

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу **Скребнева Владимира Игоревича** «Полимерные трубопроводы для горнодобывающей промышленности», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

В последнее десятилетие в нашей стране отмечен значительный рост горно-обогатительной промышленности. При добыче различных типов руды внедряются современные технологии, что формулирует принципиально новые требования к аппаратному оформлению процесса. Например, к системам транспорта руды, включая элементы насосов, транспортирующего оборудования (системы подшипников, роликов, транспортерных лент и др.), а также трубопроводных систем.

В узлах трения различного оборудования традиционно, наряду с фторопластами и СВМПЭ, применяются полиамиды, полиимиды, полиэфирэфиркетоны, полифениленсульфиды и др., однако в литературе не рассматриваются фундаментальные причины, касающиеся характеристических свойств полимеров, определяющих их трение.

Актуальность работы

В настоящее время не существует общей концепции связи химического строения полимеров с их трением, обобщающей известные классы полимеров. Вопросы гидроабразивного износа полимеров и полимерных композиционных материалов в научной литературе описаны весьма ограниченно.

Поэтому тема представленной диссертационной работы Скребнева В.И. актуальна как с прикладной, так и научной точек зрения.

Общая характеристика диссертационной работы

Диссертация оформлена классически: состоит из введения (9 стр.), литературного обзора (38 стр.), главы, посвященной объектам и методам исследований (15 стр.) и главы с обсуждением экспериментальных результатов, поделенной на краткие разделы по конкретным экспериментам (64 стр.), заключения (8 стр.), списка сокращений (3 стр.), списка использованной литературы (141 наименование), приложений (Технические условия, инструкция по монтажу, 2 Акта промышленных испытаний на участках действующих пульпопроводов ОАО «РИМ» и Жезказганской обогатительной фабрики и отзыв компании ЕвроХим-ВолгаКалий по результатам эксплуатации трубопроводной системы «МУЛЬТИПАЙП ИС»). Введение и Литературный обзор проиллюстрированы 23

рисунками, экспериментально-методическая часть - 6 рисунками и 13 таблицами, глава обсуждения результатов исследований – 33 таблицами и 47 рисунками. Заключение содержит 2 таблицы и 1 рисунок. Объем диссертации – 164 стр.

Во введении автор объяснил актуальность исследования, научную новизну, практическую значимость, цели и задачи работы, положения, которые выносятся на защиту.

В литературном обзоре подробно описаны материалы, используемые для технологических трубопроводов, виды и характеристики пульпопроводов. Подробно описаны механизмы абразивного и эрозионного изнашивания полимеров, приведены модели износа, классификация и номенклатура термоэластопластов, применяемых в качестве антифрикционных материалов, рассмотрены антифрикционные свойства полиуретанов и резин, а также результаты исследования фазовой структуры, свойств и применение. **Анализ мирового производства полимерных труб, их применения в различных областях техники целесообразно использовать в методических пособиях для студентов по специальностям технологии переработки полимеров и композитов.**

Главная цель постановки данного исследования «Разработка дизайна и технологии производства стойких к гидроабразивному износу полимерных труб специальной конструкции для применения в системах гидротранспорта.»

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе сформулированы и решены следующие **основные задачи**:

- комплексное сравнительное исследование стойкости к гидроабразивному износу полиолефинов; термоэластопластов различного химического строения, в том числе, термопластичных полиуретанов, применяемых для футеровки внутренней поверхности гидротранспортных систем; смесей на основе полиолефинов и термоэластопластов; стали;
- изучение динамических механических свойств и влияния жесткости (по показателям: модуль упругости, твердость по Шору) на стойкость к гидроабразивному износу полиолефинов и термоэластопластов различного химического строения;
- сравнительное исследование реологических свойств трубных марок полиэтилена и термоэластопластов, стойких к гидроабразивному износу;
- разработка технологии производства полиэтиленовых труб с внутренним слоем из термоэластопласта с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу;
- исследование гидравлических характеристик при гидротранспорте хвостов обогащения железной руды в трубопроводах, изготовленных из углеродистой стали,

полиэтилена высокой плотности и термоэластопласта с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу;

- оценка влияния скорости, концентрации и дисперсности пульпы на интенсивность износа полимерных и стальных трубопроводов.

В Главе 2 «Объекты и методы исследования» представлены технические характеристики исследованных полимерных композиций и базовых полимеров, а также описание образцов труб: номинальный внутренний диаметр, толщина стенки и слоев изготовленных из различных полимерных материалов для многослойных конструкций, указан способ изготовления образцов и методы исследования, даны ссылки на нормативные документы (ГОСТ, ТУ), а также указаны марки приборов и описаны конструкции установок, на которых проводились исследования и испытания.

Немаловажно отметить, что автором исследован целый массив полимерных материалов отечественного и импортного производства, и удалось подобрать объекты исследования отечественного производства, т.е. **уже на стадии постановки задачи просматривалась цель импортозамещения, весьма актуальная сегодня.**

В работе использованы современные методы физико-химического анализа, такие как ДСК, ДМА, реометрия, оптическая микроскопия, физико-механические испытания, а также исследования гидроабразивного изнашивания на установках специальной конструкции. В разделе 2.2. подробно описаны методики и технология изготовления образцов, методы исследования и испытаний. **Аппаратурное оформление и современные подходы к проведению исследований подтверждают достоверность полученных результатов.**

В главе 3 «Обсуждение результатов», поделенной автором на 5 разделов представлены:

- результаты изучения механических свойств и степени истирания в водно-песчаной смеси различных типов термоэластопластов; полиолефинов (HDPE, LLDPE и PP-B), включая стеклонаполненные композиции; и их смесей. (Раздел 3.1 «Исследование физико-механических свойств полимерных материалов и износостойкости».) Проведенные исследования показали, что стойкость к гидроабразивному износу коррелирует с жесткостью материалов, что определяется величиной модуля упругости и твердостью.
- В разделе 3.2. «Термомеханические исследования полиолефинов, термоэластопластов и их смесей» представлены результаты изучения изменения модуля механических потерь от температуры для образцов HDPE, LLDPE, TPO и TPV, смесей

HDPE с ТРО или TPV, смесей LLDPE с TPV, включая промышленные серийные марки импортных и отечественных полиолефинов и термоэластопластов различной химической структуры. Проведенные исследования показали, что сшитые структуры, такие как термопластичные вулканизаты, термопластичные полиуретаны и резины, характеризуются стабильностью к динамическим нагрузкам в диапазоне положительных температур. Установлено, что стойкость к гидроабразивному износу для исследованных объектов находится во взаимосвязи с жесткостью и величиной модуля механических потерь композиций.

- В Разделе 3.3. «Реологические характеристики термопластичных вулканизатов» представлены результаты исследования реологических свойств отечественных и импортных TPV и ПЭВП, а именно, ПТР, зависимость вязкости от скорости сдвига и температуры. Эти исследования автор проводит для выбора оптимального технологического режима экструзии трубы, которому посвящен следующий раздел.
- В Разделе 3.4. «Технология производства многослойных труб с внутренним слоем из термопластичного вулканизата» автор подробно описывает технологическую схему производства полиэтиленовых труб двухслойной конструкции с внутренним слоем из TPV по методу соэкструзии, приводит параметры технологического режима и комплектацию оборудования.
- В Разделе 3.5 «Исследование износостойкости и гидравлических характеристик труб двухслойной конструкции с внутренним слоем из термопластичного вулканизата при гидротранспорте хвостовой пульпы» изложены результаты эксперимента, проведенного на установке специальной конструкции, максимально приближенного к условиям эксплуатации трубопроводов для перекачки пульпы. В эксперименте в качестве транспортируемой среды использовали реальные пульпы, различающиеся по химическому составу, дисперсности, форме частиц и твердости, полученные с действующих месторождений. Автор разделил этот раздел на 5 подразделов, в которых описывает и анализирует отдельные параметры оценки в модельном эксперименте. По результатам эксперимента построены зависимости потерь напора от расхода гидросмеси для образцов стальной трубы и однослойной трубы из PE 100 и двухслойной трубы из PE 100 с внутренним слоем из TPV. Результаты расчетов значений удельных потерь напора (i) и коэффициентов гидравлического сопротивления (λ) показали, что удельные потери напора при гидротранспорте хвостовой пульпы при массовых концентрациях от 0 до 37 % в трубе с внутренним слоем из TPV меньше, чем в стальной, в среднем в 1,5 раза. А удельные потери напора в полиэтиленовой трубе меньше, чем в стальной, в среднем в

2,5 раза. При этом основным критерием, определяющим величину удельных потерь, является коэффициент гидравлического сопротивления, который при концентрациях от 0 до 37 % при турбулентном режиме движения гидросмеси для трубы с TRV изменяется в диапазоне от 0,04 до 0,08, для полиэтиленовой трубы – от 0,02 до 0,05, для стальной трубы – от 0,06 до 0,14. В результате эксперимента было отмечено, что труба с внутренним слоем из TRV имеет склонность к уменьшению шероховатости при увеличении экспозиции, что приводит к снижению удельных затрат энергии в процессе гидротранспорта на примере хвостовой пульпы Михайловского ГОКа. Образцы с внутренним слоем из TRV и TPU продемонстрировали высокую стойкость к гидроабразивному износу по сравнению с PE 100 и СтЗсп. **Таким образом, автору удалось разработать конструкцию пульпопровода с повышенным сроком эксплуатации, значительно превышающем ныне существующие. Причем технология производства этих трубопроводов более простая, экономичная и эффективная.**

В заключении четко сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

По итогам работы сформулировано 8 выводов, которые полностью отражают полученные результаты. Важным итогом работы является установление зависимости степени истирания от величины модуля механических потерь, что несомненно связано с химическим строением термопластов и их морфологией.

Представленная диссертационная работа производит очень хорошее впечатление, грамотно оформлена. Достоверность результатов несомненна исходя из применения физико-химических методов анализа и результатов, полученных на современном оборудовании.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы. Актуальность, научная новизна не вызывают сомнения, апробированы и доказаны в публикациях докладов научных конференций и статьях в научных журналах.

Теоретическая и практическая значимость

Результаты работы нашли применение, что подтверждено документально действующими ТУ 22.21.21-049-73011750-2022 «Трубы напорные из полиэтилена с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу» и инструкцией по строительным работам ИМ.ГПП.19-19-2, а также актами промышленных испытаний на опытно-промышленном участке ОАО «РИМ», Жесказганской обогатительной фабрике и отзывом по эксплуатации от ООО «ЕвроХим-ВолгаКалий».

Трубопроводные конструкции сертифицированы на соответствие ТУ (СС № РОСС RU.НВ24.АПТС Н00139/23) и требованиям промышленной безопасности (СС № С-РТЭ.002.Т.У.01194).

В качестве замечаний следует отметить:

1. По тексту диссертации имеются опечатки и неточности. Например, грамматические ошибки на странице 14 в первом предложении первого абзаца и в подписи оси абсцисс рисунка 49. На странице 39 по тексту литературного обзора вместо рисунка 16 идет ссылка на рисунок 19. Автором допущена неточность при описании зависимости потерь напора от расхода гидросмеси (рисунки 54-56) для труб из ПЭ 100, труб с внутренним слоем из TPV и труб из стали: наименьшие потери напора у трубы с внутренним слоем из TPV, в то время как ее кривая занимает промежуточное положение между кривыми стальной и полиэтиленовой труб. Однако при переходе автором к более детальному обсуждению полученных результатов интерпретация данных, представленных на рисунках 54-56, верная.
2. На рисунке 30, описывающем зависимость объемного расхода и потерь напора от концентрации твердой фазы при транспортировании гидросмеси, не указаны единицы измерения концентрации.
3. В таблице 16 представлены результаты по степени истирания различных марок термоэластопластов на основе блок-сополимеров стирола и бутадиенового каучука. При этом не дано объяснение почему степень истирания Армлен ПП ТЭП-11-80А-9010 почти на порядок выше, чем у остальных термоэластопластов на основе SBS.
4. Не понятно, что значит аббревиатура «ППП» в таблице 31 «Химический состав отвалных хвостов».
5. На странице 102 в формуле 10 (формула Дарси-Вейсбаха), пропущена расшифровка параметра, обозначенного символом ν (ню).
6. В таблице 42 чередуются химические названия «оксиды» и «окиси». Следует использовать единообразие в наименованиях химических соединений – оксиды.

Несмотря на отмеченные замечания диссертационная работа Скребнева В.И., несомненно, представляет практический и научный интерес. Отмеченные замечания не могут сказаться на положительной оценке представленной диссертационной работы.

Заключение по работе

Результаты, полученные автором, полезны для специалистов в области переработки пластмасс, технологов-разработчиков и производителей ПКМ и изделий из них, в частности, многослойных конструкций. Задачи, поставленные и решенные в данной

диссертационной работе, несомненно, актуальны, и желательно продолжить исследования с целью набора статистических данных, прогнозирования сроков эксплуатации разработанных конструкций трубопроводов в различных условиях, включая химически активные среды, а также нефтепроводы.

Диссертационная работа Скребнева Владимира Игоревича соответствует паспорту научной специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов» (пункты 2, 3 и 6 направлений исследований).

Выполненная диссертационная работа **Скребнева Владимира Игоревича** «Полимерные трубопроводы для горнодобывающей промышленности» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренных Положением о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Автор диссертации **Скребнев Владимир Игоревич, несомненно, заслуживает** присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Официальный оппонент:

старший научный сотрудник

ФИЦ ХФ РАН им. Н.Н. Семенова,

кандидат химических наук

Ирина Георгиевна Калинина

15.04.2024

Адрес ФИЦ ХФ РАН: 119991 г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

Сайт ФИЦ ХФ РАН: <https://www.chph.ras.ru>

Электронная почта: i_kalinina1950@mail.ru

Телефон: 8-(495)-939-72-76; +7(903)230-89-76.

Подпись _Калининой И.Г. заверяю

ВрИО ученого секретаря ФИЦ ХФ РАН



/О.В. Шаповалова/