для прочности (вместо *нм* и *H*), ккал (вместо *кДж*), $\text{гр}/\text{см}^3$. Кроме того, имеются опечатки, ошибки в согласовании слов (например на с. 18), значительная часть уравнений не пронумерованы (например на с 35). Уравнение с Na_2SiF_6 является схемой, а не уравнением, т.к. отсутствует баланс. Размерность удельной поверхности (с. 50) указана в $\text{г}/\text{см}^2$ вместо $\text{м}^2/\text{кг}$ (или $\text{см}^2/\text{г}$). На гистограмме (рис. 3.21) прочность при сжатии приведена в порядке убывания срока твердения, хотя логичнее был бы обратный порядок.

Заключение по работе положительное.

Диссертационная работа Зин Мин Хтета "Композиционные материалы на основе жидкостекольного связующего для теплоизоляции" является самостоятельно выполненной, оригинальной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основе выполненных автором экспериментов изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития отрасли теплоизоляционных материалов в РФ и Республике Мьянма.

Тематика работы, её содержание, а также содержание публикаций автора соответствуют паспорту специальности 05.17.11– Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Учитывая актуальность, научную новизну и практическую значимость в части отдельных полученных результатов, следует считать, что диссертация "Композиционные материалы на основе жидкостекольного связующего для теплоизоляции" отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденное Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020), с учетом соответствия паспортам специальностей. а ее автор Зин Мин Хтет заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента, кандидата технических наук, старшего научного сотрудника кафедры неорганической химии. Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» Сафроновой Татьяны Викторовны.

В отзыве оппонент отмечает актуальность представленной диссертационной работы, выделены основные проведенные экспериментальные исследования, полученные данные и результаты, отмечены их новизна и практическая значимость.

Замечания по работе:

1. В работе указано, что в качестве пенообразователей в работе были использованы следующие композиции пенообразователей: «Пионер-118», «ПБ-2000» и «ПБ-Люкс». Для основной серии экспериментов был выбран «ПБ-Люкс». Что особенного в составе данной добавки, определяющей ее преимущество перед другими, рассмотренными в работе? В чем состоит особенность взаимодействия добавки с компонентом (жидким стеклом) формирующим матрицу композита, представляющего собой сложную дисперсную систему «(газообразное + твердое) в твердом»? Кто является производителем данной порообразующей добавки? Если разработанный материал предполагается использовать на Родине соискателя, открывает ли его работа возможности расширения рынков для производителя добавки?

2. Рис. 2.3. Принципиальная схема приготовления образцов теплоизоляционного материала. Стадия в технологической схеме обозначена как «Выдержка изделий в течение суток при температуре 20-30 градусов, после чего происходит извлечение изделий (образцов) из формы» в общем-то, по сути, включает в себя 2 стадии и это могло быть отражено в схеме. Требуется уточнение относительно того, чем температура 20-30°C, указанная для этой стадии отличается от комнатной температуры следующей стадии, которая обозначена как «Твердение образцов при комнатной температуре». Мне представляется необходимым все-таки разделять смысл названия стадий и физико-химических процессов, протекающих на рассматриваемых стадиях.

3. Предложения, в которых комментируется схема получения образцов/изделий, звучат не однозначно. «Она (схема) предполагает дозирование...». А в следующем предложении «Затем эта масса взбивалась». Возможно, пропущено предложение при описании методики, что может быть расценено как некритичное недоразумение, поскольку в целом схема и комментарии к ней дают представление о том, как материал может быть получен.

4. С чем был связан выбор минеральных наполнителей, использованных в работе при создании новых теплоизоляционных материалов.

Заключение по работе положительное.

Диссертация Зин Мин Хтета на тему: «Композиционные материалы на основе жидкостекольного связующего для теплоизоляции» является самостоятельно выполненной,

оригинальной, завершённой научно-квалификационной работой, в которой представлены результаты научных исследований, на основе которых предложена технология новых теплоизоляционных материалов, которые могут быть использованы в тех отраслях экономики РФ и Республики Мьянма, в которых актуальными являются вопросы энергосбережения. Тематика работы, её содержание, а также содержание публикаций автора соответствуют паспорту специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов». Учитывая актуальность, научную новизну и практическую значимость полученных результатов, следует считать, что диссертация на тему: «Композиционные материалы на основе жидкостеклового связующего для теплоизоляции» удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ NQ842 от 24.09.13 в редакции от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020) с учетом соответствия паспортам специальностей, а ее автор, Зин Мин Хтет, заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

3. Отзыв на диссертацию ведущей организации — Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ).

В отзыве отмечается актуальность темы, сформулированные и решенные задачи, научная новизна, практическая значимость, конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов работы. Отзыв на диссертацию рассмотрен «22 » сентября 2020 г. на заседании кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) и одобрен Протокол № 3 от «22» сентября 2020 г.

По работе имеются следующие замечания:

1. Автор говорит о водостойкости теплоизоляционного материала, но не приводит количественной оценки этого свойства, например в виде коэффициента размягчения.

2. В работе не приведена оценка точности полученных экспериментальных данных, прежде всего это касается результатов по прочности.

3. Во второй главе указан метод определения вязкости жидкого стекла, но в работе эта характеристика в экспериментальной части нигде не задействована.

4. Имеются некоторые погрешности в оформлении реферата и диссертации, выражающиеся в наличии стилистических и синтаксических ошибках.

5. Автором не приведена оценка стоимости изделий на основе предлагаемого материала и ее сравнение с имеющимися пеностеклом, пеноцементными материалами, газо- и пеносиликатными изделиями. Такое сравнение помогло бы более четко вычленить ту нишу на рынке, которую бы занял этот материал и изделия из него.

Заключение по работе положительное.

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Зин Мин Хтета на тему «Композиционные материалы на основе жидкостеклового связующего для теплоизоляции» является самостоятельно выполненной, оригинальной, завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей отрасли наук. Тематика работы, её содержание, а также содержание публикаций автора соответствуют паспорту специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов». Диссертационная работа Зин Мин Хтета на тему «Композиционные материалы на основе жидкостеклового связующего для теплоизоляции» по своей актуальности, научной новизне и практической значимости полученных результатов удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ N2 842 от 24.09.13 в редакции от 01.10.2018, с изм. от 26.05.2020) и установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», утвержденного приказом ректора от 14.11.2019 г. N282 ОД, а ее автор Зин Мин Хтет заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

4. Отзыв на автореферат диссертации старшего научного сотрудника лаборатории неорганических технологий ФГУП «Институт химических реактивов и особо чистых химических веществ Национального исследовательского центра» «Курчатовский институт» кандидата химических наук Акимовой Ольги Валерьевны

По автореферату диссертации имеется следующее замечание:

- в разделе автореферата «Актуальность работы» не совсем корректно описаны преимущества разрабатываемых материалов только в сравнении с органическими материалами. Было бы неплохо привести подобное сравнение с теплоизоляционными материалами неорганического происхождения, такими, как, например, пеностекло.

Несмотря на замечание, диссертационная работа «Композиционные материалы на основе жидкостекольного связующего для теплоизоляции», выполнена на высоком научно-техническом уровне, актуальна, имеет теоретическую и практическую значимость и соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Зин Мин Хтет достоин присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11– Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

5. Отзыв на автореферат диссертации главного научного сотрудника Гжельского госуниверситета, доктора технических наук Крючкова Юрия Николаевича.

По автореферату диссертации имеется следующее замечание:

Часть графиков заменена скоплениями столбцов, что снижает качество представления результатов.

Сделанное замечание не снижает общего хорошего впечатления о представленной работе. Следует считать, что представленная диссертация удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» с учетом соответствия паспорту специальности 05.17.11–Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а ее автор Зин Мин Хтет заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

6. Отзыв на автореферат диссертации кандидата технических наук, ведущего научного редактора журнала «Строительные материалы» Сапачевой Лады Владимировны.

Замечание по автореферату:

- в автореферате не указаны обоснования выбора модифицирующих жидкое стекло органических добавок.

Однако приведенное замечание не снижает общей ценности работы. Считаю, что представленная к защите диссертация представляет собой законченное научное исследование, результаты которого могут найти реальное практическое воплощение как на территории РФ, так и в стране диссертанта.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Зин Мин Хтет достоин присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

7. Отзыв на автореферат диссертации кандидата технических наук, начальника отдела по разработке лакокрасочных материалов и покрытий АО «Композит» Токаря Сергея Вячеславовича.

Замечание по автореферату:

- из автореферата не совсем понятна сама технология вспенивания, а именно длительность перемешивания, частота оборотов перемешивающего устройства, тип мешалки и т.д., которые помимо свойств самого жидкого стекла, типа и концентрации пенообразователя также должны оказывать заметное влияние на пенообразование.

Однако приведенное замечание не снижает общей ценности работы. Считаю, что представленная к защите диссертация является научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические разработки, имеющие существенное значение для развития страны. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Зин Мин Хтет достоин присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

8. Отзыв на автореферат диссертации доктора технических наук профессора, заведующего кафедрой химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов ФГБОУ ВО «Санкт-петербургский государственный технологический институт (технический университет)» Пантелеева Игоря Борисовича.

Замечания по автореферату:

1. В разделе 3.1.3 автор предлагает в качестве пенообразователя товарное вещество «ПБ-Люкс» как наиболее эффективное «в среде ЖС». А далее, в разделе 3.2.1 автор без объяснений заменяет его на состав марки «Пионер-118». Чем руководствовался автор и что из себя представляют оба пенообразователя?

2. Как автор решает проблему низкой влагостойкости изделий на основе натриевого силикатного стекла?

Появляющиеся при ознакомлении с авторефератом замечания не снижают высокую оценку представленной автором научной разработки. Считаю, что представленное диссертационное исследование является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно, в которой на основании проведенных экспериментальных исследований разработаны научно обоснованные параметры технологии теплоизоляционных композиционных изделий, что имеет существенное значение для производства строительных материалов. Автор работы Зин Мин Хтет заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 — Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

9. Отзыв на автореферат диссертации доктора технических наук, профессора, заведующей кафедрой «Общая химия и технология силикатов» Яценко Елены Альфредовны.

По содержанию автореферата имеются некоторые замечания:

1. В разделе 3.1.3 в качестве основного пенообразователя указан пенообразователь «ПБ-Люкс». Однако не указан его химический и фазовый состав, структура и свойства.

2. В разделе 3.2.1 в качестве пенообразователя указан состав марки "Пионер118". По какой причине произошла смена пенообразователя и в чем преимущества предлагаемого состава?

Данные замечания не влияют на общую положительную оценку работы, научная значимость работы и достоверность полученных результатов не вызывают сомнения. Тема и содержание диссертационной работы Зин Мин Хтет соответствуют специальности 05.17.11– Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а ее результаты представляют безусловный интерес для специалистов. Результаты исследования прошли широкую апробацию. Работа Зин Мин Хтет соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. М 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе п. 9, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 — Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью, которая подтверждена значительным количеством публикаций в области технологии силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, что позволяет им оценить научную и практическую значимость диссертации, проведенного в диссертационной работе исследования, которые посвящены разработке технологии производства минеральных теплоизоляционных материалов на основе вспененного жидкого стекла и различных наполнителей.

Представленные темы соответствуют областям научных и профессиональных интересов оппонентов, а их высокая квалификация отражена в профессиональных достижениях и подтверждена представленными научными работами. Ведущая организация — это организация, которая широко известна своими достижениями в соответствующей области науки и способна определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны технологические принципы получения теплоизоляционных материалов на основе вспененного и объемно отвержденного жидкого стекла с использованием различных наполнителей; *предложен* метод получения теплоизоляционных материалов, заключающийся в механическом вспенивании жидкого стекла в присутствии пенообразователя и отвердителя при последующем введении в пенистую массу различных минеральных наполнителей, а также предложены составы сырьевых смесей, предназначенных для формования методом литья и обеспечивающие получение теплоизоляционных материалов с различным комплексом механических и теплозащитных свойств; *доказано*, что для получения теплоизоляционных материалов на основе вспененного жидкого стекла могут быть использованы разные типы легких наполнителей неорганической природы; эффективным способом повышения прочности материала без существенного ухудшения теплозащитных свойств является модифицирование жидкого стекла кремнийорганическими добавками.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: *доказано*, что эффективность вспенивания и структура пены зависит количества пенообразователя, состава жидкого стекла, определяющего его анионную структуру и свойства, а также доказаны связи величин поверхностного натяжения (σ) и коэффициента вспенивания (K_v) с модулем жидкого стекла, его плотностью, средневзвешенной степенью полимеризации кремнекислородных анионов ($N_{ср.}$) и концентрацией пенообразователя ($C_{по}$). Доказано, что $N_{ср.}$ возрастает с увеличением модуля жидкого стекла, но в большей степени с ростом его плотности. Влияние $N_{ср.}$ на σ становится значимым лишь при увеличении доли полимерной фракции до 70% и выше. На основе метода математического анализа определено, что вспенивание в основном определяется величиной $C_{по}$ и плотностью жидкого стекла, при этом модуль в диапазоне его значений от 2,3-3,0 существенного

влияния на вспенивание не оказывает; при этом установлено, что величины плотности должны быть оптимальными в пределах 1,35-1,40 г/см³. Оптимальный коэффициент вспенивания — 4-5 при концентрации пенообразователя 4-6% от массы жидкого стекла;

разработана технологическая схема получения минеральных теплоизоляционных материалов на основе механически вспененного и химически отвержденного жидкого стекла с применением различных наполнителей, позволяющая получать изделия с желаемым комплексом эксплуатационных свойств в зависимости от области применения. Использование в качестве наполнителя трепела позволяет получать широкий спектр материалов с плотностью 0,31 – 1,3 г/см³ и прочностью на сжатие 0,2 – 3,7 МПа, на изгиб 0,33 – 2,7 МПа при коэффициенте теплопроводности 0,27 - 0,085 Вт/м·°К. Использование в качестве легкого наполнителя вермикулита в количестве 20-27% в зависимости от свойств жидкого стекла и коэффициента вспенивания позволяет получать материалы с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,11-0,15$ Вт/м·°К и прочностью на сжатие от 0,85 до 1,4 МПа. Использование перлита в качестве легкого наполнителя в количестве 30±3% позволяет получать материал с $\lambda=0,10 - 0,13$ Вт/м·°К и прочностью к 14 суткам твердения 0,8-1,2 МПа. Использование в качестве наполнителя волластонита в количестве от 15 до 40 % позволяет получать теплоизоляционные материалы с широким спектром свойств, простирающихся от класса Б средней теплопроводности (0,06 - 0,115 Вт/м·°К) до класса В повышенной теплопроводности (0,115-0,175 Вт/м·°К) и прочностью в пределах от 0,1 до 6-8 МПа.

Применительно к проблематике диссертации результативно:

использован комплекс методов исследования физико-химических свойств сырьевых компонентов и теплоизоляционных материалов, а также метод расчета масс-молекулярного распределения кремнекислородных анионов в растворах натриевых жидких стекол, результаты которого позволили найти связь между структурой растворов силикатов натрия и величиной поверхностного натяжения, играющей ведущую роль в процессе пенообразования. *Использован* также метод математического анализа результатов многофакторного эксперимента, позволивший определить наиболее значимые факторы в процессе пенообразования связующего, а также факторы, определяющие прочность и плотность теплоизоляционного материала;

изложены технологические принципы получения водостойких теплоизоляционных материалов и изделий на основе механически вспененного жидкого стекла, отвердителя, пенообразователя и легких наполнителей, а также порошков с волокнистой и игольчатой формой кристаллов;

раскрыто, что при твердении вспененной сырьевой массы за счет реакции жидкого стекла с отвердителем Na₂SiF₆ формируется матрица геля кремневой кислоты, которая носит блочный характер, являющийся результатом высыхания кремнегеля. Поровая структура материала представляет собой поры, образованные за счет вовлеченного воздуха при вспенивании массы, которые имеют преимущественно замкнутый характер и размер 0,3 до 3 мм. Стенки этих пор имеют толщину от нескольких десятых до 1 мм. Гелевые поры матрицы имеют размер на уровне десятых и сотых долей мкм. При использовании легких пористых наполнителей наблюдаются спады прочности материала после 2 недель твердения, связанные с образованием микротрещин в структуре геля в результате интенсивного отсоса воды такими материалами. Использование непористых наполнителей с волокнистой или игольчатой формой кристаллов позволяет повысить прочность за счет эффекта микроармирования. Введение в состав жидкого стекла модифицирующих добавок органического характера позволяют получать более плотный материал без микротрещин в структуре матрицы, поскольку их появлению препятствует войлокообразная фаза полимера;

изучено влияние состава натриевого жидкого стекла, его анионной структуры, а также вида и количества пенообразователя на коэффициент вспенивания связующего. Изучено влияние вида и количества легких пористых и волокнистых минеральных наполнителей на микроструктуру и теплопроводность, плотность, пористость и прочность материалов на основе вспененного и отвержденного жидкого стекла и представлены оптимальные составы, позволяющие получать эффективные теплоизоляционные изделия с желаемым комплексом свойств. Изучено влияние вида и количества модифицирующих добавок для жидкого стекла (эпоксидной смолы и полиметилсилоксана) на микроструктуру и свойства теплоизоляционных материалов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны технологические приемы получения пористых материалов на основе установленных оптимальных составов, содержащих отвержденное вспененное жидкое стекло, а также различные наполнители, которые могут быть использованы для разработки технологии производства эффективных минеральных теплоизоляционных изделий, отличающихся негорючестью, огнестойкостью до 900°С, коррозионной стойкостью, водо- и биостойкостью, и в силу доступности

сырья и невысоких энергетических и материальных затрат, способных успешно конкурировать с имеющимися на рынке материалами подобного класса;

определены составы и получены формовочные смеси с использованием вспененного натриевого жидкого стекла и модифицированного жидкого стекла на основе различных наполнителей, позволяющие формовать изделия сложной формы методом литья и быстро твердеющие при температуре 20-30⁰ С и отличающиеся теплопроводностью в диапазоне от 0,08 до 0,175 Вт/м·°К и прочностью от 0,8 до 8 МПа. Регулирование желаемого комплекса свойств осуществляется изменением плотности и модуля жидкого стекла, коэффициентом вспенивания, видом наполнителя, соотношением количества связующего и наполнителя, использованием модифицирующих добавок; представлены результаты экспериментов по получению композиционных материалов теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного назначения с широким спектром эксплуатационных свойств, которые могут быть использованы в таких областях экономики, для которых важными факторами являются негорючесть, устойчивость к действию температур до 900⁰С, низкая цена изделий наряду с эффективной теплозащитной функцией.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность подтверждается использованием методик эксперимента, соответствующих современному научному уровню, в том числе необходимых для решения поставленной задачи физико-химических методов анализа (кинетический молибдатный анализ анионной структуры растворов силиката натрия, методы определения поверхностного натяжения, пористости и плотности, определение коэффициента теплопроводности, электронная микроскопия и химические методы анализа и др.), воспроизводимостью результатов, а также согласованностью результатов, полученных в диссертационной работе, с опубликованными данными, представленными в независимых источниках по близкой тематике как отечественных, так и зарубежных;

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации и по смежным с ней областям; идея работы базируется на анализе передовых работ по теме диссертации и обобщении практического опыта;

использованы данные по получению теплоизоляционных материалов разных классов, стандартные образцы сравнения, результаты испытаний которых в аналогичных условиях представлены в независимых источниках;

установлено качественное и количественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными из независимых источников;

использованы современные методики определения составов, структуры, технологических и физико-химических свойств сырьевых материалов, и готовых образцов.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач исследований, в проведении экспериментов, в обсуждении и обработке результатов и формулировании основных выводов, подготовке публикаций по выполненной работе, включая доклады на конференциях различного уровня.

На заседании диссертационного совета РХТУ.Р.03 23 октября 2020 года было принято решение о присуждении ученой степени *кандидата технических наук* Зин Мин Хтету.

Присутствовало на заседании 9 членов диссертационного совета, в том числе докторов наук по научной специальности, отрасли науки рассматриваемой диссертации 9, в том числе в режиме видеоконференции 1.

При проведении голосования члены диссертационного совета по вопросу присуждения ученой степени проголосовали:

«за» - 9,

«против» - нет.

недействительные бюллетени - нет.

Председатель диссертационного совета

д.х.н., проф. А. В. Беляков

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., проф. Е. Н. Потапова

Дата «23» октября 2020 г.