

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния количества и вида наполнителей на механические характеристики полимерных композитов на основе СВМПЭ

УДК 678.5.046:678.742

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ4А	Вицке Рудольф Эвальдович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ММС	Кондратюк Алексей Алексеевич	К.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель кафедры менеджмента	Гаврикова Надежда Александровна			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ЭБЖ	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Материаловедение в машиностроении	Панин В.Е.	Д. ф.-м.н., акад. РАН		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов (магистратура)

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Осуществлять сбор, анализ и обобщение научно-технической информации в области материаловедения и технологии материалов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий, глобальных информационных ресурсов
P2	Работать с патентным законодательством и авторским правом при подготовке документов к патентованию и оформлению ноу-хау
P3	Выполнять маркетинговые исследования и анализировать технологический процесс как объекта управления, разрабатывать технико-экономическое обоснование инновационных решений в профессиональной деятельности
P4	Руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
P5	Внедрять в производство технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов, быть готовым к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, позволяющих получать и диагностировать материалы и изделия различного назначения.
P6	Разрабатывать новые и модернизировать существующие технологии получения керамических, металлических материалов и изделий, в том числе наноматериалов
P7	Внедрять системы управления качеством продукции в области материаловедения, эксплуатировать оборудование, позволяющее диагностировать материалы и изделия из них, в том числе наноматериалы
P8	Действовать в нестандартных ситуациях, нести социальную и этическую ответственность за принятые решения, выбирать наиболее рациональные способы защиты и порядка в действиях малого коллектива в чрезвычайных ситуациях
P9	Общаться в устной и письменной формах на государственном языке РФ и иностранном языке для решения задач профессиональной деятельности, подготавливать и представлять презентации планов и результатов собственной и командной деятельности, формировать и отстаивать собственные суждения и научные позиции
P10	Самостоятельно осваивать новые методы исследования, изменять научный, научно-педагогический и производственный профиль своей профессиональной деятельности
P11	Применять принципы рационального использования природных ресурсов, основные положения и методы социальные, гуманитарные и экономические подходы при решении профессиональных задач с учетом последствий для общества, экономики и экологии.
P12	Использовать основные категории и понятия общего и производственного менеджмента в профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки Материаловедение и технологии материалов

Кафедра Материаловедение в машиностроении

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

_____ Панин В. Е.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ4А	Вицке Рудольфу Эвальдовичу

Тема работы:

Исследование влияния количества и вида наполнителей на механические характеристики полимерных композитов на основе СВМПЭ	
Утверждена приказом директора ИФВТ	Приказ № 3139/с от 25.04.2016 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

09.06.16

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).	В работе исследовали армированные композиционные материалы на основе СВМПЭ, изготовленные методом горячего компрессионного формования. Длительность изготовления образцов составляла 40-50 часов, в качестве установки для горячего прессования использовалась уникальная собранная нами установка на основе разрывной машины «Р-20». Процесс горячего прессования заключается в одновременном прессовании и нагреве. Весь процесс можно поделить на 3 этапа: 1) Нагрев до 180°C при давлении P_1; 2) Выдержка при 180 °C и повышение давления до $P_2 = 2P_1$; 3) Охлаждение до 60 °C при давлении P_2. Данная установка безопасна, но требует соблюдение правил безопасности работы в лаборатории ММС НИТПУ.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	1. Литературный обзор, включающий сравнительный анализ дисперсных и армирующих наполнителей, а также основные методы изготовления образцов из сверхвысокомолекулярного полиэтилена 2. Изготовление модельных заготовок армированных композиций на основе СВМПЭ и отработка технологии изготовления горячим компрессионным прессованием 3. Исследование механических характеристик (Износ, растяжение, твердость) 4. Обсуждение результатов работы 5. Установление оптимальных режимов изготовления армированных композитов на основе СВМПЭ с разными наполнителями Дополнительные разделы: «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность».

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)		Презентация ВКР в Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент...	Гаврикова Надежда Александровна, старший преподаватель кафедры менеджмента, НИ ТПУ	
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович, профессор кафедры ЭБЖ, НИ ТПУ	
Английский язык	Игна Ольга Николаевна, старший преподаватель кафедры ИЯФТ, НИ ТПУ	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Реферат - Abstract		
Введение - Introduction		
Экспериментальная часть - Experimental Section		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ММС	Кондратюк Алексей Алексеевич	К.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ4А	Вицке Рудольф Эвальдович		

Содержание

Введение	1
1 Литературный обзор	3
1.1 Объёмные материалы на основе сверхвысоко молекулярного полиэтилена (СВМПЭ)	3
1.2 Определения и классификация полимерных композитов	5
1.3 Классификация наполнителей	7
1.4 Классификация армирующих наполнителей	10
1.5 Компрессионное формование	11
1.6 Механические свойства высокомолекулярных полимеров	15
1.7 Прочность, общие понятия	17
1.8 Износ и износостойкость	19
1.9 Теоретическая прочность полимеров	20
1.10 Три физических состояния аморфных полимеров	22
1.10.1 Высокоэластическое состояние	23
1.10.2 Стеклообразное состояние	24
1.10.3 Вязкотекучее состояние	24
1.11 Пластификация полимеров	25
2 Постановка задачи, материалы и методика эксперимента	26
2.1 Постановка задачи	26
2.2 Материалы и методика эксперимента	26
3 Экспериментальная часть	30
3.1 Отработка технологических режимов горячего прессования	30
3.2 Создание композиций	34
3.2.1 Определение гранулометрического состава	34
3.2.2 Технология создания композиций	35
3.2.3 Горячее компрессионное спекание заготовок	36
3.3 Механические испытания	37
3.3.1 Твердость по Бринеллю	37
3.3.2 Исследования образцов на износ	41
3.3.3 Исследование образцов на растяжение	45
Здание на выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	57
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	57
4.2 Разработка устава НИР	57
4.2.1 Цели и результаты проекта	58
4.2.2 Организационная структура проекта	59
4.2.3 Ограничения и допущения проекта	59
4.3 Планирование и график НИР	60
4.3.2 Календарный план проекта	61
4.3.3 Сетевой график выполнения НИР	63
4.4 Составление сметы затрат	64

Задание на выполнение раздела «Социальная ответственность»	69
5 Социальная ответственность	71
5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	71
5.1.1 Микроклимат	73
5.1.2 Производственный шум	74
5.1.3 Освещенность	75
5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	81
5.2.1 Факторы электрической природы	81
5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы	83
5.3 Охрана окружающей среды	85
5.4 Защита в ЧС	87
Заключение	89
Список публикаций	91
Список используемой литературы	93
Приложение А	94
Приложение Б	104

Введение

Развитие науки и техники, появление новых технологий и потребности общества вызывают повышение таких показателей качества конструкционных материалов, как прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость, коррозионная и радиационная стойкость, пониженная плотность и технологичность изготовления. Традиционные природные материалы (металлы, сплавы и другие конструкционные материалы) этим повышенным и часто противоречивым требованиям не всегда могут удовлетворить. Поэтому создаются новые виды конструкционных материалов на основе фундаментальных и прикладных разработок. [1]

Одним из широко распространённых видов новых материалов являются пластические массы. Пластмассы представляют собой многокомпонентные системы, состоящие из полимера или смеси полимеров с введением различного рода добавок (наполнителей). Таким образом, полимер в этой системе является связующим (матрицей). В качестве добавок в пластмассах используются дисперсные, волокнистые, слоистые и зернистые наполнители.

Наибольшее применение получила группа полиэтиленов. Полиэтилен производят полимеризацией этилена либо при высоком давлении ($100\div400$ МПа) и температуре $200\div300$ °С (плотность составляет $916\div935$ кг/м³, молекулярная масса $8\cdot10^4 \div 5\cdot10^5$) – полиэтилен высокого давления (ПЭВД); либо при низком давлении ($0,2\div6$ МПа) и температуре до 200 °С (плотность составляет $917\div970$ кг/м³, молекулярная масса $3\cdot10^4 \div 7\cdot10^5$) полиэтилен низкого давления (ПЭНД).

Наиболее перспективной матрицей может служить сверхвысокомолекулярный полиэтилен (СВМПЭ) – полиэтилен с молекулярной массой более $1\cdot10^6$ углеродных единиц. Высокая молекулярная масса этого полимера определяет его уникальные физико-механические свойства, резко отличающие его от других марок полиэтилена.

СВМПЭ обладает высокой устойчивостью к коррозионно-активным химическим соединениям, имеется низкое влагопоглощение и морозостойкость (диапазон рабочих температур от -200°C и до $+120^{\circ}\text{C}$). Следует отметить его устойчивость к воздействию радиации и вакуума, а также износостойкость, низкий коэффициент трения и не токсичность. Однако, из-за довольно большого молекулярного веса, вязкость расплава данного полимера – высока, это привело к невозможности использования при его переработке ряда некоторых распространённых таких технологических методов как литье под давлением и шнековое экструдирование. Поэтому наиболее приемлемым, при промышленном производстве изделий из СВМПЭ, принято считать горячее компрессионное прессование (Г.П.). [2]

Введение наполнителей приводит к изменению механических характеристик получаемых полимерных композитов. Целью данной работы являлось получение композиционных материалов конструкционного назначения с различными видами наполнителей и их процентным содержанием, а так же исследование влияния вводимого наполнителя на механические характеристики.

1 Литературный обзор

1.1 Объёмные материалы на основе сверхвысоко молекулярного полиэтилена (СВМПЭ)

Полимерами принято называть высокомолекулярные вещества (гомополимеры) с введёнными в них добавками, а именно стабилизаторами, ингибиторами, смазками и так далее [1].

Основной особенностью полимеров считается в специфическое цепное строение молекул, состоящих из неоднократно повторяющихся звеньев.

Сами звенья представляют собой низкомолекулярные вещества, мономеры, молекулы которые способны в определённых условиях могут последовательно соединяться друг с другом в результате химического синтеза. В результате чего, звенья между собой соединены в цепи химическими связями.

Макромолекула – это молекула полимера, молекулярная масса (ММ) которой обуславливается степенью полимеризации мономеров, то есть числом (n) мономерных звеньев с молекулярной массой М в единичной цепи

$$n * M = MM \quad (1)$$

В зависимости от численных значений массы и числом мономерных звеньев молекулярная масса полимеров может меняться в весьма обширных пределах от $3 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^6$ единиц.

Сверхвысоко молекулярный полиэтилен – это полиэтилен с ММ более $1,5 \cdot 10^6$ г/моль. СВМПЭ получается полимеризацией этилена на комплексных металлоорганических катализаторах при низком давлении. СВМПЭ предназначен изделий обладающих высоки показателями физико-механических свойств к таким материалам можно отнести:

- Изделия специального технического назначения: подшипники, шестерни, втулки, прокладки, ролики, муфты.
- Спортивный инвентарь и изделия: хоккейные катки, ограждения, полозья саней, скользящие поверхности лыж и др.

- Медицинских изделий: детали внутреннего протезирования и ортопедии, а так же для облицовки и футеровки различных емкостей, машин и аппаратов [3].

К наиболее распространённым методам переработки СВМПЭ относятся следующие [3]:

- Спекание (предварительно сформованных заготовок)
- Горячее прессование (спекание под давлением)
- Экструдирование
- Напыление (горячепламенное, электростатическое)
- Гель-формование (волокно)

Полиэтилен перерабатывается всеми используемыми методами применяемые для термопластов. Благодаря совмещению ценных свойств со довольно низкими затратами на промышленное производство полиэтилен по выпуску занимает среди пластмасс первое место.

Наряду с высокими показателями механической прочности СВМПЭ, так же обладает химической стойкостью, стойкостью к растрескиванию, истиранию, ударным нагрузкам, морозостойкостью, низким коэффициентом трения. СВМПЭ работает в широком интервале температур: от минус 260°С до плюс 120°С. Так, при полном отсутствии нагрузок или при незначительной механической нагрузке детали из СВМПЭ можно использовать до 120°С, не боясь существенной деформации. Эксплуатировать детали и узлы установок при долгом воздействии температуры 120°С и выше не рекомендуется, из-за опасности частичного термического разложения полимера. Детали узлы машин из СВМПЭ служат при низких температурах, вплоть до температуры минус 260°С, при этом СВМПЭ сохраняет некоторую прочность и стойкость к удару.

СВМПЭ на рынке представлен некоторыми базовыми марками и различными композициями, в том числе со стабилизаторами, красителями, минеральными наполнителями, добавками. Форма поставки так же бывает различной. В зависимости от способа переработки и назначения изделий к

порошку предъявляются определённые требования по его гранулометрическому составу.

Детали на основе СВМПЭ могут использоваться для защиты конструкций и деталей от атмосферной коррозии, воздействия химически агрессивных сред, абразивного и гидроабразивного износа, обеспечения низкого коэффициента трения сопрягаемых поверхностей, герметизации соединений, электрической изоляции. Изготовление изделий из СВМПЭ в основном осуществляется горячим прессованием или спеканием предварительно отпрессованных заготовок. Горячее прессование – наиболее популярный способ получения полуфабрикатов таких, как листов, плит и блоков, из которых токарной обработкой изготавливают различные фасонные изделия. Спекание отпрессованных заготовок так же позволяет получать блоки, подвергающиеся в дальнейшем механической обработке. Таким путём производят ленты и плёнки различных толщин. [4]

1.2 Определения и классификация полимерных композитов

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) состоят из двух или более компонентов. Компоненты могут быть различны по своим свойствам, при этом их взаимное введение должно давать некий суммирующий эффект, который заранее невозможно рассчитать.[5]

Обычно один основной компонент образует стабильную фазу, которая называется матрицей композита, иной компонент является введенным наполнителем. Между данными частями возникает адгезионная взаимосвязь или механическое зацепление, которое обеспечивает сплошность композита.

В полимерных композитах сама матрица естественно, полимерная. Наполнители представлены в качестве частиц и волокон, обладающие, значительно различными физико-механическими свойствами относительно самой полимерной матрицей для придания композиту определенных свойств. Разница между частицами и волокнами обусловлена соотношением размеров. Для дисперсных наполнителей абсолютные размеры изменяются в обширных

пределах: от долей миллиметра до наноразмерных величин. Механические характеристики волокон в два раза выше свойств матрицы. Они бывают непрерывными и рубленными. Как правило, название полимерных композитов соответствует природе волокон.[5]

Длина рубленых волокон составляет от нескольких миллиметров до нескольких десятков миллиметров. В механической переработке они разрушаются, и их длина составляет 0,5-2 мм. ПКМ на их основе обладают характерных как для дисперсно-наполненных композитов, так и на основе непрерывных волокон. Их характеристики определяются отношением длины волокон и процентному содержанию их в матрице.

Очень важным является вопрос ориентации волокон в матрице. Вопреки этому получается композит с анизотропными свойствами в различных направлениях.

Ориентация волокон обуславливает переход от наполненных композитов к армированным. При этом изменяется подход к определению композита. Армированные пластики — это система ориентированных волокон и проволок, скрепленных между собой полимерной матрицей.

Классификацию композитов можно осуществить по следующим признакам:[5]

- а) По природе происхождения матрицы (термореактивная, термопластичная, гибридная).
- б) По природе и форме наполнителя (органические и неорганические, дисперсно-наполненные, материалы на основе коротких и непрерывных волокон).
- в) По структуре полимерных композитов: (матричная структура (двухмерная) для материалов на основе дисперсных и коротких волокнистых частичек, объемная (трехмерная) для армированных пластиков на основе тканых и нетканых материалов).
- г) По степени ориентации наполнителя: (хаотическое, однонаправленное, перекрестное, косоугольная, веерная)

1.3 Классификация наполнителей

Одним из важнейших элементов структуры ПКМ являются вводимые наполнители. Функции наполнителя в ПКМ весьма различны, создание комплекса механических характеристик для придания композиту разнообразных свойств. Вследствие этого в роле введенных наполнителей ПКМ выступают различные вещества и материалы, содержание которых колебаться в весьма широких границах.

По основным признакам, определяющим способ подготовки и изготовления, классифицировать наполнители можно в соответствии с приведенной ниже схемой (Рисунок 1). [2].

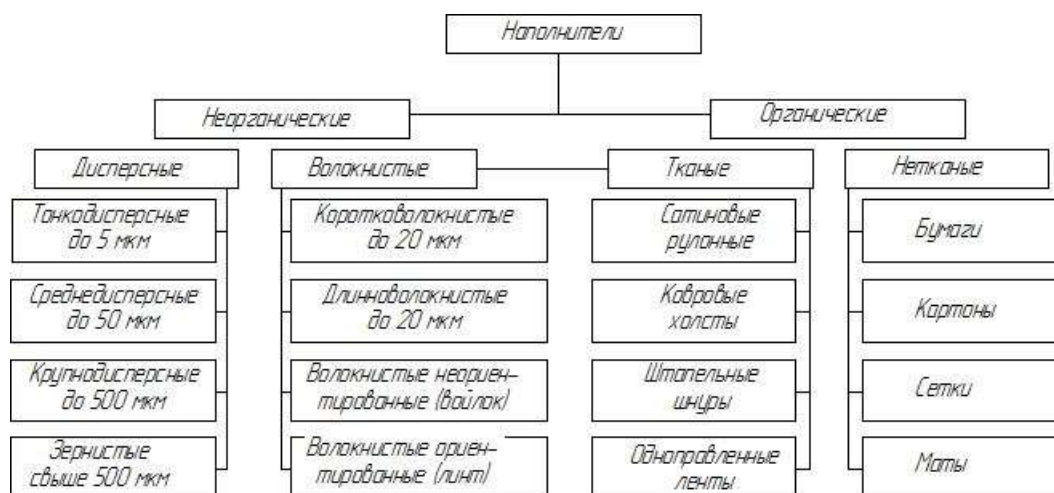


Рисунок 1 - Разновидности наполнителей по основным морфологическим признакам

Наиболее распространенный вид наполнителей ПКМ - это дисперсные наполнители, в качестве которых выступают различные вещества органического и неорганического происхождения.

Чаще всего, в качестве дисперсных наполнителей выступают порошки различных веществ с различной дисперсностью. Как правило, размер частиц не превышает 40 мкм, но в последние годы для создания нанокомпозитов используют частицы размером менее 1000 нм. Предел используемых дисперсных наполнителей в композите колеблется в весьма широких границах - от нескольких процентов до нескольких десятков.

При введении порошков металлов в композит, достигается повышенная электропроводность только при их достаточно высоких концентрациях, так как поверхность частиц окисляется, препятствующая переносу заряда между частичками порошка-наполнителя. Помимо этого, плотность металла в разы превосходит плотность матрицы, что очень утяжеляет композит. Конечно, это привело к тому, что данный наполнитель используется лишь в редких случаях, например, для придания ПКМ магнитных свойств. Использование особых способов смешения композиции или использование частиц металла различной формы, позволяет снизить процент вводимого наполнителя, необходимую для достижения определенных уровней проводимости. Стоимость порошков металлов зависит от его химической чистоты, формы и размера частиц.

При введении наполнителей, а именно дисперсных, в сравнительно не больших количествах (до 10%), как правило, приводит к сохранению или даже кое-какому повышению прочности (рисунок 2) полимерного композита. При введении больше чем 10% наполнителя физико-механические свойства композита понижаются.[1]

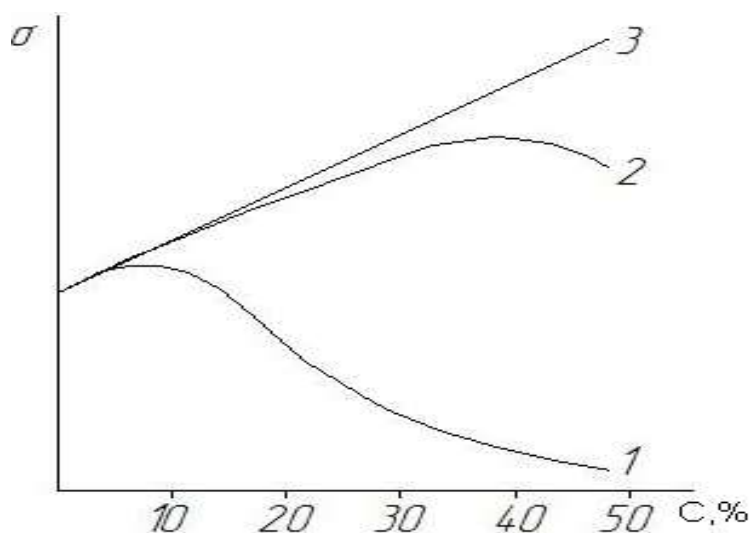


Рисунок 2 – Классическая зависимость прочности σ , полимерного композита от процентного содержания наполнителя: 1 - дисперсного; 2 - волоконного; 3 - армирующего.

Второе место после дисперсных по использованию среди всех наполнителей занимают волокнистые наполнители. Первые материалы на их основе были получены в начале 20 века. Это были фенопласты с хлопковыми волокнами. В качестве волокнистых наполнителей на первых порах использовались природные волокна растительного и минерального происхождения. Однако с середины 20 века большая часть среди волокнистых наполнителей передалось к стекловолокну.

Для использования слоистых наполнителей в промышленном изготовлении плоских и крупногабаритных изделий применяют различные листовые и слоистые наполнители, к которым относятся ткани, холсты, сетки, пленки, ленты и др.

Обширный выбор различных металлических волокнистых наполнителей, способен удовлетворить всяким требованиям, появляющимся при изготовлении армированных композиций. Преимуществом металлических армирующих элементов являются ее гетерогенность по длине и диаметру вдоль всего волокна, строгая форма поперечного сечения и их размеров. Недостатками металлических волокон, так же как и металлических дисперсных наполнителей, являются высокая плотность. Свойства металлических армирующих волокон обуславливаются исходным материалом и технологией изготовления. Конфигурация волокон, одно направленность их сечения, шероховатость поверхности и ее химический состав определяется технологией производства волокон, тогда как их физико-механические характеристики почти не выделяются от характеристик исходного материала.

В настоящее время используются новые перспективные методы производства волокон: гальваническое нанесение металлов или напыление из паровой фазы на подложку, разложение неорганических соединений, формование из суспензии, в отличие старых установившихся процессов волочения, применяемых в производстве проволоки в течение многих десятилетий.

Так же последнее настоящее время все большее распространение получает метод модификации волокон путем внедрения в его состав значительных количеств минеральных наполнителей. Таких как карбонат кальция, силикаты (асбест, каолин, тальк, базальт). Известно, что полимеры наполняются в малых объемах волокна особого назначения. В ближайшее время этот метод станет одним из основных методов армирования полимеров. Данным методом можно модифицировать почти все известные волокнообразующие полимеры, при этом, как правило, с применением существующего современного технологического оборудования. Волокна, полученные данным методом сами, по себе являются композитом.

1.4 Классификация армирующих наполнителей

Для создания армированных ПКМ, в качестве самих армирующих элементов используют высокопрочные волокна, что позволяет им воспринимать основные напряжения, зарождающиеся в ПКМ при действии внешних механических нагрузок и обеспечивать жесткость конструкции изделия, обусловленную модулем упругости волокон и схемой их размещения в объеме ПКМ.

Армирующие волокна, применяемые в композитах конструкционного назначения, обязаны соответствовать ряду эксплуатационных и технологических требований. К эксплуатационным относятся требования по жесткости, прочности, плотности, химической стойкости, стабильности свойств волокон в заданном температурном интервале. Технологические требования к волокнам обеспечиваются вероятностью создавать высокопроизводительные процессы их переработки в изделия в составе ПКМ, а также создания совместимости волокон с матрицей для достижения прочной химической и механической связи вплоть до момента разрушения армирующего элемента.

Общепринятыми классификационными признаками для таких наполнителей ПКМ являются структура распределения волокон и вид волокнообразующего материала.

По структуре, представленной на рисунке 3 армирующие элементы делаются на четыре группы: однонаправленные, тканые, объемного плетения и нетканые.

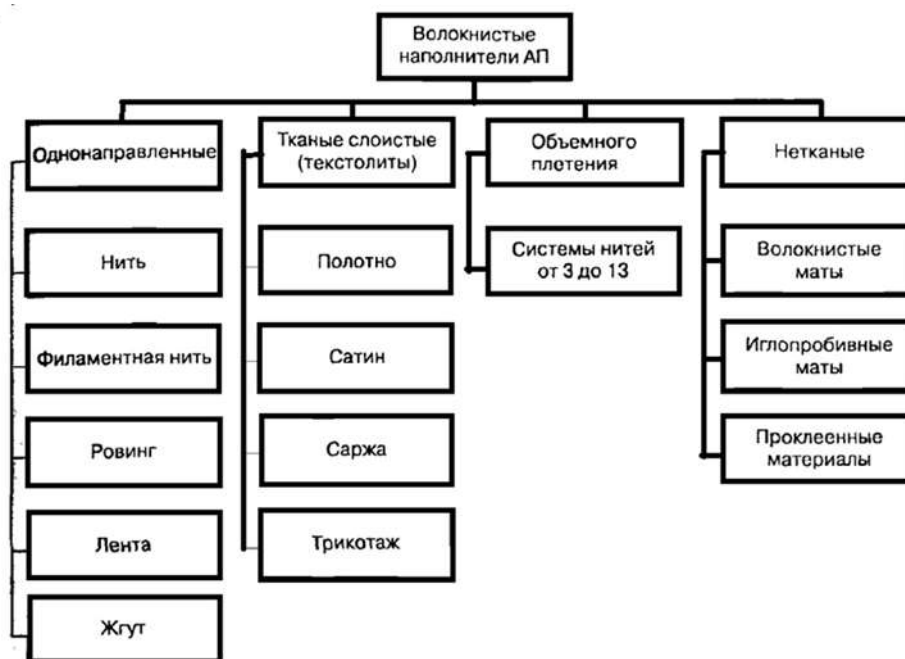


Рисунок 3 – Основные виды и разновидности армирующих элементов применимых при создании ПКМ

Наиболее часто применяемые армирующие элементы подразделяют на углеродо-, стекло-, органоволокнистые, а используемые для особого армирования — на базальто-, боро-, и керамиковолокнистые. Данный виды материалов для изготовления армирующих элементов, удовлетворяет современные требования к армированным композитов не только по механическим характеристикам, но и по комплексу существенных функциональных и экономических характеристик.

В это же время величины теплостойкости волокнообразующих материалов изменяются более чем в 15 раз, перекрывая диапазон 150 - 3000°C, по тепло-, электро-, звукопроводности - от изоляторов до проводников. По горючести — от легко сгорающих до негорючих. Добавив к этому стоимость 1 кг армирующего наполнителя из различного материала, которая колеблется в 100 и более раз. Следовательно, становится понятным, что выбор некого вида наполнителя по различным комплексам задаваемых эксплуатационных

характеристик армированных ПКМ в составе создаваемых изделий может иметь различные решения.

Как было показано выше, свойства наполнителей армированных полимеров, обусловленные в первую очередь самим волокнообразующим материалом, изменяя в значительной мере набор структур, которые могут быть основаны армирующими волокнами.

1.5 Компрессионное формование

Основными методами изготовления изделий из полимерных материалов является: прессование, литье под давлением, экструдирование, вакуумное и пневматическое формование изделий.

Процессом получения из пластических масс изделий установленных размеров и конфигурации в пресс-форме под давлением пуансона называют прессованием. Изделия на гидравлическом прессе прессуются двумя методами: компрессионным (прямым) и трансферным (литьевым). Компрессионное прессование может быть холодным и горячим.

Холодное компрессионное прессование является одним из самых старых методов формования пластических масс. Процесс холодного прессования имеет экономические преимущества перед другими методами прессования. Прессование происходит очень быстро и не требует ни нагревания, ни охлаждения. Благодаря низкой стоимости материала и скорости производства, для которого не нужно дорогостоящих пресс-форм, этот метод до сих пор находит применения. Композиции, прессующиеся в холодном состоянии, отличаются тем, что они готовятся на месте, где производится прессование. При этом смесь затвердевает, если ее не прессуют вскоре после приготовления.

Горячее компрессионное прессование находит более широкое применение, так как оно не имеет указанных недостатков холодного прессования. Отличие горячего от холодного заключается в том, что давление к материалу прикладывается в нагретой и закрытой пресс-форме. Процесс горячего прессования происходит следующим образом. Материал в виде

таблеток, гранул, шариков, обрезков ткани, пропитанных смолой, загружают в нагретую пресс-форму, которую закрывают при небольшом давлении.

Материал по мере нагревания в пресс-форме и становится пластичным, а в то время, как пресс-форма продолжает смыкаться, он заполняет все углубления ее полости. Затем изделие выдерживают под давлением до завершения процесса отверждения; при этом прессование ведется с своевременной подпрессовкой, т. е. пресс-форму на мгновение открывают после первого смыкания, чтобы позволить удалиться содержащимся в пластмассе газам перед окончательным замыканием формы.

Основной недостаток компрессионного прессования (холодного и горячего) заключается в том, что полное отверждение изделий большого сечения затруднено вследствие плохой теплопроводности пластических материалов. Этот недостаток устраняется при использовании метода трансфертного (литьевого) прессования.

Метод литьевого прессования основан на использовании камеры загрузки, после выдержка для достижения нужной пластичности, из которой непосредственно подогретый материал нагнетается в соответствующую форму.

Данный метод прессования получил широкое применение при производстве изделий из термореактивных материалов (фенопласты, аминопласты и др.), листовых слоистых пластиков (текстолит, стеклотекстолит, гетинакс и др.), древесноволокнистых плит, стеклопластиков и других материалов.

Одним из самых популярных методов изготовления изделий из термопластических материалов является литье под давлением. Процесс заключается в том, что материал, разогретый до пластического состояния в специальной форме, выдавливается с высокой скоростью и большим давлением в литьевую форму.

Изготавливаться одной или нескольких деталей одновременно, возможно на литьевых машинах, в зависимости от конфигурации, массы и площади отливки конечного изделия. В качестве полимерной матрицы для изготовления ПКМ

методом литья применяются такие материалы, как полиэтилен, полистирол, полиамид в гранулированном или порошкообразном виде. Удельное давление впрыска напрямую зависит от вида применяемого материала и степени его предварительной пластикации и колеблется в пределах от 24 до 210 Мн/м².

Все литьевые машины подвергаются классификации по мощности, конструкции и типу привода. Производственная мощность определяется в кубических сантиметрах впрыскиваемого материала, расходуемого на изготовление одной отливки, и колеблется в пределах от 5 до $3,1 \cdot 10^4$ см³.

С технологической точки зрения литье под давлением можно определяется, как замкнутый процесс, состоящий из следующих основных операций: дозирования термопластичного подаваемого материала, подачи его в инжекционный цилиндр, нагревания и расплавления материала, впрыска под давлением пластицированного расплава в форму, охлаждения изделия в форме (остывая в форме, материал отвердевает и образует изделия заданного профиля), раскрытия формы и удаления из нее готовых изделий.

Метод и процесс получения изделий из полимерных материалов путем продавливания расплава материала через формующее отверстие в экструдере называется экструдированием.

Экструзия представляет собой непрерывный процесс, заключающийся в продавливании материала, имеющего высокий модуль вязкости в жидко-текучем состоянии, через формующий инструмент для получения изделий с поперечным сечением нужной формы. В промышленности переработки полимеров методом экструзии изготавливают различные изделия, такие, как трубы, листы, пленки, оболочки кабелей, элементы оптических систем. Основным технологическим оборудованием для переработки полимеров в изделия методом экструзии являются поршневые и дисковые экструдеры.

Вакуумное и пневматическое формование получило широкое применение при производстве изделий относительно больших размеров и сложного профиля, получение которых, например, методом литья под давлением затруднительно.

Для вакуумного и пневматического формования применяется листовой материал, из которого можно изготавливать разнообразные изделия, как например, ванны, раковины, корпуса холодильников и др. Из тонколистовых пластмасс можно изготавливать декоративные облицовочные материалы, упаковочную тару и т. д.

Технологический процесс вакуумного формования происходит в следующей последовательности: лист термопласта закрепляется над формой и прогревается до эластичного состояния; затем из формы отсасывается воздух, вследствие чего лист пластмассы притягивается либо к внешней, либо к внутренней поверхности, при этом четко отпечатываются все особенности поверхности формы; далее изделие охлаждается и снимается.

В качестве исходного сырья при вакуумном и пневматическом формовании применяются следующие листовые и пленочные материалы: органическое стекло, полиэтилен, ударопрочный полистирол, полиметилметакрилат и др.

Методы вакуумного и пневматического формования основаны на том, что размягченный термопластичный материал под действием вакуума или давления сжатого воздуха может точно и плотно облегать ту или иную форму.

1.6 Механические свойства высокомолекулярных полимеров

Механические свойства полимерных композитов определяются степенью изменения размеров, структуры, формы тела при влиянии на него механических сил. Различают на прочностные и деформационные свойства. Деформационные свойства характеризуют способность полимерных композиционных материалов деформироваться под действием механических напряжений, прочностные же характеризуют способность сопротивляться одновременно и деформации и разрушению. Любая деформация сопровождается изменением структуры и свойств: чем сильнее про деформировалось тело, тем значительно изменилась структура и свойства.

Вследствие особой специфики строения макромолекул и надмолекулярных структур, механические свойства полимеров описываются

рядом особенностей и зависят от ряда факторов такие, как состав, строение полимера, а так же внешние условия. Работоспособность полимерных композитных материалов во многом обуславливается режимом их деформирования, прежде всего характером действия внешних сил. Различают статические и динамические режимы нагружения. К статическим относят воздействия при постоянных нагрузках или деформациях, а так же при небольших скоростях нагружения, к динамическим – ударные или циклические воздействия.

Принципиальные особенности полимерного состояния вещества определяют ряд характерных черт механических свойств полимеров, к которым, в первую очередь, относятся: способность полимеров к большим обратимым деформациям; релаксационный характер деформации, т.е. её зависимость от времени воздействия; способность полимеров приобретать анизотропию свойств и сохранять её при прекращении воздействия. Для механических свойств полимеров в высокоэластичном состоянии характерно яркое проявление первых двух из вышеперечисленных особенностей, в стеклообразном – всех трёх. [2]

Под действием механических сил все тела деформируются, а при сильных или длительных воздействиях разрушаются. В соответствии с этим различают деформационные и прочностные свойства полимеров.

Таблица 1 - Характеристика механических свойств некоторых полимеров

Полимер	σ , МПа	ξ , %	E, МПа	Физическое состояние
Резина из натурального каучука	34	650	7	Высокоэластическое
Полиэтилен низкой плотности Высокой плотности	12-16 22-30	100-600 200-900	150-250 550-800	Кристаллическое То же
Полистирол	30-70	1,5	3000	Стеклообразное
Полиметилметакрилат	70	4	2800	То же
Капрон Пластик Волокно	60 800	100 20	3500 10000	Кристаллическое То же
Поливинилхлорид	50	20	2500	Стеклообразное

1.7 Прочность, общие понятия

Под термином прочность понимают способность материала сопротивляться воздействию внешнего механического поля. Прочность обеспечивает сохранение формы изделия, к которому приложена внешняя нагрузка. Под действием внешней силы в материале изделия возникает механическое напряжение или, как принято называть, напряжение. [9]

Если значение напряжения в изделии равно или превышает разрушающее напряжение материала, то оно разрушается. Таким образом, оценивая прочность полимерного материала, используют два фундаментальных понятия: напряжение определяет уровень нагруженности изделия; разрушающее напряжение — определяет предел нагруженности материала, достижение которого вызывает разрушение изделия. Разрушающее напряжение еще называют пределом прочности ($\sigma_{пч}$, $\tau_{пч}$).

В зависимости от соотношения вектора внешнего усилия и плоскости, в которой развиваются вызванные им деформации, напряжения подразделяются на нормальные и касательные или тангенциальные.

Нормальные напряжения(σ):

- сжатие, растяжение

$$\sigma_{сж.р} = \frac{N}{S}, \quad (2)$$

где N – приложенное усилие, Н;
 S - площадь наименьшего по вектору поперечного сечения изделия, м²

$$\sigma_u = \frac{M_u}{W}, \quad (3)$$

где M_u - изгибающий момент от действия приложенного к изделию усилия, Н·м;
 W - момент сопротивления сечения изделия, м³.

- Касательные напряжения (τ):

$$\tau_{с,сдв} = \frac{N}{S} \quad (4)$$

где N — действующее касательное усилие,;
 S — площадь изделия в плоскости действия силы N , м²;

- Кручение

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{W_p}, \quad (5)$$

где $M_{кр}$ - момент крутящий приложенный к изделию, Н-м;
 W_p — полярный момент сопротивления сечения изделия, м³.

В случаях, когда к изделию приложены усилия, действующие одновременно в разных плоскостях, различают двухосное или трехосное нагружение. Два, три или более одновременно действующих напряжений заменяют одним, эквивалентным ($\sigma_{экв}$).

В общем случае:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{0,5[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}. \quad (6)$$

где σ_1, σ_2 и σ_3 - нормальные напряжения от усилий, действующих по трем главным координатным осям.

Для случая двухосного нагружения ($\sigma_3 = 0$) уравнение упрощается, приобретая вид:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \sigma_2}. \quad (7)$$

При одновременном действии нормальных и касательных напряжений используют более сложные зависимости.

Расчетные значения напряжений (σ , τ) не должны превышать допускаемые напряжения $[\sigma]$, $[\tau]$, величина которых определяется простыми соотношениями:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пч}}{n_1}; \quad (8)$$

$$[\tau] = \frac{\tau_{пч}}{n_2}, \quad (9)$$

где $\sigma_{пч}, \tau_{пч}$ — пределы прочности,
 n_1, n_2 — коэффициенты запаса прочности соответственно для нормальных и касательных напряжений.

В конечном счете, при оценке любых действующих в изделиях напряжений должно соблюдаться соотношение:

$$\sigma \leq [\sigma]; \quad \tau \leq [\tau] \quad (10)$$

Естественно, что приложенное к изделию усилие вызывает большее или меньшее изменение его геометрических размеров. Наиболее часто используют понятие «относительное удлинение» ε , которое определяют по соотношению:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100, \%, \quad (11)$$

где l_0 — исходный размер ненагруженного образца, м;

Δl — приращение размера под действием приложенного усилия, м.

Относительное удлинение, как и оцениваемую им деформацию, подразделяют на упругую и пластическую. Упругая деформация обратима. После снятия нагрузки ($y = 0$) она полностью исчезает, и изделие восстанавливает свою исходную конфигурацию. Пластическая деформация необратима. После снятия нагрузки она сохраняет значение, достигнутое за время нагружения.

1.8 Износ и износостойкость

Износ понимается как изменение размеров, формы, массы или состояния поверхности изделия вследствие разрушения (изнашивания) микрообъемов поверхностного слоя изделия при трении.

Износ деталей машин, элементов строительных конструкций (например, ступеней лестниц) или предметов, одежды и др. зависит от условий трения, свойств материала и конструкции изделия. Износ можно рассматривать как механический процесс, осложнённый действием физических и химических факторов, вызывающих снижение прочности микрообъемов поверхностного слоя. По условиям внешнего воздействия на поверхностный слой различают износ: абразивный, кавитационный, эрозионный и др. И. приводит к снижению

функциональных качеств изделий и к потере их потребительской ценности. Увеличению износостойкости изделий способствуют как применение материалов с высокой износостойкостью, так и конструктивные решения, обеспечивающие компенсацию износа, резервирование износостойкости и пр., общее улучшение условий трения (применение высококачественных смазочных материалов, защиты от абразивного воздействия и пр.).

Основная формулировка износостойкости выглядит как - сопротивление материалов изнашиванию. Износостойкость деталей оценивается при испытаниях на стенде или в эксплуатационных условиях по длительности работы подвергаемых испытаниям материалов или изделий до заранее заданного или предельного значения износа. Износостойкость материалов определяется как их условная техническая характеристика при испытании на специальных лабораторных машинах, обеспечивающих моделирование реальных процессов изнашивания. [2]

1.9 Теоретическая прочность полимеров

Несмотря на различную природу атомов в повторяющихся звеньях полимеров, их объединяет общее: связи между атомами и между звеньями являются химическими или координационными. Эти связи имеют длину 0,1-0,2 нм и обладают высокой энергией.

Химические связи в макромолекуле по энергии значительно превышают любые другие связи между структурными единицами.

На рисунке 4 Приведены схемы некоторых типов разрушений полимеров.



Рисунок 4 - Схемы некоторых типов разрушения полимеров: а) – разрушение химических связей; б) – разрушение скользящими молекулярной цепи; в) – разрушение водородной связи или силы Ван-дер-Ваальса

В ряде полимеров при деформации может происходить разрушение химических связей. При этом отдельные молекулы становятся параллельны внешним силам (рисунок 4,а). В других случаях деформация приводит к скольжению молекул относительно друг друга (рисунок 4,б). Возможно, выделить, как результат деформации, разрушение водородных связей или силы Ван-дер-Ваальса, когда молекулярные цепи становятся перпендикулярными направлению внешней силы (рисунок 4,в).

Условно можно выделить три основных типа механизмов разрушения полимеров. В первом случае происходит одновременно разрыв всех цепей в одном сечении. Сила разрушения одной ковалентной связи определяется по формуле:

$$f = \frac{E}{l}, \quad (12)$$

Где E – энергия ковалентной связи, равная 350 кДж/моль,
 l – расстояние, на которое необходимо удалить атом из стабильного положения, против силы притяжения f .

Во втором случае (рисунке 4,б) происходит разрыв водородных связей. Предположим, что длина молекулярной цепи равно 100 нм, а на каждые 0,5 нм приходится внешняя энергия 20 кДж/моль, это ещё выше, чем энергия ковалентной связи.

В третьем случае молекулы располагаются нормально к направлению внешней силы, здесь разрыв обусловлен разрушением отдельных водородных связей или связей Ван-дер-Ваальса. Энергия водородной связи – 20 кДж/моль, предел действия – 0,4 нм.

Однако даже образец с очень высокой степенью ориентации не имеет идеальной структуры. Обычно длина молекулярной цепи ограничена поэтому разрушение происходит сначала в неориентированной части цепи с разрывом водородной связи, затем напряжения концентрируются на главной цепи, где и происходит разрушение материала [6].

1.10 Три физических состояния аморфных полимеров

Для аморфных полимеров, в зависимости от температуры, характерны три различных физических состояния: стеклообразное, высокоэластическое и вязкотекучее. Первые два относятся к твёрдому агрегатному состоянию, последнее – к жидкому. Высокоэластическое состояние является специфичным для полимеров.

Температурные области существования различных физических состояний полимеров определяются по зависимости какого-либо свойства от температуры. Наиболее простым и надёжным являются дилатометрический и термомеханический методы. В первом случае изучается изменение объёма в зависимости от температуры, во втором – деформации.

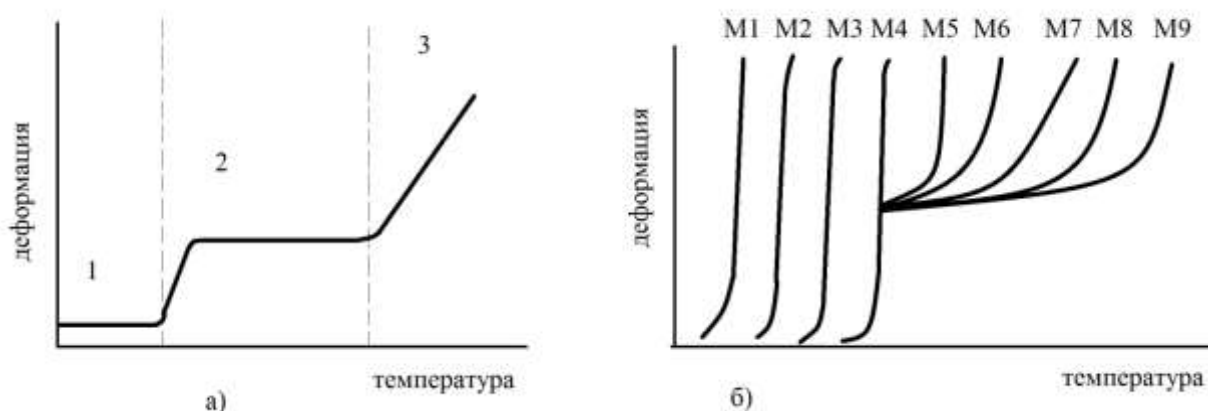


Рисунок 5 - Термомеханические кривые полимеров: а – аморфного линейного; б – одного ряда $M1 < M2 < M3 < M4 < M5 < M6 < M7 < M8 < M9$

Зависимость величины деформации полимера от температуры, выраженная в графической форме, называется термомеханической кривой. На рисунке 5,а приведена типичная термомеханическая кривая аморфного полимера. Кривая состоит из трёх участков, соответствующая трём физическим состояниям. Участок 1 отвечает области стеклообразного состояния, до которого характерны незначительные обратимые деформации. Участок 2 относится к высокоэластическому состоянию полимеров, для которого характерны необратимые деформации или течение. Из рисунка 5,б видно, что температура текучести возрастает с увеличением молекулярной массы (М)

полимера. Аналогичный эффект наблюдается для температуры стеклования, но лишь в области очень малых молекулярных масс. По достижению молекулярной массы, характерной для механического сегмента данного полимера, его температура стеклования дальше не изменяется.

Термомеханическая кривая существенно трансформируется для сшитых и кристаллических полимеров. Для первых исчезает область вязкотекучего, для вторых вырождается область высокоэластического состояния [5].

1.10.1 Высокоэластическое состояние

Наиболее характерным признаком высокоэластического состояния полимеров является наличие больших обратимых деформаций. Так, образец натурального каучука может увеличить длину при растяжении на 700-800%, а после прекращения действия растягивающей силы – вернуться к исходному размеру. Если сравнить модули упругости ряда материалов, то мы увидим, что их значения, характерные для газов и каучуков, близки между собой и в то же время намного порядков меньше значений, характерных для многих твёрдых материалов.

Природа упругой деформации этих двух групп материалов различна. В твёрдых кристаллических телах она имеет энергетическую природу. При их деформации изменяется равновесное положение ионов, атомов или молекул, что приводит к изменению внутренней энергии системы.

В случае газов упругость проявляется как противодействие силам сжатия через увеличение давления. По прекращении воздействия газ возвращается к исходному состоянию в результате теплового движения молекул. Следовательно, упругость газа имеет кинетическую природу.

Близость модулей упругости газа и каучука позволяет заключить, что упругость последнего так же имеет кинетическую природу, на что указывает изменение температуры газа и каучука при деформации. Однако природа подвижности молекул в обоих случаях различна. В газе молекулы перемещаются как целое, при обратимой деформации каучука перемещаются

лишь сегменты макромолекулы без изменения взаимного расположения последних.

1.10.2 Стеклообразное состояние

Стеклообразное состояние – твёрдое состояние аморфных полимеров. Переход полимеров из высокоэластичного или вязкотекучего состояния в стеклообразное происходит при понижении температуры или повышении давления и называется стеклованием.

Наиболее общий механизм стеклования полимеров основан на представлениях о роли свободного объёма. Согласно этим представлениям, интенсивность движения сегментов в полимере, имеющем кооперативный характер, зависит от величины свободного объёма полимера. Свободный объём распределён по полимеру в виде микропустот. При температуре большей чем температура стеклования расширение полимерного тела при нагревании, в основном, обусловлено увеличением свободного объёма; оно характеризуется температурным коэффициентом объёмного расширения α_i . При понижении температуры свободный объём, а вместе с ним и подвижность сегментов уменьшается, по достижении температуры равной температуре стеклования свободный объём достигает минимальной величины и далее не изменяется. В этих условиях сегменты теряют подвижность и полимер стеклуеться.

1.10.3 Вязкотекучее состояние

При температуре выше температуры стеклования или температуре плавления полимеры переходят в вязкотекучее состояние, для которого характерны преимущественно необратимые деформации, т.е. течение.

В процессе течения происходит перемещение сегментов в одном преимущественном направлении, что приводит к поступательному движению макромолекул в целом. Для того чтобы сегменты перемещались, необходимо наличие двух условий: тепловой энергии, достаточной для преодоления сил межмолекулярного взаимодействия, а так же «дырок», куда осуществляется перемещение сегмента. Последнее условие является определяющим в области

температур, близких к температуре стеклования. Эта область ограничена условием $T_g < T < (T_g + 120^\circ)$, T_g – температура стеклования.

1.11 Пластификация полимеров

Под пластификацией понимается один из способов модификации полимеров, связанной с введением в них низкомолекулярных веществ, в результате чего снижаются температуры стеклования и текучести полимера, улучшаются его эластические и пластические свойства. Пластификаторы могут вводиться в мономерную смесь перед синтезом полимера или в готовый полимер, находящийся в дисперсном состоянии (латексы), растворе или расплаве.

Существующие представления о механизме пластификации тесно связаны с теорией стеклования. Так, согласно С.Н. Жукову, механизм пластификации полярных полимеров состоит в экранировании полярных функциональных групп макромолекул молекулами пластификатора, что предотвращает образование узлов пространственной сетки. В соответствии с этой теорией:

$$\Delta T_g = kn, \quad (13)$$

Где ΔT_g – снижение температуры стеклования;
 n – число молей пластификатора;
 k – коэффициент, не зависящий от природы пластификатора.

В этом случае в процессе течения происходит перемещение сегментов в одном преимущественном направлении, что приводит к поступательному движению макромолекул в целом. Для того чтобы сегменты перемещались, необходимо наличие двух условий: тепловой энергии, достаточной для преодоления сил межмолекулярного взаимодействия, а также «дырок», куда осуществляется перемещение сегмента. Последнее условие является определяющим в области температур, близких к температуре стеклования. Эта область ограничена условием $T_g < T < (T_g + 120^\circ)$ [6].

2 Постановка задачи, материалы и методика эксперимента

2.1 Постановка задачи

Основными целями данной работы являлось:

1. Изучить и освоить метод горячего компрессионного формования (горячего прессования), а так же отработать технологии изготовления модельных заготовок полимерных армированных композитов и образцов для исследования свойств. Оптимизировать условия и методику изготовления с целью получения корректных результатов.
2. Изготовить методом горячего прессования композиционные модельные образцы наполненными дисперсными, волокнистыми наполнителями органического и неорганического происхождения, и армированными стеклянной лентой и стальной сеткой.
3. Исследовать изменение механических свойств (прочность при растяжении, твердость и износ), композиций на основе СВМПЭ. Установить закономерности влияния количества и вида наполнителя на композит

2.2 Материалы и методика эксперимента

В качестве объектов исследования были взяты изготовленные автором армированные композиты на основе порошка СВМПЭ (изготовленного на ТНХК - Россия). Макро- и микрофотографии порошка представлены на рисунке 6.

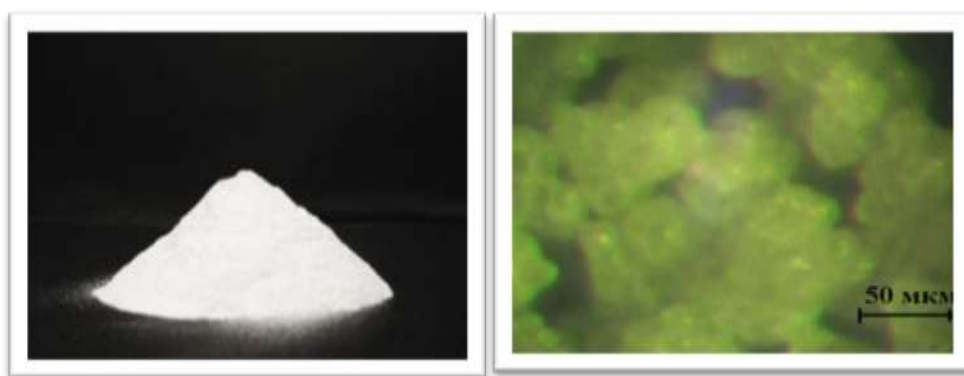


Рисунок 6 - Чистый порошок СВМПЭ (ТНХК)

В качестве дисперсного неорганического наполнителя использовалась мелкодисперсная медь марки ПМС – 1 (электролитическая) в количестве 3,7,10,13 и 50% (весовых). Выбор данного дисперсного наполнителя обусловлен, повышением износостойкости полимерного композиционного материала. Макро- и микрофотографии порошка представлены на рисунке 7.

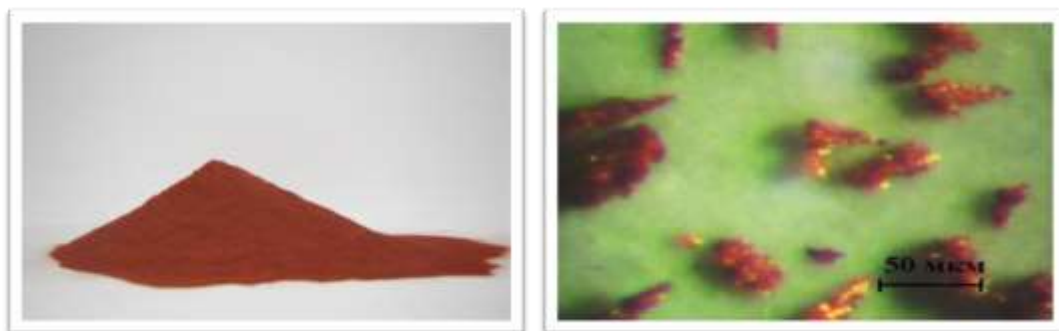


Рисунок 7 – Порошок электролитической меди «ПМС-1»

В качестве дисперсного органического наполнителя использовалась древесная мука в количестве 3% (весовых). Данный наполнитель существенно влияет на физические характеристики (тепло-, влаго- и химостойкость), некоторые породы древесины позволяют увеличить твердость композита. Макро- и микрофотографии древесной муки представлены на рисунке 8.

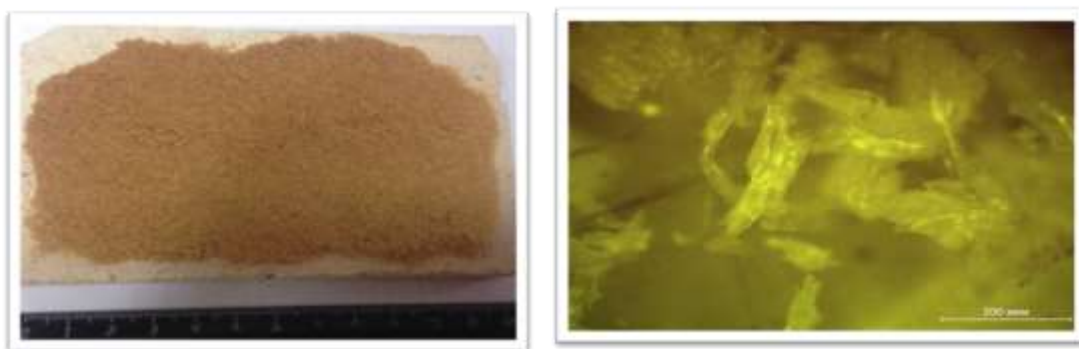


Рисунок 8 – Древесная мука

Так же в виде гранул использовалась антифрикционная (R1) и антистатическая добавка (R2), которые в дальнейшем механически измельчались, после чего отбиралась фракция менее 200 мкм. Антифрикционная добавка состоит эфира жирной кислоты и полистирола общего назначения, разработана для предупреждения слипания литевых и термоформованных изделий, а также для улучшения блеска и облегчения съема

с пресс-формы. Антистатическая добавка содержит в качестве действующего вещества два компонента, сорбирующие влагу.

В качестве волокнистого наполнителя было выбрано базальтовое волокно. Выбор данного волокна обусловлен низкой себестоимостью, высоким модулем упругости и прочностью. Общий вид и микрофотография волокна приставлена на рисунке 9.

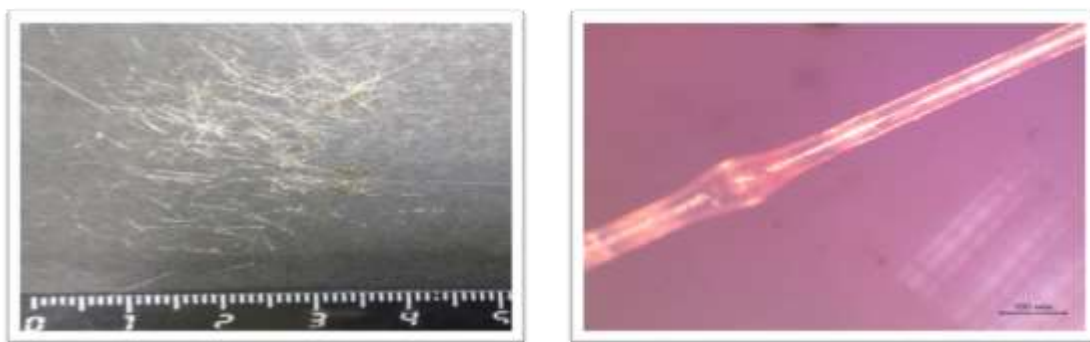


Рисунок 9 – Базальтовое волокно

В качестве тканых армированных наполнителей использовались стальные сетки с разными параметрами ячейки (А-крупная ячейка, площадь одной ячейки $S_A=2,4649 \text{ мм}^2$, диаметр проволоки $d_A= 0,430 \text{ мм}$; Б-мелкая ячейка, площадь одной ячейки $S_B=1,1004 \text{ мм}^2$, диаметр проволоки $d_B= 0.351 \text{ мм}$), общий вид сеток представлен на рисунке 10, а узлы переплетения на рисунке 11 и стеклянная лента (рисунок 12), параметры ленты представлены в таблице 2. Выбор данных материалов в основном удовлетворяет современные требования к армирующим наполнителям не только по механическим свойствам, но и по комплексу основных функциональных и экономических характеристик. [2]

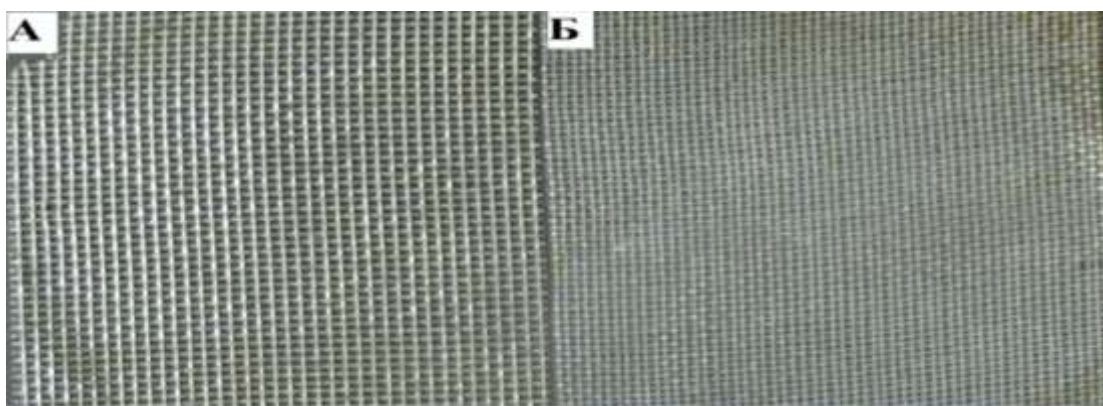


Рисунок 10 – Общий вид стальных сеток (А-крупная ячейка, Б-мелкая ячейка)

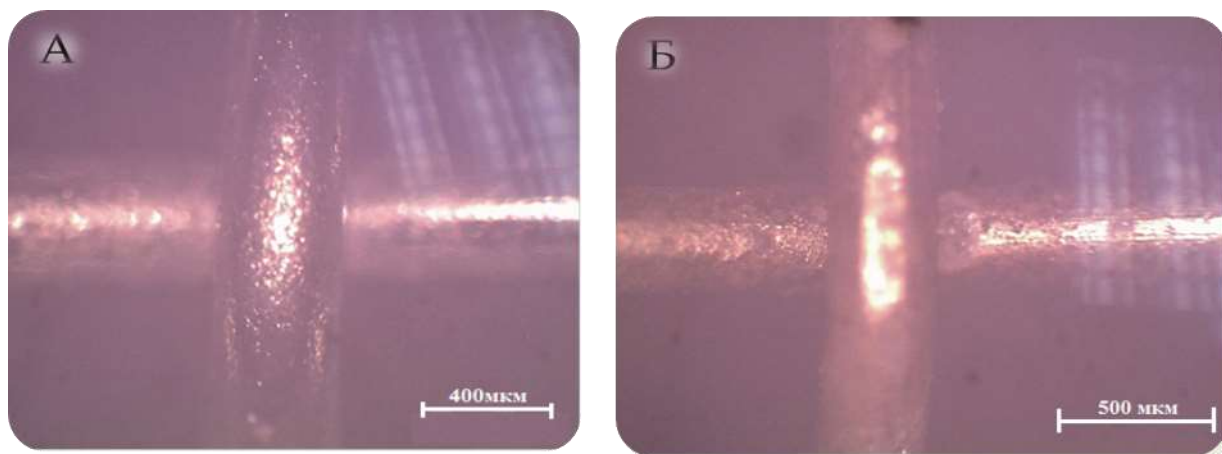


Рисунок 11 – Переплетения стальных сеток

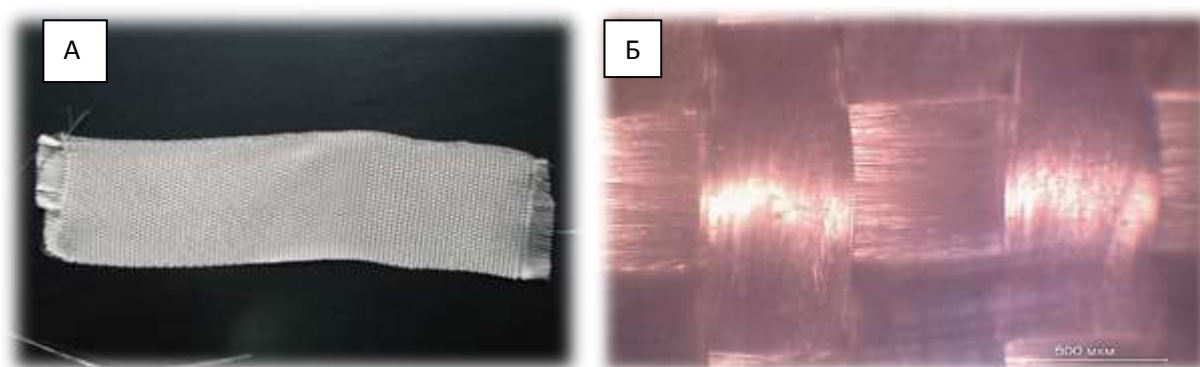


Рисунок 12 – Лента стеклянная (А - общий вид, Б - вид переплетения)

Таблица 2 – Параметры стеклянной ленты (ГОСТ 5937-81)

Марк а ленты	Толщина , мм	Шир ина, мм	Число нитей основы ленты, шт	Плотн ость Нитей/ см ²	Разрывная нагрузка, Н (кгс)	Линейная плотность , г/100м	Код ОКП
ЛЭСБ	0,2±0,02 5	30±2	64±2	20±2	1472 (150)	640	59.52620904.0 2

Компрессионное горячее формование (горячее прессование). Данная технология, совмещающая в себе одновременный нагрев и прессование порошка СВМПЭ является с нашей точки зрения наиболее удачным вариантом получения изделий как из чистого СВМПЭ, так и композиций на его основе с введением специальных наполнителей. Именно поэтому метод горячего прессования (ГП) получил наибольшее распространение как в России так и за рубежом. Исходя из вышеизложенного автор остановился на более детальном изучении данного процесса, детальной его проработки и создания специальной

установки для его реализации. Это потребовало определения оптимальных взаимосвязанных соотношений усилия формования, температуры нагрева и времени выдержки при данных факторах. В связи с вышеизложенным данный технологический процесс получения композиций и исследования их механических свойств выделено в отдельную главу экспериментальной части.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4БМ4А	Вицке Рудольф Эвальдович

Институт	ИФВТ	Кафедра	ММС
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Материально-технические ресурсы: модельные образцы армированных композитов, установка для горячего прессования, instrom 5582, твердомер ТКМ-359, анализатор А20, смеситель С2.0, компьютер; энергетические ресурсы: электрическая энергия; информационные ресурсы: научные журналы, монографии, учебники по теме исследований; человеческие ресурсы: сотрудники лаборатории кафедры ММС НИТПУ (4 человека).
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Данная НИР проводится впервые, поэтому нормы и нормативы расходования ресурсов отсутствуют
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Согласно п.3 п.п.16 ст. 149 НК РФ данная НИР не подлежит налогообложению. На основании п. 1 ст. 58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность с 2014 год ¹ введена пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов проекта Цели и результат проекта Иерархическая структура работ Сетевой график проекта
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Бюджет проекта 1. Расчет материальных затрат 2. Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ 3. Основная заработная плата исполнителей темы 4. Отчисления на социальные нужды 5. Накладные расходы 6. Формирование бюджета затрат

3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет стоимости проекта, уровня рентабельности</i>
--	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Иерархическая структура проекта*
2. *Сетевой график выполнения проекта*
3. *Бюджет проекта*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гаврикова Н.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4БМ4А	Вицке Рудольф Эвальдович		

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок – целевой группой потребителей готовой продукции являются технологические компании, работа которых связана с на изготовлении и поставкой различных видов изделий из конструкционных пластмасс с наполнителями. При этом преследовались следующие задачи: удешевить применяемое в производстве ТНП и промышленной продукции сырьё и получить изделия удовлетворяющие требованиям стандартным актам приемки к конечному продукту производства, например тарной продукции и различной другой полимерной продукции товаров народного потребления и изделий технического назначения. [7]

Сегментирование. Так как покупателями являются, в основном, узкоспециализированные предприятия, и работа не связана напрямую с численностью населения, не рассматриваются поведенческие характеристики покупателей исследования, их возраст, покупателями не являются физические лицами, основными критериями, для того, что бы сегментировать рынок, являются вид деятельности и географический признак.

В таблице ниже представлены фирмы-покупатели разработки, из всей страны. Все они являются производителями современных полимерных композитных материалов.

Таблица 3- Предполагаемые фирмы-покупатели разработки

Название компании		
	Расположение	Специализация
ООО «ПОЛИМЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»	Россия 420073, г. Казань, Гвардейская 14 оф 1	Разрабатывает и успешно внедряет в производство полимерные композиции новых поколений.
ООО "ФОРМОПЛАСТ"	ООО "Формопласт" 193030, г.Санкт-Петербург, ул. Коммуны 67	Формование изделий из термопластичных полимеров. Производство конструкционных полимерных материалов и изделий из них . Разработка новых способов формования термопластичных материалов с использованием техники высоких давлений.
ОАО РТ-Химические технологии и композиционные материалы	119435, г. Москва, ул. Большой Саввинский пер., д.11	Построение высокотехнологичной инновационной научно-производственной компании мирового класса в области полимерных композиционных материалов и изделий из них

4.2 Разработка устава НИР

4.2.1 Цели и результаты проекта

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Российский научный фонд (РНФ)	Выполнение условий договора по НИР, получение отчета по НИР
ТПУ	Выполнение условий договора по НИР, получение отчета по НИР. Публикации. Защита магистерской диссертации
Сотрудники ММС ТПУ	Оплачиваемая работа по НИР. Публикации.
Магистрант	Возможность написать и защитить магистерскую диссертацию. Публикации.

Таблица 5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследовать влияние вида и количества вводимых наполнителей на изменение механических характеристик композитов на основе СВМПЭ в срок с сентября 2014 г по июнь 2016 г. Защитить магистерскую диссертацию в ТПУ 24.06.2016 г.
Ожидаемые результаты проекта:	Получение полимерных композитных материалов на основе СВМПЭ с повышенными механическими характеристиками. Магистерская диссертация
Критерии приемки результата проекта:	Публикации результатов работы в индексируемых отечественных и зарубежных журналах индексируемые международными базами данных (Web of Science, Scopus и др.). Участие в конференциях.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Успешная защита магистерской диссертации в ТПУ Установление зависимостей между количеством вводимого модификатора, а так же его вида и механическими характеристиками

4.2.2 Организационная структура проекта

Таблица 6– Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Кондратюк Алексей Алексеевич, доцент каф. ММС ТПУ зав. лаб.	Руководитель	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	250
2	Вицке Рудольф Эвальдович, ТПУ, магистрант	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и магистерскую диссертацию.	600
3	Яхин Альберт Аликович, ТПУ студент.	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и ВКР.	450
4	Го Фуцзай, ТПУ студент.	Ответственный исполнитель	Выполняет работы по проекту. Проводит исследования, пишет статьи и ВКР	400
5	РНФ	Заказчик	Осуществляет укрупненный анализ проекта по показателям сроков, освоению затрат и финансированию. Проводит экспертную оценку результатов проекта.	30
6	ТПУ	Заказчик	Проводит экспертную оценку результатов проекта.	30
ИТОГО:				1800

4.2.3. Ограничения и допущения проекта

Таблица 7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	500000р
3.1.1. Источник финансирования	Российский научный фонд (РНФ)
3.2. Сроки проекта:	Сентябрь 2014 г – июнь 2016 г.
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	01.09.2014
3.2.2. Дата завершения проекта	24.06.2016
3.3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение по времени использования научного оборудования (2 раза в неделю на испытательной машине Instron). Ограничение времени работы участников проекта (не более 20 часов в неделю)

4.3 Планирование и график НИР

4.3.1 Иерархическая структура работы

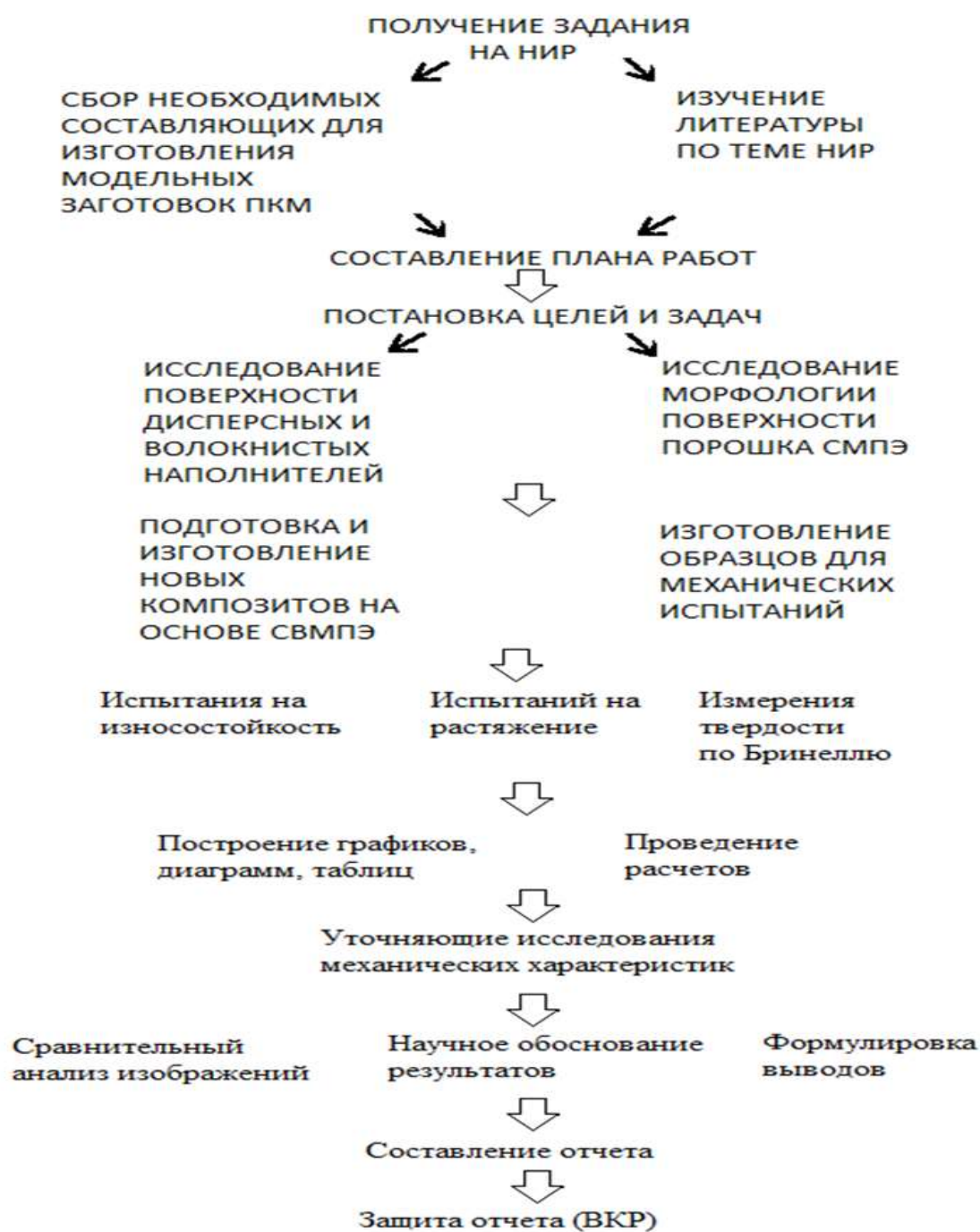


Рисунок 49 – Иерархическая структура НИР

4.3.2 Календарный план проекта

Таблица 8 – Календарный план проекта

Название работы	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО исполнителей) ответственных
Сбор необходимых составляющих для изготовления модельных заготовок ПКМ	25	03.09.14	28.09.14	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант) Кондратюк А.А. (зав. лаб.)
Изучение литературы по теме НИР	30	01.09.14	01.10.14	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)
Составление плана работ	10	01.10.14	11.10.14	Кондратюк А.А. (зав. лаб.)
Постановка целей и задач	2	11.10.14	13.10.14	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант), Кондратюк А.А. (зав. лаб.)
Исследование поверхности дисперсных и волокнистых наполнителей	20	13.10.14	2.11.14	Яхин А.А.(Инженер- стажер)
Исследование морфологии поверхности порошка СМПЭ	6	13.10.14	19.10.14	Г.Фуцзай. ,(Инженер- стажер)
Подготовка и изготовление новых композитов на основе СВМПЭ	30	02.11.14	02.02.15	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант), Яхин А.А.(Инженер- стажер), Г.Фуцзай. ,(Инженер- стажер)
Изготовление образцов для механических испытаний	15	01.11.14	01.12.14	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант), Яхин А.А, (Инженер- стажер), Г.Фуцзай. ,(Инженер- стажер)
Испытаний на растяжение	35	02.02.15	10.04.15	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант),
Испытания на износостойкость	30	02.02.15	02.03.15	Яхин А.А. ,(Инженер- стажер)
Измерения твердости по Бринеллю	20	10.03.15	01.03.15	Г.Фуцзай. ,(Инженер- стажер)
Построение графиков, диаграмм, таблиц	10	5.09.15	25.09.15	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)
Проведение расчетов	8	6.09.15	14.09.15	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)
Уточняющие исследования механических характеристик	32	01.10.15	15.11.16	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант), Яхин А.А.(Инженер- стажер), Г.Фуцзай. ,(Инженер- стажер)
Сравнительный анализ изображений	6	20.03.2016	27.03.2016	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)
Научное обоснование результатов	10	01.04.2016	25.04.2016	Кондратюк А.А. (зав. лаб.), Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)
Формулировка выводов	4	25.04.2016	30.04.2016	Кондратюк А.А. (зав. лаб.)
Составление отчета	30	01.05.20	9.06.201	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)

		16	6	
Защита отчета (ВКР)	1	24.06.20 16	24.06.20 16	Вицке Р.Э. (инженер-магистрант)

4.3.3 Сетевой график выполнения НИР

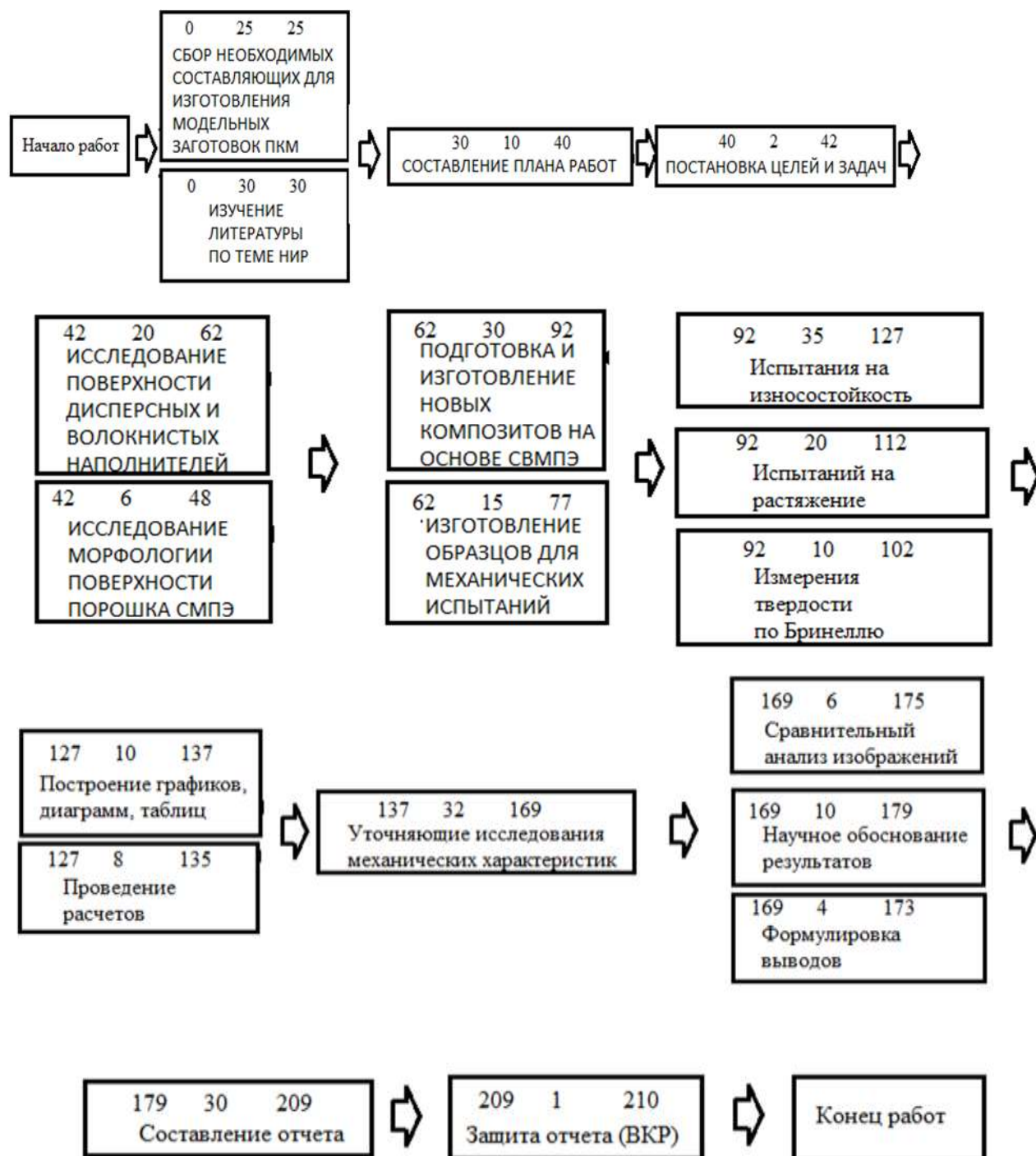


Рисунок 50 – Сетевой план-график выполнения НИР

4.4 Составление сметы затрат

Смета затрат будет составлена по следующим статьям:

1. Амортизация оборудования;
2. Основные и вспомогательные материалы;
3. Заработная плата:
 - 3.1 Основная заработная плата;
 - 3.2 Дополнительная заработная плата;
4. Отчисления на социальные нужды;
5. Электроэнергия;
6. Прочие накладные.

Затраты на амортизацию оборудования. Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$З_{об} = (Ц \cdot F_{ф}) / (F_{н} \cdot F_{сс}), \quad (13)$$

где Ц – цена оборудования, р.;

$F_{н}$ – номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч;

$F_{сс}$ – срок службы оборудования, год;

$F_{ф}$ – фактическое время занятости оборудования в НИР, ч.

$F_{н} = 365 - 104 - 11 = 250$ дней = 2000 ч.

Вычисленная амортизация оборудования представлена в таблице 9. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 9 – Затраты на амортизацию оборудования

№	Наименование оборудования	Ц, р.	$F_{сс}$, год	$F_{ф}$, ч.	$З_{об}$, р.
1	Установка для горячего прессования	100000	30	24	454
2	Анализатор А20	74400	20	10	211
3	Смеситель С2.0	204000	20	2	155
4	Instron 5582	320000	15	5	606
5	Твердомер ТКМ-359	34000	5	2	77
6	Компьютер	30000	8	500	10653
ИТОГО:					12156

Затраты на основные и вспомогательные материалы В данной работе в качестве исследуемого материала использовались армированные композиты на основе СВМПЭ. Состав композита СВМПЭ+13%Cu, в качестве армирующий элементов использовались металлические сетки и стеклянная ткань в виде ленты

Приобретенные основные и вспомогательные материалы приведены в таблице 10. Данные взяты на основе отчета лаборатории.

Таблица 10 - Основные материалы и комплектующие изделия

№	Материал	Единица материала	Цена, р./ед.	Кол - во, ед.	Затраты на НИР, р.
1	Порошок СВМПЭ	кг	1000	0,5	500
2	Порошок меди ПМС-1	кг	480	0,065	31,2
3	Металлическая сетка	м ²	100	0,0025	0,25
4	Лента стеклянная	м ²	158	0,0025	0,395
5	Расходные материалы				1500
Итого:					2031,9
Неучтенные расходы 1%					203,12
Всего:					2235

Для выполнения данной работы требуется 4 исполнителя – заведующий лабораторией (зав. лаб.), и три инженера лаборатории (инженер).

Исходными нормативами заработной платы данных категорий работающих является оклад, определяющий уровень месячной заработной платы в зависимости от объема и ответственности работ.

Оклад рассчитывают по следующему выражению:

$$L_o = T_c \cdot T_{pi}, \quad (14)$$

Где T_c – тарифная ставка (данные НИТПУ);
 T_{pi} — фактически отработанное время (Таблица 6).

Основную заработную плату рассчитывают следующим образом:

$$L_{\text{осн}} = L_o + 0,3 \cdot L_o \quad (15)$$

Где L_o - оклад;
 $0,3 \cdot L_o$ - районный коэффициент (30% L_o).

Дополнительную заработную плату рассчитываются по формуле:

$$L_{\text{доп}} = 0,2 \cdot L_{\text{осн}} \quad (16)$$

Вычисленные затраты на заработную плату представлены в таблице 11.

Таблица 11 - Затраты на заработную плату

№	Статьи	Зав. Лаб.	Инж.	Инж.	Инж.
1	T_c , р./день	1200	550	550	550
2	T_{pi} , дн	36	75	56	50
3	L_o , р.	43200	41250	30800	27500
4	$0,3 \cdot L_o$, р.	12960	12375	9240	8250
5	$L_{\text{осн}}$, р.	56160	53625	40040	35750
6	$L_{\text{доп}}$, р.	11232	10725	8008	7150
7	$\Sigma (L_{\text{осн}} + L_{\text{доп}})$, р.	67392	64350	48048	42900

Фонд оплаты труда: 222690 р.

Отчисления на социальные нужды. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году вводится пониженная ставка для расчета отчислений во внебюджетные фонды – 27,1% от фонда оплаты труда.

Таким образом, затраты на страховые отчисления составят:

$$222690 \cdot 0,271 = 60348 \text{ р.} \quad (18)$$

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\Xi = \Pi \times N \times n \times t_{\text{зан.ч}} \quad (19)$$

где Π — стоимость 1 кВт/ ч электроэнергии, р.;
 N — мощность оборудования, кВт;
 n — количество единиц оборудования одного вида, ед.;
 $t_{\text{зан.ч}}$ — время занятости оборудования, ч.;

Вычисленные затраты на электроэнергию представлены в таблице 12.

Таблица 12 - Затраты на электроэнергию

	Наименование оборудования	Цена, Ц, р.	N, кВт	n	t _{зан.ч.} ч.	Затраты, р.
1	Установка для горячего прессования	4,63	12	1	24	1333,5
2	Анализатор А20	4,63	3	1	10	138,9
3	Смеситель С2.0	4,63	3	1	2	27,8
4	Instron 5582	4,63	5	1	5	115,7
5	Компьютер	4,63	0,3	1	500	694,5
	Итого:					2310,4

Теперь сложим все прямые затраты на исследование (Таблица 13).

Таблица 13 - Прямые затраты

№	Затраты	Сумма, р.
1	Основные и вспомогательные материалы	2235
2	Основная заработная плата	185575
3	Дополнительная заработная плата	37115
4	Страховые отчисления	60348
	Итого:	285273

Расшифровка накладных расходов представлена в таблице 14 . Прочие накладные расходы составят 50% от основной заработной платы, т.е.

$$0,5 \times 185575 = 92787,5 \text{ р.} \quad (20)$$

Таблица 14 - Накладные расходы

№	Затраты	Сумма, р.
1	Амортизация оборудования	12156
2	Электроэнергия	2310,4
3	Прочие	92787,5
	Итого:	107253,9

Общие затраты на исследование будут равны сумме прямых и накладных затрат:

$$285273 + 107253,9 = 392526,9 \text{ р.} \quad (21)$$

Таблица 15 - Смета затрат на НИР

№	Элементы затрат	Сумма, р.	%
1	Заработная плата	222690	52,2
2	Страховые отчисления	60348	14,2
3	Затраты на материалы	2235	0,7
4	Амортизация оборудования	12156	2,8
5	Затраты на электроэнергию	2310,4	0,6
6	Прочие накладные расходы	92787,5	29,5
8	ИТОГО: себестоимость S	392526,9	100
9	Плановая прибыль (рентабельность P=25%)	98131,7	
10	Цена выполнения НИР	490658,6	
11	НДС (18%)	88318,5	
12	Всего с НДС	578977,1	

Таким образом, в данном разделе работы проведено экономическое обоснование проведенных исследований: рассчитана себестоимость НИР, которая составила 392526,9 р.; Рассчитана договорная цена на проведение НИР с учетом рентабельности в 25% и НДС (18%), которая составила 578977,1р.; Рассчитано время проведения НИР – 210 дней.; Учитывая, что размер гранта составляет 500000р, фактическая рентабельность НИР $P_{\phi} = (500000 - 392526,9) \cdot 100 / 392526,9 = 27.3 \%$.

Список публикаций

1. Вицке Р. Э. , Кондратюк А. А. Отработка технологии изготовления армированных композитов // Современное материаловедение: материалы и технологии новых поколений: сборник трудов всероссийской школы-семинара с международным участием, Томск, 9-11 Июня 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - С. 240-244
2. Вицке Р. Э. , Кондратюк А. А. , Нестеренко В. П. Влияние количества наполнителя на характеристики полимерных композитов // Электротехника. Энергетика. Машиностроение: сборник научных трудов I Международной научной конференции молодых ученых: в 3 т., Новосибирск, 2-6 Декабря 2014. - Новосибирск: НГТУ, 2014 - Т. 3 - С. 277-280
3. Vitske R. E. , Kondratyuk A. A. , Nesterenko V. P. Influence of Filling Agent Quantity on Characteristics of Polymeric Composites // Key Engineering Materials . - 2016 - Vol. 685. - p. 548-552
4. Вицке Р.Э., Яхин А.А., Кондратюк А.А. Перспективные полимерные композиты конструкционного назначения // Инженерия для освоения космоса: Сборник научных трудов IV Всероссийского молодежного Форума с международным участием: в 2 т., Томск, 12-14 Апреля 2016.-Томск: ТПУ, 2016 – Т.1 – С.95-98
5. Войцик В. Ф. , Кондратюк А. А. , Вицке Р. Э. Сравнительный анализ износа полимерных композитов, имеющих в качестве наполнителя мелкодисперсные Cu, BN // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Томск, 9-11 Ноября 2015. - Томск: ТПУ, 2015 - С. 91-96
6. Вицке Р. Э. , Кондратюк А. А. Исследования влияния количества и вида наполнителей на механические характеристики полимерных композитов на основе СВМПЭ // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении: сборник трудов международной

конференции с элементами научной школы для молодежи Томск, 9-11 Июня 2016. - Томск: ТПУ, 2016.