



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ИНСТИТУТ ПЛАСТМАСС ИМЕНИ Г.С. ПЕТРОВА»
(АО «ИНСТИТУТ ПЛАСТМАСС»)**

111024, Российская Федерация
г. Москва, Перовский проезд, д.35
<http://instplast.ru>

Тел./факс: (495) 600-06-00, 600-07-67
E-mail: dir@instplast.ru
info@instplast.ru

№ _____ от _____ 202 г.

На Ваш № _____ от _____ 202 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального директора
Акционерного Общества «Институт пластмасс имени
Г.С. Петрова», д.т.н.

Татьяна Ивановна Андреева

« _____ » _____ 2024 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Скребнева Владимира Игоревича «Полимерные трубопроводы для горнодобывающей промышленности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11 - Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Диссертационная работа В.И. Скребнева посвящена разработке комплексного подхода при создании дизайна и технологии производства полимерных труб специальной конструкции, стойких к гидроабразивному износу, и подбору полимерных материалов (полиолефинов, термоэластопластов), обеспечивающих необходимый уровень физико-механических свойств и гидравлических характеристик.

Актуальность работы определяется, прежде всего, современными потребностями развития экономических по энергозатратам

высокопроизводительных производств труб для гидротранспортных систем, технологичных в обслуживании, долговечных, сочетающих эксплуатационные достоинства напорных полиэтиленовых труб с гидравлическими показателями эластомеров, характеризующихся высокой стойкостью к гидроабразивному износу.

Одним из методов реализации такого подхода является применение полиэтиленовых труб с соэкструдированным внутренним слоем из термопластичных эластомеров. Из литературных источников известно использование вулканизированных эластомеров и термоэластопластов зарубежными и российскими фирмами для увеличения сроков службы трубопроводов из стали для транспортировки абразивных сред, гидросмесей. Однако, подобные технологии продления сроков службы гидротранспортных систем низкопроизводительны, трудоемки и энергозатратны. Применение труб из высокотехнологичных термопластичных материалов для транспортировки гидросмесей в настоящее время ограничено из-за низкой износостойкости. Таким образом, представляется, несомненно, **актуальным** разработка технологии производства полиэтиленовых труб с соэкструдированным внутренним слоем из термоэластопластов, стойких к гидроабразивному износу, а также всестороннее изучение свойств отечественных и зарубежных марок полиолефинов и термопластичных эластомеров в условиях, близких к условиям эксплуатации **с целью решения важнейшей задачи импортозамещения**. Этой области исследований и посвящена представленная диссертационная работа.

Цель исследования заключалась в разработке дизайна и технологии производства стойких к абразивному износу полимерных труб специальной конструкции для применения в системах гидротранспорта. Область научных исследований, представленных в диссертационной работе, охватывает целый спектр направлений: комплексное сравнительное изучение стойкости к гидроабразивному износу полимеров различной химической природы таких как полиолефины, термоэластопласты, термопластичные полиуретаны, смеси

на основе полиолефинов и термоэластопластов, стали; определение физико-механических, динамических свойств полиолефинов и термоэластопластов и их взаимосвязи со стойкостью к гидроабразивному износу; изучение реологических свойств полиэтилена трубных марок и термоэластопластов и создание технологии производства полиэтиленовых труб с внутренним слоем из термоэластопласта с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу; исследование гидравлических характеристик в трубопроводах, изготовленных из углеродистой стали, полиэтилена высокой плотности, двухслойных труб с внутренним слоем из термоэластопласта с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу в условиях натуральных испытаний при гидротранспорте хвостов обогащения железной руды; изучение зависимости интенсивности износа стальных и полимерных трубопроводов от скорости, дисперсности, концентрации хвостовой пульпы.

Диссертация Скребнева В.И. состоит из введения, трех глав, заключения, списка обозначений и условных сокращений, списка использованной литературы, приложений с ТУ на разработанные трубы, инструкции по строительно-монтажным работам, актов опытно-промышленных испытаний, отзывов.

В первой главе приведен обзор научно-технической литературы, в котором проанализированы виды технологических трубопроводов и материалы, используемые для улучшения эксплуатационных свойств. Рассмотрены теоретические основы механизмов износа абразивными частицами и факторы, влияющие на процесс изнашивания. Кроме того, рассмотрены особенности гидроабразивного износа полимеров и представлена номенклатура термоэластопластов. На основании анализа литературных данных показана **актуальность** применения термоэластопластов, близких по свойствам к резинам, при производстве труб с повышенной износостойкостью при воздействии гидроабразивных смесей.

Во второй главе дана характеристика объектов исследования и методов испытания. В работе представлено комплексное исследование физико-

механических, реологических свойств, определение времени окислительной индукции по стандартным методикам и ГОСТам. Динамические механические характеристики полимерных материалов определяли на приборе AR 2000EX фирмы TA Instruments (США) в режиме кручения с частотой 1 Гц в диапазоне температур от минус 100 °С до плюс 100 °С. Стойкость к гидроабразивному износу полимерных материалов и труб оценивали двумя методами: методом высокоскоростного воздействия абразивных суспензий в соответствии с ИСО 15527 и «Дармштадтским методом» определения износа труб под воздействием водно-песчаных суспензий по EN 295-3:2012, показатель истирания полиэтиленов по шлифовальной шкурке определяли по ГОСТ 11012-2017.

Потери напора и гидроабразивный износ в трубопроводной системе определяли на лабораторном стенде в Санкт-Петербургском горном университете путем непрерывной перегонки хвостов обогащения железных руд по замкнутому гидравлическому контуру. Внутреннюю поверхность труб до и после взаимодействия с гидросмесью изучали с помощью инвертированного светового микроскопа Leica DMILM.

В третьей главе представлены результаты исследований и их обсуждение.

Проведено исследование физико-механических свойств и стойкости к гидроабразивному износу полиолефинов, термопластичных полиуретанов, термоэластопластов различного химического строения, смесей полиолефинов с термоэластопластами, углеродистой стали.

На основании результатов исследований выявлена прямолинейная зависимость между модулем упругости и степенью истирания под воздействием гидроабразивной смеси для полиолефинов и термоэластопластов. Установлено, что термопластичный вулканизат Армлен ПП ТЭП 12-55А-901 характеризуется самой высокой стойкостью к гидроабразивному износу из исследованных термопластичных вулканизатов.

Так как под воздействием гидроабразивного потока полимерные материалы подвергаются деформированию в динамическом режиме, в работе

методом динамического механического анализа (ДМА) в интервале температур от минус 100 до + 100 °С исследованы динамические механические свойства полиолефинов, термопластических эластомеров различного химического строения. Как показали проведенные исследования, увеличение содержания эластичного компонента в смеси полиолефинов и термоэластопластов приводит к повышению стойкости к гидроабразивному износу. Резины, термопластичные вулканизаты, термопластичные полиуретаны, то есть сетчатые структуры, проявляют максимальную стабильность свойств под воздействием динамических нагрузок. **Впервые выявлена прямолинейная зависимость** между динамическим модулем механических потерь и степенью истирания полиолефинов и термоэластопластов. Показано, что термопластичный вулканизат на основе полипропиленовой матрицы с распределенной в ней сшитой фазой из этилен-пропилен-диенового каучука (Армлен ПП ТЭП 12-55А-901), термопластичные полиуретаны характеризуются наименьшими значениями динамического модуля механических потерь и более высокой стойкостью к гидроабразивному износу в интервале температур эксплуатации пульпопроводов. Полученные результаты использованы при подборе отечественных полимерных материалов для соэкструдированного внутреннего слоя в производстве полиэтиленовых труб трубопроводных систем с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу.

Выполнено сравнительное исследование реологических свойств трубных марок полиэтиленов и термоэластопластов, стойких к гидроабразивному износу. В результате изучения реологических свойств в диапазоне скоростей сдвига, характерных для процесса экструзии труб, обнаружено, что температура незначительно влияет на вязкость расплава термопластичных вулканизатов. Таким образом, расширяется температурный диапазон переработки данных композиций. Вместе с тем, анализируя кривые течения, было показано, что расплавы термопластичных вулканизатов

характеризуются технологическим преимуществом – низким уровнем разбухания при выходе из экструзионной головки.

В работе разработана технология производства полиэтиленовых труб с внутренним слоем из термоэластопласта, с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу. Двухслойные трубы изготавливали методом непрерывной шнековой экструзии на производственной линии Battenfeld-cincinnati Климовского трубного завода (ООО «КТЗ»). Представлены технологическая схема, технологические режимы, состав производственной линии, приведено полное описание технологических стадий изготовления труб. Более того, разработана технология производства соединительных деталей из отрезков труб методом сварки встык нагретыми инструментами, горячей гибкой отрезков труб, а также методом обточки с удалением части материала с наружной поверхности отрезков труб. Данные технологические приемы используются в технологических процессах на предприятиях ООО «Группа «ПОЛИПЛАСТИК»».

С целью изучения работоспособности двухслойных труб в условиях, максимально приближенных к режимам эксплуатации, проведено сравнительное исследование гидравлических характеристик в трубопроводах, изготовленных из углеродистой стали, полиэтилена высокой плотности и двухслойной трубы с внутренним слоем из термоэластопласта Армлен ПП ТЭП 12-55А на лабораторном стенде Санкт-Петербургского горного университета. В работе применен многосторонний подход к изучению гидравлических свойств указанных труб при турбулентном режиме течения гидросмеси. Анализировали потери напора при гидротранспорте хвостов обогащения железной руды ПАО «Михайловский ГОК». Обнаружено, что независимо от массовой концентрации абразивных частиц гидросмеси и расхода, минимальные потери напора при турбулентном течении у трубы с внутренним слоем из термоэластопласта. Рассчитаны значения удельных потерь напора и по формуле Дарси-Вейсбаха рассчитан коэффициент гидравлического сопротивления, определяющий величину удельных потерь. В

работе успешно использован теоретический расчет коэффициента гидравлического сопротивления по формуле Шифринсона. На основании проведенных расчетов и изучения зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от объема прокаченной пульпы Михайловского ГОК, от шероховатости внутренней поверхности труб, изменения шероховатости в процессе гидротранспорта установлено уменьшение коэффициента гидравлического сопротивления и, следовательно, снижение потерь напора в процессе гидротранспорта хвостовой пульпы в образце трубы с внутренним слоем из Армлен ПП ТЭП 12-55А.

В работе проанализировано изменение показателя гидроабразивного износа, выраженного через объемные потери, и определена интенсивность гидроабразивного износа образцов труб с внутренним диаметром 25, 50 мм с внутренней поверхностью из термоэластопласта, полиуретанов, полиэтилена, углеродистой стали. Стойкость к гидроабразивному износу оценивалась при гидротранспорте хвостовой пульпы Михайловского ГОК и Качканарского ГОК с разным средневзвешенным диаметром частиц - 0,07789, и 0,491 мм соответственно. Как показали результаты эксперимента наибольшая интенсивность гидроабразивного износа наблюдается у стальных труб. Для труб с внутренней поверхностью из термоэластопласта и полиуретанов определить данный показатель было невозможно из-за увеличения массы образцов во время опыта в результате внедрения твердой фракции пульпы. Во время эксперимента у образцов труб с внутренней поверхностью из термоэластопласта Армлен ПП ТЭП 12-55А после увеличения массы до некоторой величины обнаружен период неизменности массы. Таким образом, на основании экспериментальных данных впервые установлено наличие инкубационного периода процесса разрушения термоэластопластов при гидроабразивном воздействии хвостовой пульпы. Изучение влияния скорости, концентрации (10÷50 %) и дисперсности

хвостовой пульпы Михайловского ГОК на интенсивность износа полимерных и стальных трубопроводов показало увеличение интенсивности износа стальных и полиэтиленовых труб с повышением скорости потока гидросмеси и с ростом средневзвешенного диаметра абразивных частиц. Характер зависимости потери массы образцов стальных и полиэтиленовых труб при гидротранспорте хвостовой пульпы от концентрации гидросмеси не меняется. Подобное явление объясняется в работе двумя причинами - увеличением соударений частиц друг с другом и экранирующим эффектом по причине их осаждения в трубопроводе.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Результаты, полученные и изложенные в диссертационной работе, являются **новыми и имеют большое научно-практическое значение.**

Научная новизна работы состоит в постановке ряда нерешенных ранее задач и в полученных оригинальных результатах:

- **установлена** прямолинейная зависимость между модулем упругости, и степенью истирания под воздействием гидроабразивных суспензий для полиолефинов, термоэластопластов на основе полиолефинов и их смесей. Таким образом, определив значения модуля упругости, можно априори оценить стойкость к гидроабразивному износу указанных полимерных материалов;

- **впервые** установлена взаимосвязь между динамическим модулем механических потерь и степенью истирания в условиях гидроабразивного износа полиолефинов и термоэластопластов различного химического строения и их смесей, которая описывается линейной функцией;

- **выявлено** наличие инкубационного периода процесса разрушения термопластичных вулканизатов при гидроабразивном воздействии пульпой.

Научные результаты диссертации могут быть полезны при изучении проблем гидроабразивного износа и использованы в

работах по повышению эффективности промышленных гидротранспортных систем.

Теоретическая и практическая значимость исследований и полученных результатов.

На основании результатов эксперимента оптимизированы технологические параметры производства двухслойных труб по технологии соэкструзии. Термопластичный вулканизат Армлен ПП ТЭП 12-55А рекомендован для производства полиэтиленовых труб с внутренним слоем из термоэластопластов. Таким образом, решена задача импортозамещения - при разработке дизайна и технологии производства труб применяются отечественные трубные марки полиэтилена высокой плотности и Армлен ПП ТЭП 12-55А-901.

Рассмотрение вышеизложенных задач позволило разработать технические условия ТУ 22.21.21-049-73011750-2022 «Трубы напорные из полиэтилена с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу». Кроме того, разработана инструкция по строительным работам ИМ.ГПП.19-19-2 «Монтаж полиэтиленовых труб «МУЛЬТИПАЙП ИС» и «МУЛЬТИПАЙП ИС ПРОТЕКТ» с повышенной стойкостью к гидроабразивному износу», включающая рекомендации по стыковой сварке. Трубопроводные конструкции сертифицированы на соответствие ТУ (СС № РОСС RU.НВ24.АПТС Н00139/23) и требованиям промышленной безопасности (СС № С-РТЭ.002.Т.У.01194) и серийно производятся на предприятиях ООО «Группа ПОЛИПЛАСТИК» под торговым наименованием МУЛЬТИПАЙП ИС, а также со специальными защитными покрытиями: МУЛЬТИПАЙП ОС ИС - трудногорючие, и МУЛЬТИПАЙП УФ ИС – со специальным покрытием, стойким к УФ-излучению для открытой прокладки.

В настоящее время трубы надежно эксплуатируются на Гремячинском месторождении проекта «ЕвроХим-ВолгаКалий» и Наталкинском горно-обогатительном комбинате.

Разработанные трубопроводные системы рекомендованы к использованию на основании результатов натурных испытаний на участке перекачки пульпы Жезказганской обогатительной фабрике (холдинг «Казахмыс») и на опытно-промышленном участке золотоизвлекательной фабрики ОАО «Рудник имени Матросова» (ПАО «Полнос»).

Личный вклад автора состоит в постановке целей исследования и проведении экспериментов, обсуждении задач и результатов исследования; обобщении и анализе экспериментальных данных; разработке дизайна и отработке технологических режимов изготовления труб; формулировке выводов работы; оформлении в виде научных публикаций и докладов на конференциях основных научных и практических результатов.

Материалы диссертации отражены в опубликованных 10 научных трудах, в том числе 1 статье, индексируемой в международной базе Scopus, 3 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ, 1 статье, индексируемой в системе РИНЦ, 3 тезисах докладов и 2 научных статьях в сборниках материалов международных и всероссийских конференций.

К диссертационной работе имеется ряд замечаний:

1. При рассмотрении температурной зависимости динамического модуля механических потерь полиэтилена высокой плотности (рис. 40, кривая 1) наличие максимума на кривой при $T \sim 40$ °С объясняется, основываясь на литературных данных, изменением подвижности метиленовых групп на границе участков аморфной и кристаллической фаз. Данное объяснение вызывает сомнение, так как известно, что размораживание подвижности групп в макромолекуле – γ -переход, происходит в области температур значительно ниже температуры стеклования полимера – α -перехода.

2. Описание зависимости потерь напора от расхода гидросмеси для труб из ПЭ 100, труб с TPV, труб из стали не соответствует результатам, представленным на рисунках 54, 55, 56 и 58. Наименьшие потери напора у труб из ПЭ 100, а не у труб с TPV.

3. Непонятно какие характеристики обозначены в формулах 9 и 10 символом i – удельные потери напора или потери напора в трубах.

4. Представленные в диссертации многие рисунки выполнены не четко, что затрудняет восприятие и понимание результатов работы.

Указанные замечания не влияют на значимость диссертационной работы, не затрагивают основных выводов и результатов. Обоснованность, достоверность и научная новизна сформулированных в диссертации научных положений, выносимых на защиту, и выводов не вызывает сомнений. Работа выполнена на высоком научно-техническом уровне с привлечением современных методов исследования и высокоточных приборов.

По своему содержанию диссертационная работа отвечает паспорту специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов» в частях «2. ... свойства синтетических и природных полимеров, фазовые взаимодействия; исследования в направлении прогнозирования состав-свойства, технологии изготовления изделий и процессы, протекающие при этом...»; «3. Физико-химические основы процессов, происходящих в материалах на стадии изготовления изделий, а также их последующей обработки, в процессе эксплуатации...»; «6. Полимерное материаловедение; ...испытание и определение физико-механических и эксплуатационных характеристик...».

Автореферат диссертации и опубликованные работы правильно и полно отражают содержание работы.

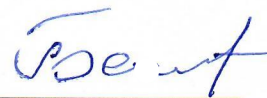
Диссертация Скрбнева Владимира Игоревича «Полимерные трубопроводы для горнодобывающей промышленности» является законченной научно-квалификационной работой, удовлетворяющей всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, предусмотренных

Положением о присуждении ученых степеней в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева».

Автор Скребнев Владимир Игоревич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. «Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов».

Отзыв заслушан и утвержден на заседании НТС,
протокол № 1 от 03.04.2024 г.

Кандидат технических наук,
(05.17.06 – «Технология и переработка
пластических масс и стеклопластиков»,
01.04.19 – «Физика и механика полимеров»)
Ведущий научный сотрудник Акционерного общества
«Институт пластмасс имени Г.С. Петрова»



Валентина Алексеевна Балабанова

« 04 » 04 2024 г.

Сведения о ведущей организации:

АО «Институт пластмасс»

Адрес: 111024 Москва, Перовский проезд, д.35

Общая почта: info@instplast.ru, iuzolkina@instplast.ru

Сайт: www.instplast.ru

Телефон: +7 (495) 600-06-00

Подпись В.А. Балабановой заверяю:

Начальник отдела кадров



 Е.Б. Шлык

« 04 » 04 2024 г.