

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертационную работу Власова Руслана Романовича «Полиуретан-полиизоциануратные пенопласты с повышенной тепло- и огнестойкостью», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.11. Технология переработки синтетических и природных полимеров и композитов

Современные тенденции развития строительной промышленности диктуют необходимость применения теплоизоляционных материалов, способных сочетать высокие эксплуатационные показатели с повышенной устойчивостью к термическим и огневым воздействиям. К числу наиболее перспективных материалов в данной отрасли относятся жесткие полиуретан-полиизоциануратные пенопласты, отличающиеся от традиционных пенополиуретанов наличием в полимерной матрице термостабильных изоциануратных гетероциклов. Вместе с тем, несмотря на значительный объем исследований, посвященных химии и технологии полиуретан-полиизоциануратных пен, ряд принципиально важных вопросов, касающихся количественной стороны химических превращений, протекающих при формировании данных материалов, остается открытым.

Известно, что синтез полиуретан-полиизоциануратных пен сопровождается не только целевыми реакциями уретанообразования и циклотримеризации, но и рядом побочных взаимодействий, приводящих к образованию вторичных продуктов (например, аллофанатов и карбодиимидов) и сохранению части изоцианатных групп в несвязанном виде. Степень протекания вторичных процессов, их вклад в общий баланс расходования изоцианата и, что наиболее существенно, влияние на итоговые физико-механические и теплофизические характеристики материала до сих пор не получили должной количественной оценки. Отсутствие таких данных существенно ограничивает возможности прогнозирования свойств полиуретан-полиизоциануратных пенопластов и оптимизации рецептур с целью достижения максимальных показателей прочности и огнестойкости.

Не менее актуальной задачей является установление взаимосвязи между характеристиками полиольной составляющей (функциональностью, эквивалентной молекулярной массой) и эффективностью протекания реакции циклотримеризации. Варьирование данных параметров может служить действенным инструментом управления структурой полимерной сетки, однако систематические исследования в указанном направлении применительно к полиуретан-полиизоциануратным пенам практически не проводились.

Наконец, значительный научный и практический интерес представляет модификация полиуретан-полиизоциануратных материалов наноразмерными наполнителями, в частности, углеродными нанотрубками и наноглинами. Введение даже незначительных количеств подобных добавок способно приводить к кардинальному изменению морфологии ячеистой структуры пен и, как следствие, к улучшению их эксплуатационных характеристик. Тем не менее, данные о влиянии химически модифицированных нанотрубок на свойства полиуретан-полиизоциануратных пенопластов в литературе представлены крайне ограниченно.

Исходя из вышесказанного, диссертационная работа Власова Р.Р., ориентированная на количественное изучение химических процессов, протекающих при синтезе и

эксплуатации полиуретан-полиизоциануратных пен, выявление роли катализаторов и характеристик состава полиольной композиции, а также создание нанокпозиционных материалов с улучшенным комплексом свойств, является **актуальной**. Результаты исследования создают научную основу для направленного регулирования структуры и эксплуатационных характеристик полиуретан-полиизоциануратных пенопластов, что имеет важное значение для расширения областей их применения и повышения надежности изделий на их основе.

**Диссертационная работа структурирована** в соответствии с общепринятыми требованиями и состоит из введения, 3 глав, заключения и библиографического перечня, включающего 353 литературных источника. Материал изложен на 224 страницах машинописного текста, включает 83 рисунка, 47 таблиц и 3 приложения.

Во **введении** соискателем аргументированно обоснован выбор темы, показана ее актуальность для современной промышленности и науки, сформулированы цель и задачи исследования, обозначены элементы научной новизны, теоретическая и практическая значимость полученных данных и перечислены положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен всесторонний обзор научных публикаций по тематике диссертации. Автором удачно систематизированы сведения о механизмах циклотримеризации изоцианатных групп и сопутствующих вторичных реакциях, проанализированы существующие подходы к созданию композиционных полиуретановых пенопластах с использованием наноразмерных модификаторов. Критический анализ литературных данных позволил автору сформулировать задачи исследовательской работы:

Во **второй главе** дана исчерпывающая характеристика использованных материалов, детально описаны методики синтеза и анализа состава и свойств полученных пенопластов. Особо следует выделить разработку оригинальных ИК-спектроскопических методик, основанных на методе внутреннего стандарта; используемые подходы позволяют проводить количественную оценку содержания изоциануратных, аллофанатных, карбодиимидных и остаточных изоцианатных групп в полимерной матрице вспененных материалов. Данный раздел подтверждает высокий методический уровень выполнения работы и обеспечивает надежность экспериментальных результатов.

**Третья глава** содержит основной массив полученных экспериментальных данных и их обсуждение. Глава разбита на логически обособленные подразделы. Первый подраздел посвящен количественному изучению химических превращений, имеющих место при синтезе и эксплуатации полиуретан-полиизоциануратных пенопластов, включая оценку влияния изоцианатного индекса, условий и продолжительности выдерживания образцов на баланс целевых и побочных продуктов. В рамках второго подраздела исследовано воздействие различных катализаторов тримеризации изоцианата на механические свойства пен. Третий подраздел раскрывает взаимосвязь параметров полиольного компонента (функциональности и эквивалентной молекулярной массы) и конверсии изоцианата в изоцианурат. В четвертом подразделе приведены результаты моделирования длительного высокотемпературного старения и показана динамика изменения химического состава и свойств пенопластов. Пятый подраздел обобщает экспериментальные данные, полученные при исследовании свойств композиционных полиуретан-полиизоциануратных и полиуретановых пен, синтезированных при использовании малых количеств наноразмерных наполнителей.

Автором проведен комплекс исследований, позволивших установить количественные закономерности химических превращений при получении и эксплуатации полиуретан-полиизоциануратных пенопластов, определить влияние состава полиольной композиции и природы катализаторов на выход изоцианурата, а также разработать нанокпозиционные пеноматериалы с улучшенным комплексом физико-механических, теплофизических и огнезащитных характеристик.

**Заключение** резюмирует ключевые достижения работы в виде четко сформулированных выводов, полностью отражающих решение всех поставленных задач.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в том, что на основании разработанных методик количественно исследовано протекание процессов образования изоциануратных, аллофанатных и карбодимидных групп в составе полиуретан-полиизоциануратных пенопластов, выявлены тенденции изменения концентрации остаточных изоцианатных и упомянутых выше групп в зависимости от изоцианатного индекса, условий и времени выдержки пенопластов. Установлено, что в изолированных от доступа атмосферного воздуха образцах остаточный изоцианат расходуется преимущественно в рамках образования изоциануратных циклов, а в случае открытых систем доминирует расход изоцианата на образование мочевиновых фрагментов. Полученные зависимости открывают перспективы управления протеканием вторичных химических процессов и, как следствие, получения полиуретан-полиизоциануратных пенопластов с заданными свойствами. Выявлены количественные зависимости, отражающие влияние параметров исходной смеси реагентов (изоцианатного индекса, состава каталитической системы и полиольной композиции) на степень превращения изоцианата в изоцианурат, что обусловлено регулированием кинетики и скорости пространственной сшивки полимерного каркаса. Показано, что увеличение содержания изоциануратных фрагментов коррелирует с повышением физико-механических характеристик и огнестойкости получаемых полиуретан-полиизоциануратных пен.

**Теоретическое значение** диссертационного исследования Власова Р.Р. состоит в углублении фундаментальных представлений о количественных закономерностях химических превращений, протекающих в рамках синтеза и эксплуатации полиуретан-полиизоциануратных пенопластом. Разработанный комплекс спектральных методик позволил получить ценные данные, создающие базис для прогнозирования состава и свойств итоговых полимерных материалов в зависимости от параметров рецептуры.

**Практическая значимость** работы подтверждается актами о внедрении. Разработанные методики внедрены в практику аналитической лаборатории ООО «Дау Изолан» и служат инструментом для оптимизации рецептур. Полученные данные позволили сформулировать рекомендации по выбору полиольной композиции и катализаторов тримеризации, примененные при разработке новых промышленно выпускаемых композиций, предназначенных для получения теплоизоляционных материалов.

**Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертационной работе Власова Р.Р.,** подтверждается применением комплекса современных инструментальных методов исследования, тщательной проработкой методической базы и значительным массивом экспериментальных данных. Надежность полученных результатов обеспечивается использованием апробированных стандартизированных методик (ГОСТ, ASTM, ISO, EN) для оценки физико-механических, теплофизических и иных характеристик пенопластов,

разработкой и валидацией оригинальных ИК-спектроскопических методик количественного анализа с привлечением независимых методов контроля (элементный анализ, потенциометрическое титрование), воспроизводимостью экспериментальных данных, полученных при многократном повторении опытов, их статистической обработкой и сопоставимостью с литературными источниками.

Выводы, сформулированные автором, логически следуют из полученных экспериментальных результатов, не противоречат друг другу и согласуются с современными теоретическими представлениями в области химии и технологии полиуретановых материалов.

Достоверность и обоснованность выводов подтверждены применением современных инструментальных методов анализа, значительным объемом экспериментальных данных и их воспроизводимостью. Результаты работы прошли апробацию на научных конференциях, опубликованы в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, и внедрены в производственную практику ООО «Дау Изолан», что подтверждено соответствующими актами. По материалам работы опубликовано 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 5 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, а также 20 тезисах докладов.

Текст автореферата в полном объеме отражает основные положения и результаты, изложенные в диссертации.

По своему содержанию диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (пунктам 2, 4, 6).

По работе имеются **вопросы и замечания:**

1. В тексте работы при обсуждении результатов ИК-спектроскопического анализа используются термины «интегральная интенсивность» и «относительная интегральная интенсивность». В ряде случаев не указано, по отношению к какой именно полосе производилось нормирование.

2. Автором установлено, что конверсия изоцианатных групп в изоцианураты снижается с ростом изоцианатного индекса композиции. Данный вывод согласуется с литературными данными, но при этом не рассматривалась возможность нивелирования этого эффекта за счет увеличения дозировки катализатора тримеризации при высоких изоцианатных индексах.

3. В разделе 3.3.1 показано, что неоднородность состава пенопластов по высоте образца возрастает с увеличением функциональности полиольной композиции. К сожалению, не была проведена оценка влияния данного градиента на теплофизические характеристики материала, в частности, на теплопроводность пенопластов, вырезанных из разных зон по высоте вспененного блока.

4. При получении суспензий нанонаполнителей в изоцианате использовалась ультразвуковая обработка. Из текста диссертации не ясно, контролировалась ли температура реакционной среды в процессе диспергирования и не наблюдалось ли при этом преждевременного инициирования побочных химических реакций с участием изоцианатных групп.

5. В работе имеются стилистические погрешности и опечатки.

Приведенные замечания не отражаются на общей положительной оценке диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Власова Руслана Романовича на тему «Полиуретан-полиизоциануратные пенопласты с повышенной тепло- и огнестойкостью» представляет собой законченное научное исследование, выполненное на актуальную тему и в которой решена важная **научно-техническая задача**, ориентированная на количественное изучение химических процессов, протекающих при синтезе и эксплуатации ПИР пен, выявление роли катализаторов и характеристик состава полиольной композиции, а также создание нанокмпозиционных материалов с улучшенным комплексом свойств, имеющая существенное значение для отечественной промышленности полимерных материалов. По актуальности тематики, уровню научной новизны, объемам выполненных исследований, теоретической и практической ценности полученных результатов диссертационная работа Власова Руслана Романовича полностью отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции), предъявляемым к квалификационным работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Власов Руслан Романович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент, доктор химических наук (02.00.04 – Физическая химия), заведующий кафедрой материаловедения и технологии материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет», доцент  
Давлетбаев Руслан Сагитович

Адрес места работы: 420066 г. Казань ул. Красносельская, д. 51, Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный энергетический университет»

Тел.: +7 (843) 519-43-22; E-mail: [darus@rambler.ru](mailto:darus@rambler.ru)

Я, Давлетбаев Руслан Сагитович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой диссертации и оформлением аттестационного дела Власова Руслана Романовича.

«09» июня 2026 г.

Руслан Сагитович Давлетбаев

Подпись Р.С. Давлетбаева заверяю:



Давлетбаев Р.С.  
Специальность 05.01.01  
Хадибрахманова Д.А.

Вход. № 05-9033  
« 10 » 06 2026 г.  
подпись