


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики

Кафедра механизации переработки сельскохозяйственной продукции

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой  
канд. тех. наук., доцент.

  
В. В. Кузнецов  
(подпись)

« 22 » 06 2020 г.

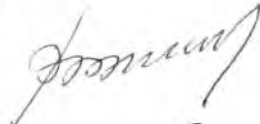
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**  
**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ**  
**ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТИЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ**  
**С НАНОРАЗМЕРНЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ**  
**ПИЩЕВОГО ОБОРУДОВАНИЯ АПК**

Автор магистерской диссертации  (подпись) (дата) 08.06.20 З.Х. Искандарова

Обозначение магистерской диссертации МД-02069964-35.04.06-04-20

Направление 35.04.06 Агроинженерия

Руководитель работы

д-р техн. наук, проф.  (подпись) (дата) 10.06.20 В.Н. Водяков

Нормоконтролер

канд. техн. наук, ст. преп.  (подпись) (дата) 15.06.20 Е.А. Радайкина

Рецензент

д-р техн. наук, проф.  (подпись) (дата) 22 06. 20 В.А. Комаров

Саранск

2020

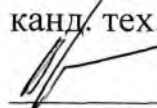
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОРДОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Н. П. ОГАРЁВА»

Институт механики и энергетики

Кафедра механизации переработки сельскохозяйственной продукции

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой  
канд. тех. наук., доцент.

 В. В. Кузнецов  
(подпись)

« 1 » \_\_\_\_\_ 2020 г.

**ЗАДАНИЕ НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

(в форме магистерской диссертации)

Студент Искандарова Зульфия Хабибулловна

1 Тема: Разработка и исследование свойств термоэластопластичной композиции с наноразмерными модификаторами для деталей пищевого оборудования АПК  
Утверждена приказом 7983-с от 25.09.2018

2 Срок предоставления работы к защите 11.06.2020

3 Исходные данные для научного исследования: результаты научно-исследовательской практики, техническая литература.

4 Содержание выпускной квалификационной работы

4.1 Состояние проблемы и основные задачи исследования

4.2 Теоретическое исследование процесса литьевого формования структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопластов

4.3 Методики экспериментальных и теоретических исследований

4.4 Результаты экспериментальных исследований

4.5 Рекомендации по применению разработанного композиционного материала и технологий его производства в АПК

Руководитель работы

  
подпись, дата

В.Н. Водяков  
инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

  
подпись, дата

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация содержит 111 страниц, 37 рисунков, 3 таблицы, 87 использованного источника.

АНАЛИЗ, УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ,  
ТЕРМОЭЛАСТОПЛАСТ, КОМПРЕССИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ, ФИЗИКО-  
МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ, ТЕРМОМЕХАНИКА.

Объектом исследования являются композиции термоэластопластов с наноразмерными модификаторами для деталей пищевого оборудования АПК.

Цель работы – разработка составов, технологических процессов производства и переработки, а также изучение свойств композиционных материалов на основе термоэластопласта марки *Enflex V-900* фирмы «RavagoPetrochimya».

В процессе работы выполнено:

Компаундирование композиций термоэластопластов на лабораторном смесителе *PolyLabRheo-mix 600 OS*;

Компрессионное формования пластин из термоэластопластов для физико-механических и реологических испытаний на лабораторном прессе *GT-7014-H50C*;

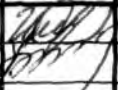



Исследование упруго-прочностных характеристик композиций термоэластопластов на испытательной машине *UAI-7000*;

Исследование реологических и термомеханических характеристик расплавов композиций термоэластопластов на реометре *НААКЕ MARS III*;

Расчет процесса литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой.

В результате исследования:

1. Получены уравнения и проведен теоретический анализ заполнения

МД-02069964-П-35.04.06-04-20				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дат
Разраб.		Искандарова		17.06 20
Провер.		Водяков		
Н. Контр.		Радайкина		
Утверд.		Кузнецов		
Разработка и исследование свойств термоэластопластичной композиции с наноразмерными модификаторами для деталей пищевого оборудования АПК				
Пояснительная записка				
		Лит.	Лист	Листов
		3	111	
ИМЭ, Агроинженерия				

расплавом термоэластопласта пресс-формы с кольцевой литниковой системой, позволяющей формировать кольцевые изделия с однородной структурой.

Установлено, что радиальный (однородный) режим заполнения формирующей полости достигается за счет смещения коллектора (обводного канала) к подводящему литниковому каналу. При этом величина необходимого смещения коллектора является функцией только глубины щелевого впускного канала, размеров обводного канала, индекса течения и не зависит от температуры и коэффициента консистенции расплава полимера.

2. С использованием полученной математической модели:

– разработаны конструкция 5-гнездной литьевой пресс-формы и технологический процесс изготовления уплотнительного кольца из термоэластопласта диаметром 23×13 мм для коллектора поршневого доильного аппарата «Буренка» на литьевой машине Babyplast 6/10V;

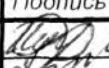
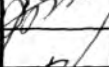


– установлена зависимость объемной скорости и длительности заполнения полостей пресс-формы от давления впрыска и назначены технологические параметры процесса литьевого формования;

– рассчитана производительность процесса литьевого формования на машине Babyplast 6/10V уплотнительных колец из термоэластопласта Enflex V-900, которая составляет для разработанного техпроцесса 150 шт/ч.

3. Разработаны составы композиций и технологические процессы смешения и компаундирования компонентов композиционных материалов на основе термоэластопласта Enflex V-900 в лабораторном смесителе периодического действия PolyLab Rheomex PTW 16.

4. Исследованы физико-механические и реологические характеристики термоэластопласта Enflex V-900 и композиций на его основе, содержащих тонкодисперсные порошки шунгита, диоксида кремния и углеродных нанотрубок

5. Установлено, что лучший комплекс физико-механических характери-

					МД-02069964-П-35.04.06-04-20			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дат	Разработка и исследование свойств термоэластопластичной композиции с наноразмерными модификаторами для деталей пищевого оборудования АПК  Пояснительная записка	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Искандарова		№ 06 25			4	112
Провер.		Водяков						
Н. Контр.		Радайкина						
Утверд.		Кузнецов						
						ИМЭ, Агроинженерия		

стик достигается в композициях термоэластопласта Enflex V-900 содержащих шунгит (состав «99 % ТЭП + 1% шунгит») и диоксид кремния (состав «95 % ТЭП + 5% SiO<sub>2</sub>»). Введение указанных модификаторов позволяет повысить предел прочности термоэластопласта в 1,5 раза, а модуль упругости в 1,3...1,4 раза.


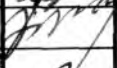


6. Разработана методика расчета процесса литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой.

7. Разработаны рекомендации по применению разработанных композиций в объектах перерабатывающего оборудования АПК.

Степень внедрения – частичная.

Область применения – магистерская диссертация может быть рекомендована к внедрению в АПК.

МД-02069964-П-35.04.06-04-20

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дат				
Разраб.		Искандарова			Разработка и исследование свойств термоэластопластичной композиции с наноразмерными модификаторами для деталей пищевого оборудования АПК	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Водяков		10.06.15			5	111
Н Контр.		Радайкина			Пояснительная записка	ИМЭ, Агроинженерия		
утверд.		Кузнецов						

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	9
1	Состояние проблемы и основные задачи исследования	15
1.1	Общие сведения о полимерных конструкционных материалах	15
1.2	Технические свойства и области использования термопластов и эластомеров в АПК	16
1.3	Классификация эластомерных материалов, физико-механические свойства и методы их получения	18
1.4	Свойства и требования, предъявляемые к эластомерным деталям пищевого оборудования АПК	25
1.5	Преимущества и недостатки термоэластопластов по сравнению с резинами	26
1.6	Эластомерные детали доильных установок в АПК (кольца круглого сечения, прокладки, муфты, уплотнители, пробки, клапаны узлов, манжеты, амортизаторы, оболочки, плоские и гофрированные мембраны, элементы доильных стаканов, молочные и вакуумные шланги, диафрагмы)	30
1.7	Технологические процессы и оборудование для производства и переработки резиновых смесей и термоэластопластов	32
1.7.1	Технологические процессы и оборудование для производства резиновых смесей и композиций термоэластопластов	32
1.7.2	Технологические процессы и оборудование для переработки резиновых смесей и термоэластопластов методом экструзии	35
1.7.3	Технологические процессы и оборудование для переработки резиновых смесей и термоэластопластов прессованием	37
1.7.4	Технологические процессы и оборудование для переработки резиновых смесей и термоэластопластов литьем под давлением	38
1.8	Приборы и методы изучения эксплуатационных и технологических характеристик эластомерных композиций	40

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

1.8.1	Приборы и методы изучения физико-механических свойств эластомерных композиций	40
1.8.2	Приборы и методы изучения реологических свойств эластомерных композиций	43
1.9	Цели и задачи исследования	46
2	Теоретическое исследование процесса литьевого формования структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопластов	48
2.1	Особенности качества уплотнительных колец в условиях литьевого формования в формах с щелевым впуском расплава в полость	48
2.2	Математическая модель процесса заполнения расплавом термоэластопласта полости формы с кольцевой литниковой системой	55
2.2.1	Течение в обводном канале	57
2.2.2	Течение в кольцевом щелевом литнике высотой $h$ до момента $t_1 = t_1^*$	60
2.3	Гидродинамический анализ литьевого формования уплотнительных колец при струйном заполнении формующей полости	62
2.4	Разработка технологического процесса и эскиза пресс-формы для изготовления уплотнительного кольца из термоэластопласта для коллектора поршневого доильного аппарата «Буренка»	67
3	Методики экспериментальных и теоретических исследований	75
3.1	Методика компаундирования композиций термоэластопластов на лабораторном смесителе периодического действия <i>PolyLabRheomix 600 OS</i>	75
3.2	Методика компрессионного формования пластин из термоэластопластов для физико-механических и реологических испытаний на лабораторном прессе <i>GT-7014-H50C</i>	78
3.3	Методики исследования технологических и эксплуатационных характеристик композиций термоэластопластов	80

3.3.1	Методика исследования упруго-прочностных характеристик композиций термоэластопластов на испытательной машине UAI-7000	81
3.3.2	Методика исследования реологических и термомеханических характеристик расплавов композиций термоэластопластов на реометре HAAKE MARS III	84
3.4	Методика расчета процесса литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой	86
4	Результаты экспериментальных исследований	89
4.1	Разработка составов, исследование эксплуатационных и технологических характеристик двухкомпонентных композитов тер-	89
4.2	Исследование физико-механических характеристик термоэластопласта «EnflexV-900», композитов «EnflexV-900 + шунгит» и ««EnflexV-900 + SiO <sub>2</sub> »	91
4.3	Исследование реологических характеристик термоэластопласта «EnflexV-900», композитов «EnflexV-900 + шунгит», ««EnflexV-	94
5	Рекомендации по применению разработанного композиционного материала и технологий его производства в АПК	99
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	105



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Пищевое машиностроение относится к числу крупных потребителей полимеров, в частности эластомерных материалов.

Из «пищевых» резин изготавливают уплотнители молочных пастеризаторов, аппаратов и машин винодельческой, пивоваренной, консервной промышленности, рукава и шланги, транспортерные ленты, приводные ремни; из теплостойких резин на основе кремнийорганических каучуков и бутадиен-нитрильных каучуков – прокладки для сушильных агрегатов, ультрапастеризаторов и других аппаратов, в которых [1] жидкие пищевые среды стерилизуют при 120 – 130 °С и выше. В узлах автоматов, предназначенных для изготовления бумажных пакетов с полиэтиленовым покрытием, заполнения их молоком и герметизации сваркой, устанавливают амортизаторы с прижимными роликами из резин на основе фторсодержащих каучуков или кремний органических каучуков, наполненных фторопластом-4. Продолжительность эксплуатации деталей из этих резин в 7-8 раз больше, чем, например, деталей из бутадиен-нитрильного каучука. Эффективно применение резин высокой твердости и износостойкости из композиций бутадиен-стирольного и натурального каучуков при изготовлении дек станков для шелушения зерна [2].

Особенно значительное количество резиновых деталей содержат современные доильные установки. К ним относятся: патрубки и сосковые резины доильных стаканов; трубки и магистральные шланги; мембраны и амортизаторы; диафрагмы молокопроводов; уплотнительные кольца и прокладки различного сечения и другие детали общим количеством более 50 наименований.

Главным недостатком резин является сложность утилизации отходов производства и деталей после истечения ресурса эксплуатации. Места скопления отходов и вышедших из строя деталей представляют собой экологически неблагоприятные зоны, поскольку резина практически не подвержена разложению в природной среде. В результате взаимодействия резины с водой получают различные токсичные соединения. В настоящее время применяются следующие

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

способы переработки резиновых деталей: сжигание, пиролиз и измельчение в крошку [3]. Указанные способы являются нежелательными с экологической точки зрения и экономически невыгодными из-за высокой трудоемкости такой утилизации. Так, стоимость уничтожения отходов полимерных отходов примерно в 3 раза превышает расходы на уничтожение бытовых отходов.

Экономически целесообразным решением является широкое использование для производства эластомерных деталей пищевого оборудования и, в частности, деталей доильных установок, таких современных материалов как термоэластопласты (ТЭПы). К достоинствам ТЭП относятся [4]:

- высокая производительность процессов переработки (цикл литья под давлением занимает во много раз меньше времени, чем длительная и трудоемкая стадия прессования и вулканизации резинотехнических изделий);
- экономия сырья за счет возможностей вторичной переработки отходов производства и полной автоматизации процесса производства;
- снижение энергозатрат при получении изделий;
- значительно больший ресурс термоэластопластов, как сырья, так и изделий из них;
- возможность проведения операций стыковки, сварки, склейки изделий.

**Степень разработанности темы.** Систематизация и критический анализ материалов по тематике исследования проведены на основании работ известных ученых: М.Л. Кербера, С. И. Вольфсона, В.К. Крыжановского, Э.Л. Калинин, А.Я. Малкина, Н.Т. Кахраманова, И.Г. Голубева, В.К. Астанина, А.А. Канаузовой, М.А. Юмашевой, А.А. Донцова, А.А. Канаузовой, О.Г. Захаровой, С.Д. Зайцева, Ю.Д. Семчикова, И.Г. Голубева, В.В. Быкова, В.В. Новокшонова, И.Н. Мусина, В.И. Кимельблата, В.Н. Водякова и других.

Однако, несмотря на большое количество исследований в области термоэластопластов возможности совершенствования их состава и технологий производства далеко не исчерпаны. В частности, недостаточно изученными остаются:

- реологические и физико-механические свойства термоэластопластов и композиций на их основе;

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- особенности литьевого формования таких массовых изделий, как уплотнительные кольца круглого сечения;
- возможности использования тонкодисперсных и наноразмерных наполнителей для модификации свойств термоэластопластов;
- методы расчета пресс-форм для литьевого формования уплотнительных колец круглого сечения из термоэластопластов.

Работа выполнена в рамках ПНР 1 № 28/2010 «Энергосбережение и новые материалы».

**Цель исследования** – разработка составов, технологических процессов производства и переработки, а также изучение свойств композиционных материалов на основе термоэластопласта марки Enflex V-900 фирмы «RavagoPetrocimyа».

**Объект исследования** – композиции термоэластопластов с наноразмерными модификаторами для деталей пищевого оборудования АПК.

**Предмет исследования** – закономерности процессов производства, литьевой переработки, технологические и эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе термоэластопласта Enflex V-900.

**Научную новизну работы составляют:**

- математическая модель процесса струйного заполнения расплавом полимера полости формы с кольцевой литниковой системой;
- гидродинамический анализ литьевого формования структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопласта при струйном заполнении формирующей полости;
- методики и результаты исследования реологических и физико-механических характеристик термоэластопласта Enflex V-900 и композиций на его основе, содержащих тонкодисперсные порошки, шунгита и диоксида кремния;

**Практическую значимость представляют:**

- полученные значения физико-механических и реологических характеристик термоэластопласта Enflex V-900 и композиций на его основе;

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

– закономерности технологических процессов смешения и компаундирования компонентов композиций термоэластопласта на лабораторном смесителе периодического действия;

– технологический процесс литьевого формования структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопласта Enflex V-900 на термопластавтомате Babyplast 6/10V;

– конструкция литьевой пресс-формы для изготовления в струйном режиме структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопласта для коллектора поршневого доильного аппарата «Буренка»;

– рекомендации по применению структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопластов, технологий их производства и переработки в АПК.

**Методы исследования.** Теоретические исследования выполнены с использованием положений механики сплошной среды, гидродинамики и реологии расплавов полимеров. Экспериментальные исследования выполнены по оригинальным и известным методикам с использованием современного научно-исследовательского оборудования и средств измерений лаборатории «Энергоэффективные технологии переработки сырья и материалов» Института механики и энергетики.

Исследование физико-механических характеристик образцов композитов производилось по ГОСТ 11262-80, ГОСТ 12423-66, ГОСТ 4648-71, ГОСТ 4650-80. При исследовании процессов компаундирования, физико-механических и реологических испытаниях использованы компьютерные программы и оригинальные методики фирм – поставщиков оборудования.

Обработка результатов исследований проведена с использованием методов [5] теории вероятности и математической статистики с помощью современных вычислительных средств и программы «Excel2010».

Достоверность основных положений работы подтверждена сходимостью теоретических и экспериментальных исследований (расхождение не более 10

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

%), использованием в исследованиях высокотехнологичного оборудования и современных программных комплексов. Результаты исследований прошли апробацию в печати и научно-практических конференциях.

**Положения, выносимые на защиту:**

– математическая модель процесса заполнения расплавом термоэластопласта полости формы с кольцевой литниковой системой и результаты гидродинамического анализа литьевого формования уплотнительных колец при струйном заполнении формующей полости;

– технологические процессы смешения и компаундирования компонентов композиционных материалов на основе термоэластопласта Enflex V-900 в лабораторном смесителе периодического действия;

– результаты исследования физико-механических и реологических характеристик термоэластопласта Enflex V-900 и составы композиций на его основе, содержащих тонкодисперсные порошки шунгита и диоксида кремния;

– технологический процесс формирования уплотнительных колец из термоэластопласта Enflex V-900 на термопластавтомате Babyplast 6/10V;

– конструкция литьевой пресс-формы для изготовления в струйном режиме уплотнительного кольца из термоэластопласта для коллектора поршневого доильного аппарата «Буренка»;

**Апробация.** Основные положения и результаты исследований докладывались на Международной научно-технической конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы» (г. Саранск, 2020 г.), конференции «XLVII Огарёвские чтения» ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева» (г. Саранск, 2019 г.); на расширенном заседании кафедры «Механизация переработки с/х продукции (2020 г.). По результатам исследований опубликовано две работы в 2019-2020г.г.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы. Работа изложена на 112 страницах машинописного текста, включает 37 рисунков и 3 таблицы, список литературы содер-

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

жит 87 наименований. Работа оформлена в соответствии с требованиями и правилами, предусмотренными стандартом СТП 006-2011 ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева».

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 1 Состояние проблемы и основные задачи исследования

### 1.1 Общие сведения о полимерных конструкционных материалах

Интенсивное развитие АПК предполагает постоянный поиск новых материалов, обладающих повышенными физико-механическими свойствами, отличающихся экологической безопасностью и простотой переработки. В новом тысячелетии [7] такими материалами с полным правом можно считать термоэластопласты, или ТЭП.

Термоэластопласты – это композиционные материалы, продукты компаундирования термопластичных (полипропилен, полиэтилен) и эластомерных (синтетические каучуки) материалов [3].

Смесевые термоэластопласты производятся по технологии экструзионного смешения каучука с термопластом. Динамические термоэластопласты получают в процессе, в котором смешение компонентов сопровождается стадией вулканизации эластомерной фазы [4].

В мировой индустрии конструкционных материалов производятся следующие типы термоэластопластов: блок-сополимерные (дивинил-стирольные, уретановые, полиэфирные), смесевые и динамические (ДТЭП) и другие.

Блок-сополимерные ТЭП – это продукты блочной сополимеризации с 2-3 блоками, сополимеры радиальной структуры, многоблочные сополимеры [3].

Главными факторами, способствующими динамичному росту потребления термоэластопластов и готовых изделий из них, являются следующие: безотходное, экологически чистое производство; возможность многократной переработки без ухудшения свойств; сравнительно низкая стоимость готовых изделий; при производстве изделий из динамических ТЭП – исключение длительной и энергоемкой стадии вулканизации; высокая термостойкость и маслостойкость по сравнению с традиционными марками синтетических каучуков [4].

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 1.2 Технические свойства и области использования термопластов и эластомеров в АПК

АПК в последние годы потребляет различные полимерные материалы в довольно больших количествах. Например, пленочные материалы широко используют при сооружении теплиц и парников. Их также применяют при силосовании кормов, сооружении каналов и водоемов в качестве противофильтрационных материалов [8].

Полимерные соединения нашли широкое применение в пищевой промышленности в качестве упаковки (пленок, комбинированных материалов на основе бумаги и фольги, бутылей и различного вида емкостей). Используемые таким образом полимерные материалы в первую очередь должны быть инертными, не токсичными и соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям. При контакте этих материалов с продуктами питания не должны изменяться органолептические свойства – вкус, запах, цвет и др., а также они не должны содержать вредные (токсичные) компоненты, которые могут экстрагироваться пищевыми средами или взаимодействовать с ними [9].

Важнейшей областью использования полимеров является пищевое машиностроение, где они используются в качестве конструкционных материалов и покрытий. Эластомерные материалы (резины и термоэластопласты) используют, в частности, для изготовления транспортерных лент, приводных ремней, шлангов и рукавов, уплотнительных элементов, диафрагм и др. деталей. Из термопластов и реактопластов изготавливают корпусные детали, трубы, подшипники скольжения и втулки (направляющие) и другие детали. Используются они также в качестве антикоррозионных покрытий металлических деталей, антиадгезионных покрытий металлических шнеков, декоративно-защитных покрытий пищевого оборудования и др. [9].

Для орошения теплиц и парников, транспортировки жидких удобрений и ядохимикатов, устройства систем водоснабжения используются трубы и шланги, которые также изготовлены из полимеров. Такие трубы можно применять и для орошения полей и обводнения пастбищ.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16



Эластомеры применяются преимущественно в виде резин, представляющих собой технические продукты вулканизации резиновых или латексных смесей, в которых макромолекулы каучука связаны между собой прочными химическими связями в единую вулканизационную сетку.

Их считают сшитым, если на 100 элементарных звеньев макромолекулы приходится от 0,1 до 1 и более поперечных связей [10].

Полимеры применяют при изготовлении поилок для птиц, ленточных транспортеров. Из термоэластопластов делают различные детали сельскохозяйственных машин, работающие в условиях воздействия агрессивных сред, солнечной радиации, атмосферных осадков. Полиэтиленовые мешки для транспортировки минеральных удобрений отличаются от бумажных большей долговечностью и надежностью. Более долговечны различные виды тары и емкости.

В сельскохозяйственном строительстве широко применяют [8] изделия из пластмасс для возведения капитальных сооружений. Для этого используют стеклопластики на основе фенолформальдегидных и эпоксидных полимеров. В результате не только в несколько раз сокращается расход древесины, цемента и стали, но и значительно возрастает долговечность построек. Этот материал идет на изготовление различных строительных предметов, гидроизоляционных материалов и санитарно – технического оборудования. Таким образом, стеклопластик претендует на видную роль в строительстве и обещают серьезно потеснить традиционные материалы – дерево, камень, сталь и бетон.

Перспективным направлением может оказаться применение полимеров в качестве препаратов, улучшающих структуру почв [8].

Исследования по применению полимерных препаратов для улучшения структуры почвы ведутся почти шесть десятилетий, однако, особый интерес к структурообразователям проявился в последние годы вследствие развития химии высокомолекулярных соединений. Новые водорастворимые органические полимеры применяются по новым технологиям, которые значительно упростили проблемы, стоявшие перед структурообразователями более раннего поколения. Например, они характеризуются большим молекулярным весом (в 100 и более

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

раз превосходящим молекулярный вес крилиумов, опыты с которыми прекратились 30 лет назад), что позволяет уменьшить их дозу соответственно в 100 раз [11].

Использование полимеров в качестве почвоулучшателей считается актуальным во многих странах. Их применение открывает возможность ввести в сельскохозяйственный оборот низкопродуктивные земли.

### **1.3 Классификация эластомерных материалов, физико-механические свойства и методы их получения**

Эластомеры – это полимеры, способные к большим обратимым высокоэластическим деформациям в широком диапазоне температур (от -60 до + 200 °С). Типичные представители эластомеров – каучуки и резины на их основе. Производство и переработка эластомерных материалов и в XXI веке остается одной из наиболее интенсивно развивающихся областей науки и промышленности, целью которой является получение материалов, готовых работать как в бытовых, так и в экстремальных условиях [12].

Существует множество видов каучуков: натуральный каучук (НК), синтетический полиизопрен (СКИ), бутилкаучук, полихлоропрен, хлоркаучук (ХК), фторкаучук и т.д. На сегодняшний день самый большой объем производства имеет НК и СКИ. Из них делают автомобильные покрышки, резиновые прокладки, на его основе получают некоторые клеи и производят множество каучуков специального назначения [13].

Основным источником получения натурального каучука (НК) является млечный сок каучуконосных растений – латекс. Он представляет собой водную дисперсию каучука, содержание которого доходит до 40% [14].

Каучук в латексе находится в виде мельчайших частиц шарообразной или грушевидной формы – глобул. Размеры глобул неодинаковы, они имеют диаметр от 0,05 до 3 мкм. В 1 грамме 40%-го латекса содержится около  $5 \cdot 10^{15}$  частиц ка-

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

учука со средним размером около 0,26 мкм. Вся масса частиц находится в броуновском движении. Внутреннюю часть глобулы составляет углеводород каучука. Наружный (адсорбционный) защитный слой содержит природные белки (протеины), липиды и мыла жирных кислот [10].

Промышленное применение натурального каучука в Европе началось в первой половине XIX в. Вначале изготавливали прорезиненные ткани с применением растворов каучука в органическом растворителе (солювент-нафте, Ч.Макинтош, 1823 г.). Однако по прочности и долговечности такие изделия были мало пригодны для практических целей, поскольку натуральный каучук сохранял свою эластичность лишь при комнатной температуре. После открытия Гудьером в 1839 г. процесса вулканизации, обеспечивающего перевод термопластичного липкого малопрочного каучука в высокоэластичную прочную резину, его применение для производства различных изделий во всех развитых странах резко возросло [15].

Синтетические каучуки представляют собой синтетические полимеры, способные перерабатываться в резину путем вулканизации. Составляют основную массу эластомеров [16].

Поскольку натуральный каучук – полимер диенового углеводорода, то для получения синтетического каучука первоначально ученые также воспользовались диеновым углеводородом, только более простым и доступным – бутадиеном.

Сырьём для получения бутадиена служит этиловый спирт. Получение бутадиена основано на реакциях дегидрирования и дегидратации спирта.

Бутадиен очищают от непрореагировавшего этилового спирта, многочисленных побочных продуктов и подвергают полимеризации.

Для того чтобы заставить молекулы мономера соединиться друг с другом, их необходимо предварительно возбудить, то есть привести в такое состояние, когда они становятся способными в результате раскрытия двойных связей, к взаимному присоединению. Это требует затрат определённого количества энергии или участия катализатора [17].

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

В качестве катализатора полимеризации 1,3-бутадиена первоначально был выбран металлический натрий (метод академика С.В. Лебедева). Для избирательного или, так называемого, стереоспецифического цис-1,4-присоединения в настоящее время используют металлоорганические катализаторы (например, бутил-литий  $C_4H_9Li$ , катализаторы на основе комплексных соединений титана, кобальта, никеля, неодима).

Отличительной особенностью процесса полимеризации является то, что при этом молекулы исходного вещества или веществ соединяются между собой с образованием полимера, не выделяя при этом каких-либо других веществ [18].

Каучуки специального назначения, в свою очередь подразделяются на: бутилкаучук, хлоропреновые каучуки, хлоркаучук, уретановые каучуки, перфторкаучуки, фторкаучуки [19].

Бутилкаучук представляет собой сополимер метилпропена с 2-метил-1,3-бутадиеном (или изобутилена и изопрена) [7]. Соотношение изопрена и изобутилена определяет непредельность полимера. Под непредельностью бутилкаучука понимается выраженное в % (мол.) количество изопреновых звеньев, приходящихся на 100 звеньев сополимера. Непредельность каучука составляет 0,6-3,0 мол. % [13].

Макромолекулы бутилкаучука имеют линейное строение; распределение звеньев изопрена, присоединенных преимущественно в положениях 1,4, носит статистический характер. Молекулярная масса каучука  $(200-700) \cdot 10^3$  (по Флори). Бутилкаучук не содержит геля, растворяется в алифатических и ароматических углеводородах, кристаллизуется только при больших растяжениях ( $>500\%$ ) [14].

Отличительная особенность бутилкаучука - исключительно низкая воздухо- и паропроницаемость [18].

Бутилкаучук ведет свое начало с работ Горянова и Бутлерова, которые обнаружили, что маслянистые гомополимеры изобутилена получаются в присутствии трехфтористого бора [13]. Бутилкаучук синтезируют катионной сополимеризацией мономеров при температурах от  $-80$  до  $-95$  °C в среде метил- или этилхлорида, не растворяющих полимер, или в алифатических углеводородах,

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

например изопентане. Катализаторы полимеризации -  $AlCl_3$ , протонированные комплексы этилалюминия сесквихлорида  $(C_2H_5)_3Al_2Cl_3$  и др. Для охлаждения реакционной смеси применяют жидкий этилен, который подают в рубашку или змеевики реактора. Каучук выделяют из взвеси или раствора в водном дегазаторе в присутствии антиагломерирующего агента (обычно стеарата Ca). Сушку каучука осуществляют в червячных или конвейерных сушилках. Товарная форма бутилкаучука – брикеты [14].

– Хлоропреновые каучуки. Продукты гомо- и сополимеризации хлоропрена. Выпускают, главным образом, высокомолекулярные гомополимеры хлоропрена и его сополимеры с 3-10 % дихлорбутадиена.

Вследствие регулярности строения хлоропреновые каучуки склонны к кристаллизации (сополимеры менее склонны, чем гомополимеры).

Среднемассовая молекулярная масса ( $M_w$ ) – 100-500 тыс.; индекс полидисперсности ( $M_w/M_n$ ) = 1,5-3,0 ( $M_n$  – среднечисловая молекулярная масса); плотность 1,20-1,15 г/см<sup>3</sup> (25 °С), температура стеклования от - 40 до -43 °С; плотность энергии когезии 342-390 МДж/м<sup>3</sup>. Растворяется в  $CHCl_3$ , кетонах, этилацетате, смесях растворителей (например, метилэтилкетонтолуол), набухают в алифатических углеводородах.

Хлоропреновые каучуки достаточно стойки к воздействию  $O_2$ , солнечного света, с  $O_3$  образуют полимерные пероксиды, под действием ионизирующих излучений структурируются. При нагревании до 170 °С интенсивно выделяют  $HCl$ . Стабилизируют хлоропреновые каучуки антиоксидантами аминного или фенольного типа (1-3 % от массы каучука).

Получение каучуков. Основной промышленный способ - эмульсионная полимеризация в водной фазе при 40 °С, протекающая по радикальному механизму. Эмульгаторы – алкилсульфонаты или канифольные мыла, регуляторы молекулярной массы- S, тиурамдисульфиды, тиолы (меркаптаны).

– Хлоркаучук. Представляет собой хлорированный натуральный или синтетический изопреновый каучук с содержанием хлора не менее 64,5 %. Различ-

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

ные типы ХК марки «Пергут» нашли широкое применение в качестве связующего для лаков и красок, используемых в строительстве, судостроении, полиграфии, антикоррозионной технике и т. д. Обширная область применения хлоркаучука – производство клеев, где он используется и самостоятельно, и в качестве модифицирующей добавки к неопреновым, бутадиен-нитрильным и полиуретановым клеям [21].

По внешнему виду ХК представляет собой сыпучий белый порошок с содержанием золы не более 0,15 % (масс.) и влажностью не более 0,2 % (масс.). В настоящее время выпускают Пергут 5 типов.

Впервые хлорирование натурального каучука с целью получения твердого полимера было описано в 1859 г [22].

Существует несколько способов хлорирования НК и СКИ-3. Самый распространенный из них это пропускание хлора через раствор полимера в четыреххлористом углероде.

Основная проблема, с решением которой приходится сталкиваться при хлорировании изопреновых каучуков, является регулирование вязкости растворов. Требуемая вязкость растворов обычно достигается путем деструкции каучука перед хлорированием или во время хлорирования. Деструкцию макромолекул НК проводили либо путем пластикации в резиносмесителях при повышенной температуре (до 140 °С), либо путем озонлиза его раствора в ЧХУ до достижения определенной вязкости, так как вязкость прямо связана с ММ полимера известным уравнением и константами. Озон имеет свойство с большой скоростью присоединяться к двойным связям макромолекул НК (СКИ-3) с образованием озонидов, дальнейший быстрый распад которых вызывает по этим местам их «разрезание» с уменьшением средней ММ. В отдельных патентах упоминались и химические методы предварительной деструкции: с помощью инициирования термоокисления различными инициаторами (пероксиды, гидропероксиды, азосоединения).

Средняя молекулярная масса хлоркаучука в зависимости от типа составляет 5000 – 20000 [23].

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Сопротивление разрыв у непластифицированного ХК велико и при небольших скоростях деформации составляет 39,24 МПа при минимальном относительном удлинении. Прочность пластифицированного ХК зависит от типа пластификатора и степени пластификации. Так, пленки, содержащие в качестве пластификаторов хлорированный дифенил, например типа арохлор, менее прочны и менее эластичны, чем пленки, содержащие хлорированные парафины типа церехлор. Сопротивление разрыву пленки ХК с оптимальным содержанием пластификатора 4,9 – 9,8 МПа, а относительное удлинение при разрыве 100 – 300 %.

– Уретановые каучуки. Получают взаимодействием полиэфиров с концевыми гидроксильными группами и диизоцианатов.

Из простых эфиров наибольшее применение находят полимеры оксида пропилена и тетрагидрофурана, а из диизоцианатов – 2,4-толуилنديизоцианат, 4,4-дифенилметадиизоцианат.

Большая регулярность молекулярных цепей определяет склонность уретановых каучуков к кристаллизации. Полиуретаны на основе простых полиэфиров обладают меньшей склонностью к кристаллизации.

Полиуретаны довольно стойки к действию углеводородных растворителей, но набухают в большинстве полярных (диоксан, ацетон и т. д.).

В промышленности вырабатывают уретановые каучуки трёх типов:

1) вальцуемые – твёрдые линейные или разветвленные полимеры (молярная масса ~ 30 000), которые перерабатывают по обычной технологии, включающей отдельные стадии приготовления резиновой смеси и её вулканизации;

2) литьевые – жидкие композиции, из которых получают изделия, совмещающие формование с синтезом твёрдого «сшитого» полимера – резины;

3) термоэластопласты – твёрдые полимеры (молярная масса 15000-18000), при переработке которых применяют те же методы, что и в производстве изделий из термопластов.

– Фторкаучуки (СКФ). Сополимеры на основе фторолефинов. Фторкаучуки нашли наиболее широкое применение в огромном количестве изделий, для

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

которых требуются высокие эксплуатационные характеристики. Фторэластомеры обеспечивают надежность в течение длительного времени даже в агрессивных средах. Атом фтора, заменяющий атом водорода в алифатической углеродной цепи, обуславливает очень высокую термическую и химическую стабильность полимера. Такие необычные свойства фторполимера зависят от внутриатомного и межатомного взаимодействия, размера молекул и стерических факторов.

Для получения эластомера, сохраняющего эластичность в широком интервале температур, полимерную цепь следует строить из фрагментов, обеспечивающих более свободное вращение вокруг связей в цепи и не вызывающих усиления межмолекулярного взаимодействия. Наличие атомов фтора повышает энергию связи между фторированными атомами углерода, поскольку энергия связи внутримолекулярных сил между атомами C-F (около 450 кДж/моль) значительно превышает энергию связи C-C (около 336 кДж/моль). Фторкаучуки, содержащие метиленовые группы, отличаются наличием довольно сильного межмолекулярного взаимодействия, быстро снижающегося с повышением температуры. Оно обусловлено образованием водородных связей между метиленовыми группами и атомами фтора.

Фторполимеры характеризуются большей термической стойкостью по сравнению с углеводородными аналогами. Одной из причин этого является повышенная прочность связи C-C между фторированными атомами углерода.

– Перфторкаучуки. Экстремально высокая устойчивость к химическим воздействиям и теплостойкость перфторированного пластика обуславливается насыщенностью всех атомов углерода, не принимающих участия в построении цепи, атомами фтора, экранирование углеродной цепи отрицательным электрическим полем атомов фтора. В перфторкаучуках у атомов углерода основной цепи в качестве заместителей содержатся только атомы фтора, не считая связей с кислородом в перфторалкокси группах.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24



Выпускаемые в промышленности перфторкаучуки в основном в качестве боковых групп содержат до 40 мол. %  $-\text{OCF}_3$ . Эти группы, благодаря малой энергии активации свободного вращения вокруг атома кислорода, создают вокруг себя конформационное пространство – область, необходимую для теплового движения группы, разрыхляя тем самым упаковку молекул и определяя эластичные свойства материала.

Температура стеклования подобных каучуков определяется количеством  $-\text{OCF}_3$  заместителей [19].

#### **1.4 Свойства и требования, предъявляемые к эластомерным деталям пищевого оборудования АПК**

На международных конференциях по механизации и автоматизации животноводства, симпозиумах по машинному доению сельскохозяйственных животных постоянно отмечается необходимость создания новых типов доильных аппаратов, обеспечивающих щадящий режим доения с регулируемыми параметрами и режимами работы в зависимости от скорости молокоотдачи и других индивидуальных признаков.

Огородниковым П.И. предложена классификация регуляторов вакуума для доильных аппаратов с целью их дальнейшего совершенствования [24]. В работах Т.К. Городецкой [26] доказано, что величина тонуса сфинктера сосков коров между дойками составляет около 40 кПа, уменьшаясь при доении в 3-4 раза. По данным В.Ф. Королева [23] для доения большинства животных может использоваться вакуум 33...40 кПа, при этом минимальный вакуум для тугодойных коров составляет 26... 33 кПа, а для слабо дойных 6... 10 кПа.

Некоторые исследователи отдают предпочтение регулированию подсоскового вакуума, так как, по их мнению, это обеспечит более безопасный режим доения и уменьшит величину наползания доильных стаканов, что, в свою очередь позволит снизить, или полностью исключить необходимость проведения машин-

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						25
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ного додаивания животных. Необходимо отметить, что в большинстве конструкций современных типов доильных аппаратов применяют пульсаторы попарного действия с электрическим или гидropневматическим приводом, что обеспечивает более ровный поток молока и улучшает режим его эвакуации из доильного аппарата в молокопровод, а также используют коллекторы увеличенного объема от 250 до 600 мл [24].

Основные требования к конструкции и технические характеристики доильных установок определяются физиологией животного, а также необходимостью обеспечения высокого уровня гигиены и получения высококачественного молока. Кроме того, оборудование должно быть эффективным и простым при эксплуатации и проверке.

Материалами, применяемыми для многочисленных эластичных частей установок (например, уплотнителей, сосковой резины, шлангов и др.), должны быть синтетическая резина или другой соответствующий жироустойчивый эластичный материал. Применяемые материалы не должны окрашивать молоко.

При проектировании молочных линий, являющихся одновременно вакуумными линиями для питания подсосковых камер доильных стаканов, следует соблюдать следующие требования: трубопроводы должны иметь минимально возможную длину, молокопровод должен иметь по возможности U-образную форму с отдельно подсоединенными к молокоприемнику концами, внутренний диаметр молокопровода выбирают с таким расчетом, чтобы перепад давления в молокопроводе не превышал 3 кПа при работе всех доильных аппаратов [25].

### **1.5 Преимущества и недостатки термоэластопластов по сравнению с резинами**

При нагревании ТЭП выше температуры плавления жесткая фаза расплавляется и позволяет полимеру вытекать в перерабатывающее оборудование.

В настоящее время в мире наблюдается заметный рост интереса к термопластичным эластомерам (термоэластопластам), как полноценным заместителям

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

резины, поскольку резина уступает им по прочностным и деформационным характеристикам, имеет более высокую цену и низкую технологичность. Кроме того, продукты вторичной переработки резины (в основном резиновая крошка) не могут быть использованы по прямому назначению и не всякие составы резин могут быть допущены к контакту с пищевыми продуктами [9].

Широкое применение термоэластопластов обусловлено уникальностью их свойств по сравнению со свойствами других пластиков [27]. Термопластичные эластомеры отличаются такими свойствами, как:

- мягкость и упругость;
- высокая технологичность и возможность вторичной переработки;
- высокая эластичность при низких температурах;
- термическая и климатическая стойкость;
- длительный эксплуатационный период;
- нетоксичность;
- стойкость к слабым кислотам, растворам щелочей и солей, спиртам, воде, атмосферным воздействиям;
- диэлектрические характеристики, позволяющие использовать их в производстве электроизоляционных материалов [29].

Термоэластопласты полностью перерабатываются, не содержат хлора и серу. Новейшие термоэластопласты не содержат свинцовых стабилизаторов и других тяжелых металлов. Другим положительным свойством, с точки зрения экологии, является пониженная миграция пластификаторов [28].

Изменяя рецептуры ТЭП, можно регулировать их основные физико-механические и потребительские свойства изделий: твердость, эластичность, маслобензостойкость, морозостойкость, огнестойкость, цвет.

Но важнее всего то, что именно свойства ТЭП гарантируют длительное функционирование изделий без ухудшения эксплуатационных свойств в условиях постоянно меняющихся атмосферных факторов (мороз и жара, высокая и низкая влажность и пр.) [29].

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Так же, как и каучуки, они позволяют вводить в свой состав различные минеральные наполнители или стабилизаторы с пластификаторами. Это позволяет регулировать свойства ТЭП [30].

Помимо этого, термоэластопласты обладают способностью со временем улучшать свои прочностные показатели, в отличие от резины, которая теряет эластичность, становится хрупкой и ломкой [31].

Дополнительные преимущества по сравнению с терморезиновой резиной, обеспечиваемые ТЭП, включают отличную цветоустойчивость и меньшую плотность [32].



Рисунок 1.1– Принципиальная схема получения эластомерных изделий по технологиям резинового производства



Рисунок 1.2 – Принципиальная схема получения изделий из термоэластопластов

Преимуществом термоэластопластов перед резинами является легкость и, соответственно, более низкая стоимость переработки, поскольку они перерабатываются практически в одну стадию с исключением энергоемкой стадия вулканизации (рис.1.2) [9].

Отходы резины имеют в своем составе очень много вредных для экологии компонентов. В данном случае наиболее правильным решением является вторичная переработка резин. Складирование и утилизация резины нежелательны с экологической точки зрения. К сожалению, в нашей стране нет грамотного сбора данного вторсырья. Законодателями сегодня не проработан четкий механизм последующих действий с ценным вторсырьем, так же не определен порядок финансирования этих действий [32].

Экономия сырья за счет вторичной переработки отходов производства (кратность переработки без снижения свойств – до 4 раз), возможность полной автоматизации процесса производства, снижение энергозатрат и ряд других факторов являются преимуществом ТЭП. И наконец, срок службы термоэластопластов, как и изделий, полученных из этого сырья, значительно больше, чем у резины, а удельный вес ТЭП, по сравнению с резиной, более низкий. Термоэластопласты перерабатываются в изделия всеми традиционными методами переработки полимеров: литьем под давлением, экструзией, выдувным формованием, каландрованием и прессованием, термоформованием. Получаемые отходы (выпрессовки и забракованные изделия) подлежат, в отличие от резины, вторичной переработке без ухудшения качества полимера [33].

ТЭП перерабатываются на стандартном оборудовании для литья под давлением и экструзии и заполняют пробел между термопластами и эластомерами.

Большое место в производстве резинотехнических изделий для пищевой промышленности занимают испытания используемых материалов. Для этого применяется моделирование условий предстоящей эксплуатации. Так, элементы доильных и разливочных аппаратов из термоэластопластов, предназначенных для получения и переработки молока (шлангов, трубок, прокладок пастеризаторов, сепараторов, уплотнителей бидонов и др.), выдерживают в 0,3 %-ном растворе молочной кислоты при температуре в 20-40 °С от 1 до 24 часов.

Детали оборудования из ТЭП для консервирования мясных, рыбных и овощных продуктов (прокладки бочек, уплотнительные кольца крышек, шланговые патрубки и т.п.) испытывают настаиванием в 0,5 %-ном растворе уксусной

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

кислоты с 2 % хлористого натрия при комнатной температуре от 1 часа до нескольких суток [34].

Наиболее приемлемым по характеристикам и цене является ТЭП марки Enflex V-900. Данный вид производят в Турции, он один из самых быстрорастущих классов полимеров с прогнозируемым уровнем роста потребления 5-7 % на ближайшие 5 лет. Такой рост обусловлен свободой в дизайне, эстетическими качествами (цвет, прозрачность, soft-touch эффект), возможностью вторичной переработки и облегченной стандартной переработкой «пластиков» по сравнению с терморезистивными эластомерами.

### 1.6 Эластомерные детали доильных установок в АПК

Одним из самых перспективных направлений полимерной отрасли становится переработка термоэластопластов (ТЭП) в детали пищевого машиностроения [35].

В частности, одним из наиболее перспективных направлений является использование термоэластопластов вместо резин для изготовления эластомерных деталей современных доильных установок: колец круглого сечения, прокладок, муфт, уплотнителей, диафрагм, пробок, клапанов, манжет, амортизаторов, оболочек, плоских и гофрированных мембран, молочных и вакуумных шлангов, колпачков и вкладышей (сосков) доильных аппаратов.

На сегодняшний день промышленностью выпускается довольно большое количество доильных аппаратов, которые в той или иной степени изменяют режимы работы в процессе доения. Это в первую очередь изменение величины вакуумметрического давления в подсосковом пространстве стакана в зависимости от интенсивности истечения молока из вымени и изменение частоты пульсаций во время машинного доения. Однако доильного аппарата, который бы объединял два этих параметра одновременно и тем самым в полной мере отвечал физиологии коров на сегодняшний день не создано [36].

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для создания разрежения при работе доильной машины используют воздушные установки, состоящие из вакуумного балона-ресивера, вакуум-регулятора, вакуумметра, системы трубопроводов с арматурой, двигателя и вакуумного насоса, которые делятся на ротационные, поршневые и эжекторные. В свою очередь ротационные вакуумные насосы подразделяются на лопастные, водокольцевые, типа Рутс и другие.

В современных конструкциях доильных аппаратов применяются двухкамерные стаканы. Двухкамерный доильный стакан состоит из двух цилиндров – наружной гильзы и сосковой резины. Они образуют две камеры – межстенную и подсосковую. Когда в обеих наступает разрежение, сосковая резина не испытывает деформаций, поэтому молоко под действием разности давлений внутри вымени и под соском струей вытекает в подсосковую камеру, а из нее по молочному шлангу отводится в молокоприемник. Происходит такт сосания.

Преимущество двухтактных аппаратов – более высокая скорость доения; доильные стаканы лучше держатся на сосках вымени [37].

Применение доильных стаканов разного веса и разной длины, коротких молочных шлангов для передних и задних четвертей вымени позволяют уравнивать скорость отдачи молока передних и задних четвертей вымени. Облегченными являются доильные стаканы с кольцевой канавкой на корпусе.

Сосковая резина имеет специальную запатентованную форму с демпфирующей головкой, препятствующей наползанию стакана на сосок, специальная форма резины массирует основание соска при доении. Материалом для сосковой резины может быть и наилучший по своим характеристикам силикон.

Сосковая резина доильных аппаратов в процессе эксплуатации вытягивается и меняет свои упругие свойства, что служит причиной уменьшения скорости доения коров, и возможно заболеванию маститом.

В последнем случае использование термоэластопластов позволяет унифицировать вкладыши по внутреннему диаметру с регулированием контактного

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

давления модификацией ТЭПов наноразмерными наполнителями [38], что делает стимуляцию и процесс доения более комфортным и щадящим для животных, позволяет улучшить качество и полноту доения.

## **1.7 Технологические процессы и оборудование для производства и переработки резиновых смесей и термоэластопластов**

Технология производства и переработки резиновых смесей и термоэластопластов включает в себя ряд операций, переходов и превращений сырья и исходных материалов. Переработка сырья в изделия на заводах резиновой промышленности заключается в изменении его свойств, состояния, формы и размеров в результате физико-механических воздействий и химических превращений. Совокупность целенаправленных действий по превращению сырья и материалов в готовое изделие в промышленности называют технологическим процессом.

### **1.7.1 Технологические процессы и оборудование для производства резиновых смесей и композиций термоэластопластов**

Для получения резины с заданным комплексом свойств готовят резиновую смесь – композицию каучуков и ингредиентов определенного состава, для чего требуется точное дозирование применяемых материалов, осуществляемое в основном посредством развески. Ингредиенты необходимы как для осуществления химических превращений каучуков в процессе их переработки (повышение пластичности, поперечное сшивание и др.), так и для предания резиновым изделиям определенных свойств.

Резиновые смеси, из которых получают подавляющее количество резин (резиновых изделий), представляют собой сложные многокомпонентные системы на основе каучука или комбинации каучуков.

Кроме каучука, в состав резиновых смесей входят другие компоненты, которые применительно к резиновым смесям принято называть ингредиентами (с

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		32



латинского – входящий в состав). Каждый из ингредиентов играет специфическую роль в процессе изготовления резиновых смесей, их переработки, вулканизации и эксплуатации резиновых изделий [10].

Изготовление резиновых смесей осуществляется в резиносмесителях в одну и две стадии, что вызвано необходимостью обеспечения нормального температурного режима и качества.

Процесс смешения состоит в том, что различные ингредиенты механическим способом смешивают с каучуком. Качество смеси зависит от равномерности распределения ингредиентов в каучуке. Этого добиваются выполнением режима смешения, установленного для каждой резиновой смеси.

При смешении необходимо строго соблюдать установленный порядок введения ингредиентов, температурный режим и следить за положением верхнего затвора в камере смесителя.

При заполнении объема рабочей камеры на 53 - 65 % гребни роторов несут избыточный материал, не прошедший через зазоры, к верхней части камеры и к верхнему затвору резиносмесителя. Здесь потоки встречаются, при этом создается давление, за счет которого верхний затвор (при недостаточном пневматическом давлении) поднимается, и материал входит в загрузочное окно, выбывая из общего процесса смешения. Поэтому чтобы избежать такого нежелательного явления, необходимо следить за пневматическим давлением на верхний затвор [11].

Для каждого типа смеси устанавливается индивидуальный режим смешения, однако существует определенная последовательность введения ингредиентов, которой следует в основном придерживаться при изготовлении любых смесей. Так, если в смесь входят противостарители их смешивают с каучуком. В первую очередь одновременно вводят диспергирующие агенты (жирные кислоты) и другие мелкие ингредиенты. Затем в смесь добавляют усиливающие наполнители. Так как лучшее диспергирование наблюдается в более вязкой среде, жидкие пластификаторы, снижающие вязкость резиновых смесей, вводят обычно в конце смешения каучука с усиливающими наполнителями. С целью

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

предотвращения вулканизации, серу вводят на последней минуте. Малоактивные ускорители подают в смеситель в начале цикла, а ускорители высокой активности так же на последней минуте, как и серу. Некоторые резиновые смеси основаны на пластикатах каучуков.

В качестве основного смесительного оборудования приняты резиносмесители с объёмом смесительной камеры 270 л и скоростью вращения роторов 20об/мин марки РС 270-20.

После выгрузки из резиносмесителя смесь подается на агрегат из трех вальцов СМ 2100 660/660, где охлаждается, дорабатывается, листуется. После доработки резиновая смесь срезается с вальца непрерывной лентой и подается в установку фестонного типа АФТ – 15М, где охлаждается и укладывается на поддоны, которые напольным электротранспортом отвозятся на склад резиновых смесей.

В лаборатории производится ускоренный контроль резиновой смеси, определение физико-механических показателей резиновых смесей проводят в случае неудовлетворительных результатов анализа по первичному контролю [39].

С помощью червячных машин получают из резиновых смесей заготовки различного профиля и любой длины, гранулируют каучуки и резиновые смеси, отжимают влагу из каучука и регенерата, обкладывают кабель, шланги и рукава резиновой смесью. А также реализуется процесс шприцевания резиновых смесей, заключающийся в непрерывном продавливании разогретого пластичного материала через профильное отверстие инструмента, размещаемого в головке червячной машины. В результате этого продавливания формуется заготовка, поперечное сечение которой соответствует геометрической форме отверстия. Таким методом получают заготовки протекторов, камер, прокладок, шнуров, шлангов и т. д. [40]

Для создания термоэластопластичных композиций с оптимальным комплексом свойств необходим особый подход к подбору полимерных компонентов. Так, большое число эластомеров подвержено деструкции при обработке в

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

условиях повышенных температур. Температура получения и переработки термоэластопласта определяется температурой плавления термопласта, входящего в его состав, поэтому можно говорить о технологической несовместимости полимеров в том случае, если при температуре плавления термопласта эластомер является нестабильным. Так же при составлении рецептуры термоэластопластичных материалов важно подобрать вулканизирующую систему, обеспечивающую оптимальную степень сшивания эластомера и не приводящую к деструкции полимерных компонентов [41].

В работах А. Корана [42] свойства смесей термопластов и эластомеров оценивались с учетом таких характеристик индивидуальных полимеров, как критическое значение поверхностного натяжения, при котором еще обеспечивается смачиваемость поверхности и критическое значение длины макромолекулы, при которой еще обеспечивается переплетение цепочек. Зависимости свойств смесей от этих параметров были определены эмпирическим путем.

Обычно композиции термоэластопластов получают растворной полимеризацией в присутствии литийорганических соединений в качестве катализаторов. Полимеры отличаются высокой частотой и практически не содержат посторонних примесей. При выделении из растворов в них добавляют, как правило, неокрашивающие противостарители [15].

### **1.7.2 Технологические процессы и оборудование для производства резиновых смесей и композиций термоэластопластов методом экструзии**

В отечественной литературе экструдеры часто именуется червячными прессами. Вращающийся шнек (червяк) захватывает из приемного отверстия материал, уплотняет его в рабочем цилиндре и под давлением выталкивает в фильеру. Кроме того, в экструдере происходит окончательное перемешивание и уплотнение материала [43].

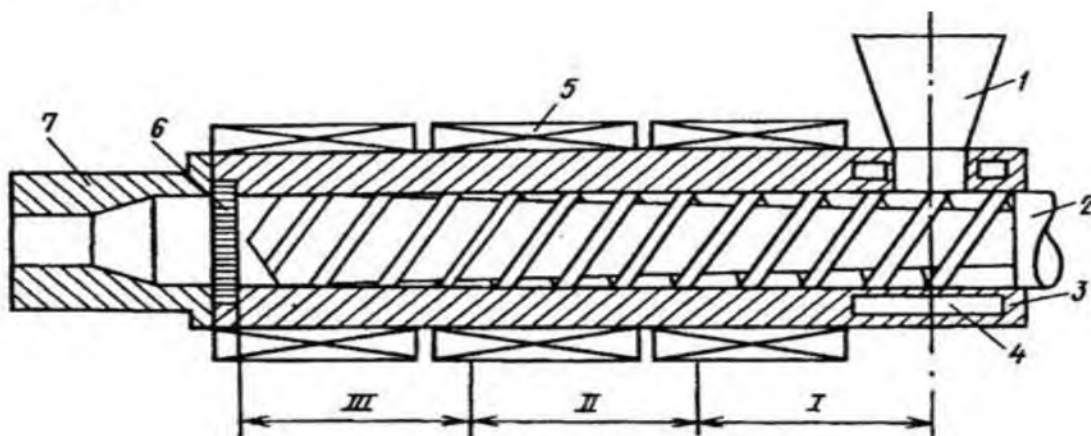
					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		35

Движение материала в экструдере при вращении шнека происходит вследствие разницы в коэффициентах трения материала о шнек и цилиндр. Основное тепло в рабочем цилиндре выделяется вследствие сжатия рабочей смеси и работы значительных сил трения ее частиц о поверхности экструдера и друг об друга. Для переработки термопластов экструдеры снабжаются дополнительными устройствами для разогрева рабочей смеси, измерения температуры и ее поддержания (нагреватели и охладители).

В индустрии пластмасс [44] наиболее распространенными, в силу относительной простоты и сравнительно низкой цены, являются одноцилиндровые (одношнековые) экструдеры (рис. 1.3).

Основными характеристиками такого экструдера являются: диаметр цилиндра, отношение длины цилиндра к его диаметру, скорость вращения шнека, мощность двигателя и систем нагрева, производительность по расплаву полимера (композита).

Менее распространены экструдеры с коническим шнеком. Конструктивно он похож на цилиндрический экструдер, но шнек и рабочая полость выполнены в форме конуса



1- бункер; 2- шнек; 3- цилиндр; 4- полость для циркуляции воды; 5- нагреватель; 6- решетка; 7- формующая головка; I – зона дозирования, II – зона нагрева, III – зона сжатия

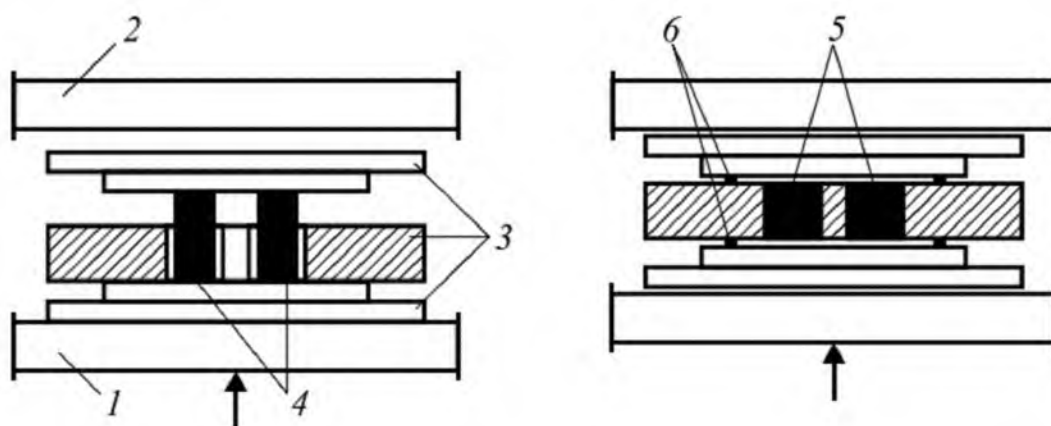
Рисунок 1.3 – Стандартная схема и внешний вид одноцилиндрового экструдера

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

Это дает возможность более энергично захватывать и проталкивать рыхлый материал в рабочую зону, уплотнять его и температура и давление при прессовании могут достигать 200 °С и 7 МПа соответственно. Рабочие температура и давление определяются реологическими, термическими и другими свойствами прессуемого пластического материала [45].

### 1.7.3 Технологические процессы и оборудование для переработки резиновых смесей и термоэластопластов прессованием

Наиболее широкое применение вследствие технологической, аппаратурной простоты и универсальности получило компрессионное формование, заключающееся в сжатии в полости пресс-формы заготовки из резиновой смеси (рис. 1.4).



1, 2 – плиты пресса; 3 – пресс-форма; 4 – заготовка резиновой смеси; 5 – изделие; 6 – выпрессовки (облой)

Рисунок 1.4 – Схема прессового формования ТЭП

Основным оборудованием, с помощью которого осуществляется прессовое формование, являются гидравлические вулканизационные прессы. Такие прессы

предназначены для создания больших давлений между плитами, необходимых для получения качественных изделий. Они относятся к машинам периодического действия.

Усилие на плиты создается в гидроцилиндре пресса рабочей жидкостью, поступающей под высоким давлением, и передается плитам через плунжер.

Прессы классифицируются следующим образом:

– по назначению – для формования и вулканизации резиновых изделий в промышленности РТИ (прессы общего назначения): для вулканизации транспортерных лент и плоских приводных ремней (многоцилиндровые); для вулканизации клиновых ремней (челюстные прессы); для литьевого формования (литьевые прессы); для производства специальных изделий (например, диафрагм);

– по расположению силового цилиндра – машины нижнего или верхнего давления, т. е. с нижним и верхним расположением цилиндра;

– по типу силового контура – колонные и рамные;

– по количеству силовых цилиндров – одно- и многоцилиндровые;

– по количеству этажей – одно- и многоэтажные;

– по типу обогрева плит – с паровым или электрическим обогревом;

– по типу привода – с индивидуальным гидроприводом или с питанием от центральных насосно-аккумуляторных станций;

– по наличию или отсутствию автоматического управления и вспомогательных устройств.

К основным параметрам прессов относятся: величина усилия, которое может создать силовой цилиндр; размер плит в плане; число этажей прессы [46].

#### **1.7.4 Технологические процессы и оборудование для переработки резиновых смесей и термоэластопластов литьем под давлением**

Литье под давлением – наиболее распространенный и прогрессивный метод переработки пластмасс, так как позволяет получать изделия сравнительно

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

сложной конфигурации при небольших затратах труда и энергии. Процесс изготовления изделий основан на заполнении формующей полости формы расплавом, его уплотнением за счет давления с последующим охлаждением [47 - 49].

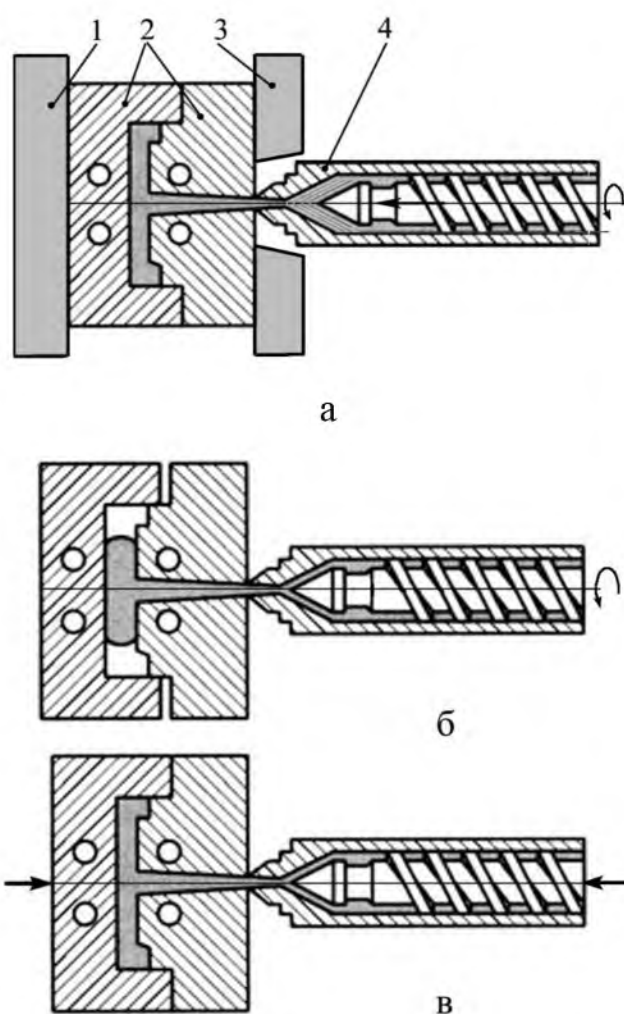
В последнее время наиболее динамично развивающимся способом переработки композиционных полимерных материалов, в частности, резиновых смесей и термоэластопластов является именно литье под давлением. Метод предъявляет существенно более жесткие требования к реологическим характеристикам перерабатываемых материалов. Способы литьевого формования можно разделить на три класса.

1. Инжекционный метод (рис. 1.5, а). Требуемый объем расплава (доза) накапливается при вращении и отходе назад шнека в передней части материального цилиндра литьевой машины и затем при аксиальном движении шнека под давлением 100-200 МПа впрыскивается (инжектируется) в течение нескольких секунд в сомкнутую пресс-форму. Это наиболее распространенный способ. Он позволяет получать изделия сложной конфигурации с различной толщиной стенок, допускает использование многогнездных форм с различной литниковой системой. Особенность технологии – объем изделий с литниками не должен превышать паспортного объема впрыска используемой литьевой машины.

2. Интрузионный метод (рис. 1.5, б). Применяется при шнековом способе пластикации полимера для получения толстостенных изделий. Его суть заключается в следующем: вращением червяка расплав в режиме экструзии подается в пресс-форму и заполняет ее, после этого червяк останавливается и осевым движением подпитывает форму, компенсируя естественную усадку остывающего расплава. Особенность подобного способа – объем изделия может превышать паспортный объем впрыска литьевой машины, но развиваемое в литьевой форме давление невелико, вследствие чего геометрия изделия не должна быть сложной, гнездность формы ограничена, получение тонкостенных изделий затруднено.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Интрузионно-прессовый метод (рис. 1.5, в). Используется для получения изделий значительных по площади прессования, когда заполнение формы сопровождается существенным падением давления расплава в ее периферийных частях, что вызывает эффект разноточности изделия. Сущность технологии состоит в том, что практически полное заполнение формы (на первой стадии) производится интрузией при вращении шнека. На второй стадии за счет прессового механизма узла смыкания (при остановке шнека) происходит оформление тонкостенных элементов детали. С этой целью применяются литьевые формы, конструкция которых допускает перемещение пуансона и после смыкания формы.



1, 3 – подвижный и неподвижный формоносители; 2 – пресс-форма; 4 – материальный цилиндр со шнеком

Рисунок 1.5– Инжекционный, интрузионный (а) и интрузионно-прессовый (б, в) методы литья

## 1.8 Приборы и методы изучения эксплуатационных и технологических характеристик эластомерных композиций

### 1.8.1 Приборы и методы изучения физико-механических свойств эластомерных композиций

Основой для понимания поведения материала в условиях эксплуатации являются сведения о том, как материал реагирует на механические и температурные нагрузки.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40



Все методы измерения механических характеристик эластомерных композиций можно разделить на следующие виды.

**1. Технические измерения при однократном нагружении.** Такие измерения являются наиболее массовыми техническими измерениями при испытании композиционных материалов.

К этой группе относятся испытания на растяжение, сжатие, изгиб, ударную вязкость, раздир, твердость и другие, в ходе которых производится нагружение образца до разрушения или до заданного значения напряжения (деформации). Связь между напряжением, деформацией, температурой и временем проявляется в таких испытаниях в широком диапазоне деформаций и обычно выражается графически в виде диаграммы «напряжение – деформация», которая, как правило, отвечает одной температуре испытания.

Наиболее предпочтительным является режим растяжения при постоянной скорости движения рабочих органов испытательной машины.

В большинстве случаев напряжение рассчитывается на исходное сечение, а деформация – по отношению к величине базового размера образца до испытания.

**При испытаниях на растяжение** используют три типа образцов, форма которых и условия испытаний регламентированы ГОСТ 11262-80 и ASTM D 1708-66 [50]. Образцы вырубают штанцами из плоских пластин.

В результате данных испытаний определяют модуль упругости, секущий модуль, предел текучести, максимальную деформацию, разрушающее и максимальное напряжения.

Для испытаний используют испытательные машины, позволяющие производить закрепление стандартного образца в зажимах, его силовое и температурное нагружение, регистрацию усилия нагружения и деформации образца, автоматическую обработку полученных результатов.

**Испытания на статический изгиб** регламентируются ГОСТ 4648-71 [51]. Сущность заключается в том, что образец для испытаний, свободно лежащий на двух опорах, кратковременно нагружают в середине между опорами.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В результате данных испытаний определяют изгибающее напряжение при максимальной нагрузке и модуль упругости при изгибе.

**Определение ударной вязкости по Шарпи** (ГОСТ 4647-80) [52] проводят для оценки поведения образцов, предусмотренных настоящим стандартом, под действием ударных напряжений и для оценки их хрупкости или вязкости в пределах, установленных условиями испытания. Сущность метода заключается в испытании, при котором образец, лежащий на двух опорах, подвергается удару маятника, причем линия удара находится посередине между опорами и непосредственно напротив надреза у образцов с надрезом.

**Определение твердости композиционных материалов по ГОСТ 4670-91** (метод вдавливания шарика) [53] проводят для научно-исследовательских целей и контроля качества. Сущность метода заключается во вдавливании шарика при заданной нагрузке в поверхность образца, измерении глубины вдавливания и расчете площади поверхности отпечатка по его глубине.

Твердость по данному методу (МПа) представляет собой отношение нагрузки (Н) к площади отпечатка (мм<sup>2</sup>).

**2. Технические измерения в условиях длительного нагружения.** К ним относят испытания на релаксацию напряжений, ползучесть и долговременную прочность [54].

**3. Технические измерения в условиях динамического нагружения.** К ним относят испытания пластмасс методом вынужденных колебаний, резонансных колебаний и свободно затухающих колебаний [55].

**4. Технические измерения триботехнических характеристик** [56]. Проводят на трибометрах с целью определения применимости пластмасс в узлах трения. В результате данных испытаний определяют: коэффициент трения и интенсивность износа при заданных значениях давления, температуры и скорости скольжения образца по контртелу. Условия испытаний регламентируются ГОСТ 11629-75 и ГОСТ 11012-69. Контртело при испытаниях на трение может представлять собой диск из стали 45 с твердостью 45-60 HRC<sub>3</sub>, при испытаниях на

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

износ – шлифовальную шкурку с эталонной истирающей способностью (регламентируется ГОСТ 11012-69).

### 1.8.2 Приборы и методы изучения реологических свойств эластомерных композиций

Все устройства для проведения реометрических исследований согласно М. Рейнеру делятся на три класса.

1. Приборы, на которых реализуется деформация сжатия, близкая к однородной. К ним относятся сжимающие пластометры.

2. Приборы ламинарного сдвига, обработка данных на которых из-за неоднородного поля скоростей деформаций требует интегрирования или дифференцирования результатов опыта. К таким приборам относят ротационные и капиллярные вискозиметры.

3. Приборы, на которых реализуется ламинарное течение сложного вида, например, вискозиметры с падающим шариком.

1. **Капиллярная вискозиметрия** является наиболее старым и широко распространенным методом измерения вязкости. Суть метода состоит в установлении соответствия между объемным расходом расплава, протекающим через капилляр  $Q$  и давлением  $P$  на входе в него. При этом под капилляром понимают любой канал различного сечения и длины.

Методика расчета динамической вязкости при измеренных значениях  $Q$  и  $P$  приведена в ряде источников, например [57, 58]. Капиллярные вискозиметры принято делить на два класса: постоянного давления и постоянного расхода расплава.

Вискозиметры первой группы более просты по конструкции и чаще используются для стандартизованных измерений. Вискозиметры второй группы обычно конструируются на базе стандартных испытательных машин. Наиболее известным прибором такого типа, используемым в производственных лабораториях, является прибор для измерения показателя текучести (индекса) расплава по ГОСТ 11645-73 (рис. 1.6).

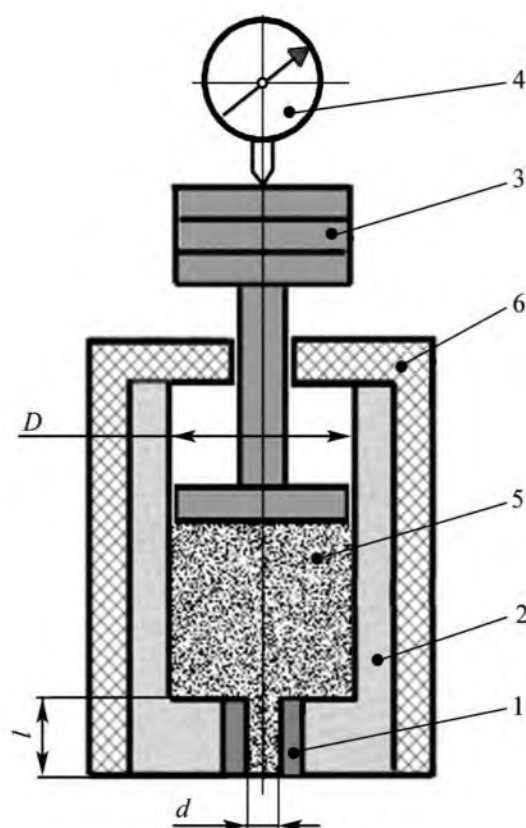
					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Под ПТР (г/10 мин) понимается величина массового расхода, пересчитанная на длительность течения 10 мин, и измеренная в стандартизованных условиях по температуре и нагрузке на приборе со строго определенными размерами капилляра и цилиндра:  $l = 8,000 \pm 0,02$  мм;  $d = 2,098 \pm 0,005$  мм,  $D = 9,48 \pm 0,015$  мм. Основной груз составляет  $2,160$  кг  $\pm 10$  г. Возможно также применение грузов  $5,000$  кг  $\pm 10$  г,  $10,000$  кг  $\pm 15$  г и  $21,600$  кг  $\pm 20$  г.

## 2. Ротационная вискозиметрия

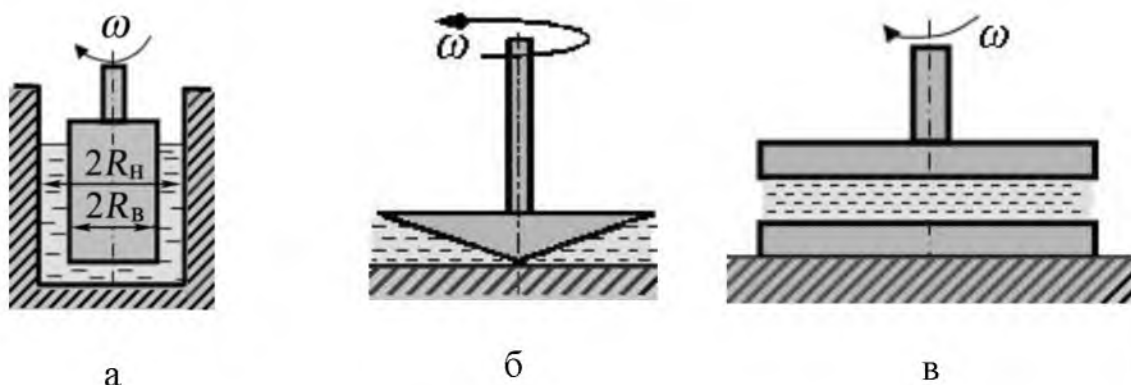
**(реометрия).** Идея более распространенных ротационных вискозиметров (реометров), заключается в том, что меру сопротивления сдвиговому течению можно определить, измеряя крутящий момент и угловую скорость при относительном вращении измерительных тел, например, коаксиальных (соосных) цилиндров, в зазоре между которыми находится вязкая жидкость [59]. Их применяют как для контроля качества сырья и продукции, так и для контроля технологических процессов.

Семейство ротационных вискозиметров включает в себя измерительные системы с соосными цилиндрами, конусами, дисками, сферами и комбинированные (рис. 1.7). Помимо типа измерительных систем ротационные вискозиметры отличаются также друг от друга устройствами для измерения момента вращения.



1 – калиброванный капилляр; 2 – резервуар; 3 – груз;  
4 – индикатор перемещения; 5 – расплав полимера; 6 – термокамера

Рисунок 1.6 – Схема типичного вискозиметра постоянного давления, предназначенного для измерения индекса расплава



коаксиальноцилиндрический (а); конический (б); дисковый (в)

Рисунок 1.7 – Измерительные блоки ротационных вискозиметров:

Большее распространение получили вискозиметры с коаксиально-цилиндрическими и комбинированными измерительными системами.

Ротационные вискозиметры могут работать в режимах:

- а) постоянства скорости деформации  $\dot{\gamma} = \text{const}$ ;
- б) постоянства крутящего момента  $M = \text{const}$ .

Математическая обработка результатов реометрии требует, чтобы измеряемый крутящий момент появился бы только как результат сопротивления жидкости, подвергаемой сдвигу в точно определенном сдвиговом зазоре, например, образуемым коаксиальными цилиндрами (рис. 1.10, а).

Однако, вследствие того, что внутренние цилиндры (роторы) имеют нижние и верхние торцы, возникает добавочный крутящий момент при сдвиге в зазоре между этими торцами и поверхностью наружного цилиндра (стакана). Этот дополнительный момент, значение которого неизвестно, прибавляется к крутящему моменту  $M_p$ , измеряемому датчиком крутящего момента, что снижает точность измерения вязкости.

Методики обработки результатов измерений и вычисления реологических характеристик, получаемых на данном классе приборов, представлены в работах [60, 61].

## 1.9 Цели и задачи исследования

По результатам анализа источников информации сформулирована цель работы – на основе теоретических и экспериментальных исследований разработать составы, технологические процессы производства и переработки и исследовать свойства композиционных материалов на основе термоэластопласта *Enflex V-900* для изготовления деталей сельскохозяйственного и пищевого машиностроения, контактирующих с продуктами питания.

Для достижения поставленной цели в работе необходимо решение следующего перечня научных и технических задач.

1. Разработать математическую модель и провести теоретический анализ заполнения расплавом термоэластопласта пресс-формы с кольцевой литниковой системой, позволяющей формовать высококачественные уплотнительные изделия с однородной структурой.

2. С использованием разработанной математической модели установить основные закономерности литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов и определить оптимальные технологические параметры процесса литьевого формования;

3. С использованием полученной математической модели разработать конструкцию 5-гнездной литьевой пресс-формы для литьевой машины *Babyplast 6/10 V* и технологический процесс изготовления высококачественных уплотнительных колец из термоэластопласта *Enflex V-900* для поршневого доильного аппарата «Буренка».

4. Разработать составы композиций на основе термоэластопласта *Enflex V-900*, модифицированного шунгитом, углеродными нанотрубками и диоксидом кремния и технологические процессы смешения и компаундирования компонентов композиционных материалов в лабораторном смесителе периодического действия *PolyLab Rheomex PTW 16*.

5. Исследовать физико-механические и реологические характеристики термоэластопласта *Enflex V-900* и композиций на его основе, содержащих тонкодисперсные порошки шунгита, диоксида кремния и углеродных нанотрубок.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

6. В результате комплекса исследований выявить составы композиций на основе термоэластопласта *Enflex V-900* с лучшим комплексом физико-механических характеристик.

7. Разработать методику расчета процесса литьевого формования высококачественных уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой.

8. Разработать рекомендации по применению разработанных термоэластопластичных композиций в объектах перерабатывающего (пищевого) оборудования АПК.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

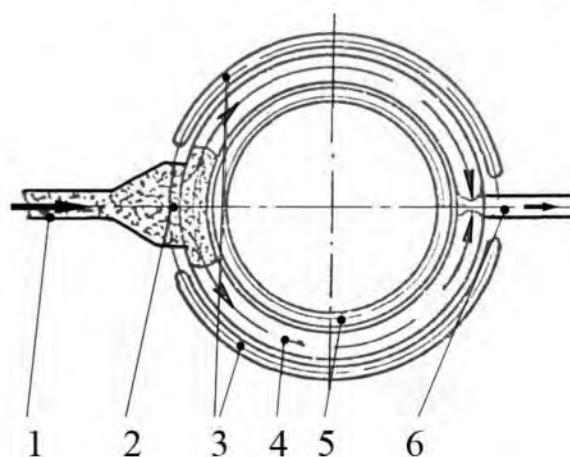
## 2 Теоретическое исследование процесса литьевого формования структурно однородных уплотнительных колец из термоэластопластов

### 2.1 Особенности качества уплотнительных колец в условиях литьевого формования в пресс-формах со щелевым впуском расплава в формующую полость

Наиболее распространенной при литьевом формовании уплотнительных колец из эластомерных композиций является пресс-форма с литниковой системой, изображенной на рис. 2.1. Литниковая система выполняется обычно в одной половине формы и состоит из разводящего канала 1, щелевого впуска в полость 2, облойных канавок 3 и 5, формующей полости 4, вентиляционного канала 6 [62].

Расплав полимера (резиновой смеси или термоэластопласта) под давлением при впрыске попадает из пластического цилиндра литьевой машины через центральный литник, разводящий канал 1 и щелевой впуск 2 в формующую полость закрытой формы. Ввиду значительного сопротивления литниковой системы смесь дополнительно прогревается вследствие диссипации до температуры, близкой к температуре вулканизации. В работе [63] указывается, что использование щелевых впусков толщиной 0,03-2,5 мм способствует сокращению времени вулканизации на 30-60 % по сравнению с прессованием.

Каких-либо критериев оценки оптимальной величины гидравлического сопротивления щелевого литника пока не существует. С одной стороны литник должен иметь минимальную глубину для обеспечения быстрого прогрева



1 – разводящий канал; 2 – щелевой впуск; 3, 5 – облойные канавки; 4 – формующая полость, 6 – вентиляционный канал

Рисунок 2.1 – Литниковая система формы с щелевым впуском расплава эластомера в формующую полость



смеси, поступающей в полость, для обеспечения быстрой вулканизации смеси в щели, приводящей к заклиниванию полости, для создания определенной скорости заполнения, при которой имеют место наилучшие условия для эвакуации воздуха и, наконец, для облегчения последующей операции удаления литника; с другой стороны – опасность преждевременной вулканизации из-за чрезмерного диссипативного прогрева и малой скорости заполнения формирующей полости. В то же время быстрое заполнение полости представляет опасность из-за возможности интенсивного разогрева воздуха, сжимаемого движущимися навстречу друг другу потоками смеси в полости, что может привести к «ожогу» фронтов потоков, в результате чего имеет место низкая прочность области стыка потоков опять-таки из-за подвулканизации смеси [64].

Эксплуатация форм с данным типом литниковой системы в отрасли РТИ обнаруживает значительный процент брака и большое количество разнообразных дефектов в уплотнителях. Эти дефекты можно разбить на три группы в порядке трудности их устранения:

- 1) дефекты, связанные с блокировкой воздуха в полости;
- 2) дефекты, связанные с подвулканизацией резиновой смеси в процессе заполнения полости;
- 3) дефекты, связанные с проявлением вязкоупругих свойств у резиновой смеси.

Наиболее трудно устранимыми дефектами в кольце являются дефекты, связанные с проявлением вязкоупругих свойств у полимеров. К этим дефектам следует отнести прежде всего дефекты типа «втянутый литник», причиной которых является течение расплава по щелевому каналу (обратный поток при преждевременном снятии давления «подпитки») или по вентиляционному каналу после уплотнения смеси в полости, что сопровождается развитием, значительной высокоэластической деформации, частичная релаксация которой в процессе охлаждения приводит к нарушению формы кольца в этих областях в виде небольшой впадины с глянцевой вой поверхностью («ориентационная утяжка»). Другой более распространенной разновидностью является «вулканизационная утяжка» резиновых смесей, которая выглядит в

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

виде впадины с неровными краями. Причина ее заключается в течении частично сшитого полимера (аналогично первому виду), что сопровождается разрывом поперечных связей и образованием новых [65]. Усадка после извлечения изделия из гнезда приводит к этому дефекту. Устраняются эти дефекты правильным выбором технологических параметров литья, размеров впускных и вентиляционных каналов формы. В частности, согласно [66] глубина вентиляционного канала не должна превышать 0,02 мм.

Поток расплава полимерной композиции, попадая из щелевого впуска в оформляющую полость в виде отдельных струй, вскоре уплотняется, и «струйный» режим заполнения переходит в «регулярный» [67] с делением потока на две части, которые движутся навстречу друг другу и стыкуются в противоположной стороне.

Большие напряжения сдвига, развивающиеся при течении в оформляющей полости, и значительная длина течения приводят к возникновению анизотропии структуры кольца. Наибольшая ориентация полимера достигается в оформляющей полости в области щелевого литника, а на противоположной стороне она уменьшается вследствие существующего градиента давлений и скоростей сдвига. Наглядное представление о неоднородности структуры кольца дает метод набухания в растворителях [68]. При набухании вулканизата молекулы растворителя, проникая между макромолекулой миполимера, увеличивают подвижность последних. При этом быстрее происходит перераспределение внутренних напряжений в кольце, что в случае неравновесности структуры, зафиксированной поперечными связями в процессе вулканизации, приводит к искажению первоначальной формы кольца. Также явственнее проявляются скрытые дефекты в изделии.

В работе [69] набухание колец из бутадиен-нитрильных резин, сформованных на производственных литьевых машинах плунжерного типа (ЛКВ-100), проводили в толуоле в течение 20 часов при температуре 20 °С. Вне зависимости от параметров формования кольцо приобретало после набухания в толуоле форму неправильного эллипса, большая ось которого совпадала с осью разводящего канала (рис. 2.2).

Как видно из фотографий, наибольшее искажение наблюдается в области впускного литника (нижняя часть на фотографии).

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

Очень заметны также втянутость и утонение в области стыка потоков (верхняя часть на фотографии), существование которой определяется согласно [70] скоростью взаимодиффузии потоков после слияния. Процесс взаимодиффузии тормозится начинающейся вулканизацией и растягивающими напряжениями, обусловленными высокоэластической деформацией, накопленной при течении в полости. Следует отметить заметное утолщение набухшего кольца в области впускного литника. Кольцо имеет здесь в сечении форму эллипса, что можно связать, видимо, с особенностями перестройки исходного потока после деления его на две части в формующей полости пресс-формы.



Рисунок 2.2 – кольцо после 20 ч. набухания в толуоле (справа – исходное кольцо)

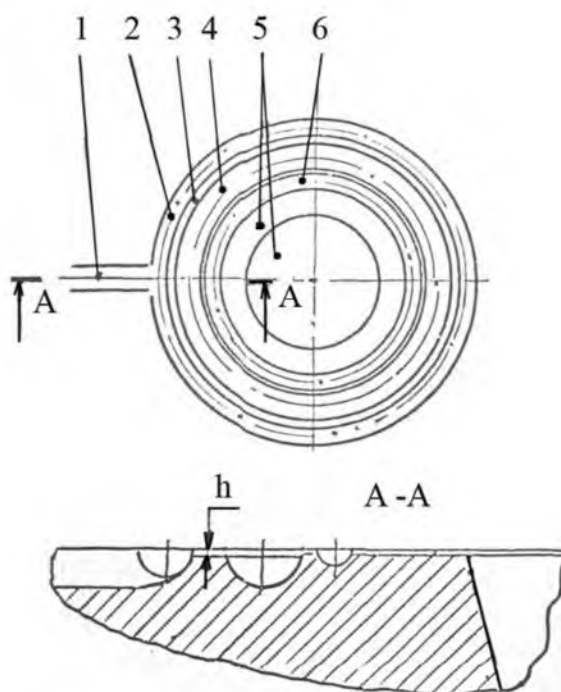
Во всех случаях после испарения растворителя происходило уменьшение наружного диаметра колец. Величина уменьшения достигала 4,5 %, в то время как диаметр поперечного сечения уменьшался лишь на 1...1,5 % (из-за частичного растворения резины). Это подтверждает предположение о том, что процесс течения расплава в оформляющей полости связан с развитием значительной высокоэластической деформации, не успевающей отрелаксировать до начала вулканизации или охлаждения изделия (в случае термоэластопластов).

Таким образом, процесс литьевого формования уплотнительных колец в формах со щелевым впуском расплава в полость приводит к получению изделий, обладающих значительной дефектностью, снижающей работоспособность их работоспособность в уплотнительных соединениях сельскохозяйственной техники.

Неоднородность структуры и внутренние напряжения обусловлены, главным образом, наличием «замороженной» высокоэластической деформации, возникающей при заполнении полости в «регулярном» режиме, и малой скоростью

взаимодиффузии встречных потоков, что приводит к возникновению сая в уплотнителе [71].

Видимо, любые мероприятия, способствующие повышению подвижности макромолекул, должны приводить к снижению вышеупомянутой дефектности. В то же время, повышение температуры полимера ограничивается временем нахождения в вязкотекучем состоянии, а изменение рецептуры с целью снижения вязкости композиции регламентируется техническими условиями на изделие.



1 – разводящий литник; 2 – обводной канал; 3 – кольцевой щелевой впуск высотой  $h$ ; 4 – оформляющая полость; 5 – канал для выхода воздуха; 6 – облойная канавка.

Рисунок 2.3 – Кольцевая литниковая система

Другой подход, дополняющий вышеуказанное, заключается в разработке литниковых систем, которые позволяют вести процесс литья без развития сколько-нибудь значительной высокоэластической деформации в полости, то есть – в «струйном» режиме.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

Таковыми литниковыми системами являются системы кругового заполнения формирующей полости через кольцевые щели.

Однако, известная литниковая система [72], наряду со значительным процентом отходов при литье в многогнездные формы имеет сложную систему съема изделий из-за трехплитности конструкции, что значительно увеличивает трудоемкость процесса литьевого формования.

Известна двухплитная форма с кольцевой литниковой системой, предназначенной обеспечить круговое заполнение полости по наружному диаметру изделия [73].

Литниковая система (рис. 2.3) в данном случае выполнена в одной плите формы и состоит из разводящего литника 1, обводного канала 2, кольцевого щелевого канала, соединяющего обводной канал с формирующей полостью 3, формирующей полости 4, канала для выхода воздуха 5 и внутренней облойной канавки 6.

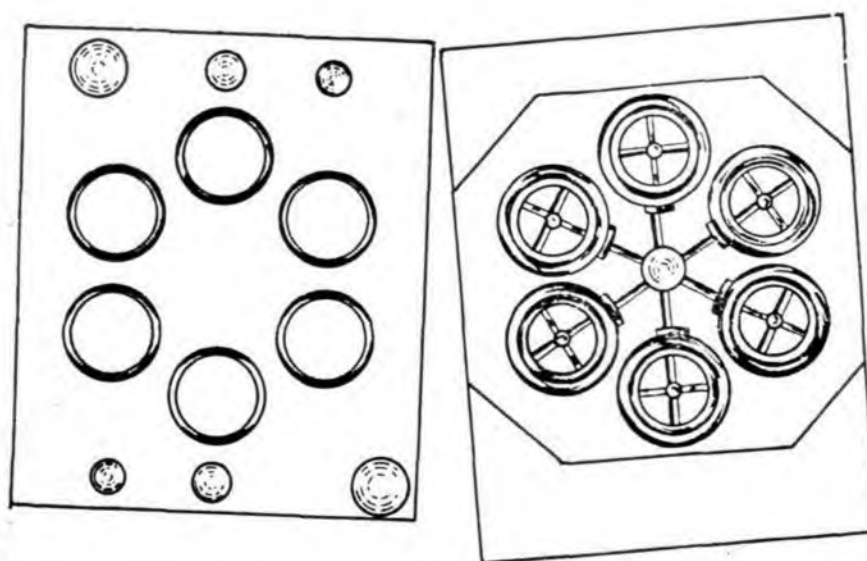


Рисунок 2.4 – Схема расположения формирующих гнезд и литниковых систем в полуформах литьевой пресс-формы по рис. 3

Практическое применение эта идея нашла в работе [74], в которой описан экспериментальный комплект форм для литьевого автомата ЛКВ-100 с такой

литниковой системой. Пресс-формы (рис. 2.4) использованы для изготовления уплотнительного кольца круглого сечения диаметром 32x25 из резиновой смеси на основе бутадиен-нитрильного каучука. Высота щелевого канала  $h$  составляла 0,06 мм.

Кольца изготавливали на литьевом автомате ЛКВ-100 в автоматическом режиме со следующими технологическими параметрами: давление литья 70 МПа, время впрыска - 5 с, температура вулканизации - 170 °С, температура смеси в литьевой камере - 80 °С, время вулканизации - 4 мин.

Сформованные кольца не имели внешневидовых дефектов типа различных утяжек, раковин, шероховатости и т.д., однако при растяжении кольца обнаруживалось утонение в области, противоположной месту подхода разводящего литника к обводному каналу. Набухание в толуоле показало, что изделие не свободно от внутренних напряжений, хотя их величина, судя по искажению формы кольца, заметно меньше.

С целью выявления особенностей заполнения полости была сделана поэтапная заливка формы (рис. 2.5), которая показала, что заполнение большей части полости происходит в «регулярном» режиме, причем фронт потока в полости лишь немного отстает от фронта потока в обводном канале.



Рисунок 2.5 – Последовательность заполнения формы с кольцевой литниковой системой резиновой смесью

Таким образом, режим кругового заполнения в данном случае не достигается.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Полная ликвидация неоднородности структуры кольца может быть достигнута лишь при строго круговом режиме заполнения, которое обеспечивается переменным гидравлическим сопротивлением кольцевого щелевого канала. Это достигается либо изменением его высоты, либо – длины таким образом, чтобы скомпенсировать возникающий по длине обводного канала перепад давлений [75].

В такой постановке задача напоминает известную [76], где она возникает при расчете головок равного сопротивления экструзионных машин. В отличие от экструзионных головок пресс-формы (используются в массовом количестве, поэтому обычные методы профилировки щелевого канала неприменимы в силу их технологической сложности, приводящей к значительной трудоемкости при изготовлении пресс-форм. С целью выявления технологически простого в изготовлении профиля щелевого кольцевого канала, обеспечивающего достижение режима «струйного» заполнения полости пресс-формы расплавом термоэластопласта, выполним гидродинамический анализ процесса заполнения пресс-формы с кольцевой литниковой системой, следуя основным положениям работы [77].

## 2.2 Математическая модель процесса заполнения расплавом термоэластопласта полости формы с кольцевой литниковой системой

При описании процесса приняты следующие допущения:

1) жидкость несжимаема и имеет реологическое поведение, описываемое «степенным законом» в виде:

$$d\gamma / dt = \dot{\gamma} = \mu \tau^{n'}, \quad (2.1)$$

где  $\dot{\gamma}$  - скорость сдвига,  $c^{-1}$ ;  $\mu$  - коэффициент консистенции,  $(Pa^{1/n'} \cdot c)^{-1}$ ;  $\tau$  – касательное напряжение, Па;  $n'$  – индекс течения.

2) для простоты рассмотрения принимается схема течения, изображенная на рис. 2.6-2.7;

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

- 3) течение изотермическое;
- 4) входными эффектами можно пренебречь;
- 5) процесс протекает в режиме постоянного давления заполнения  $P_3 = const$ ;
- 6) длина кольцевого щелевого канала 3 такова, что расплав термоэластопласта не поступает в формующую полость 4 до момента стыковки потоков в обводном канале 2

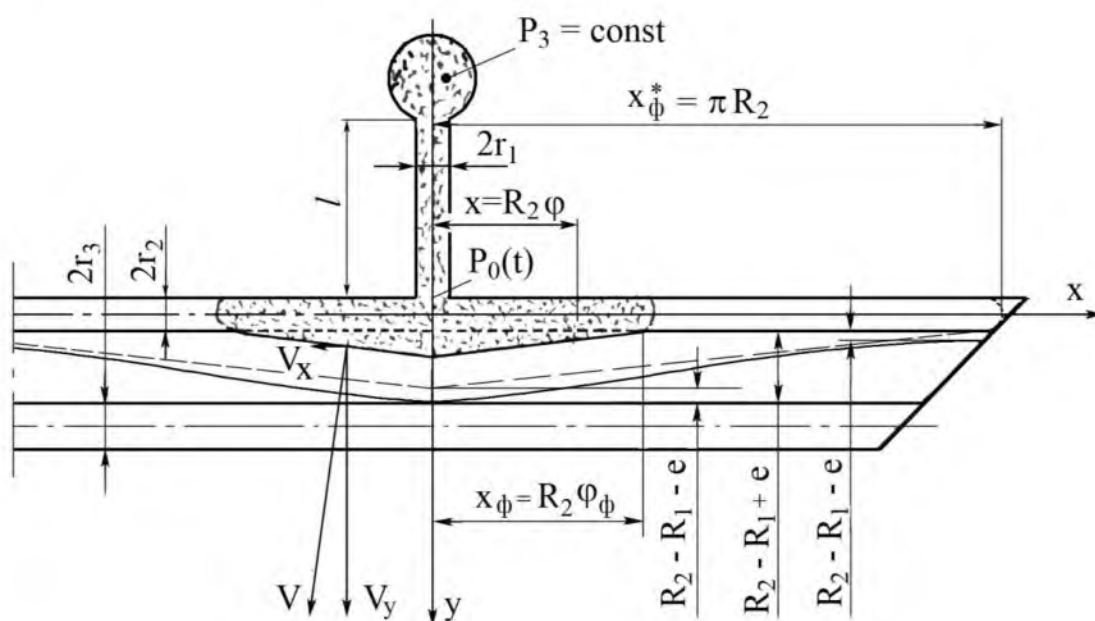
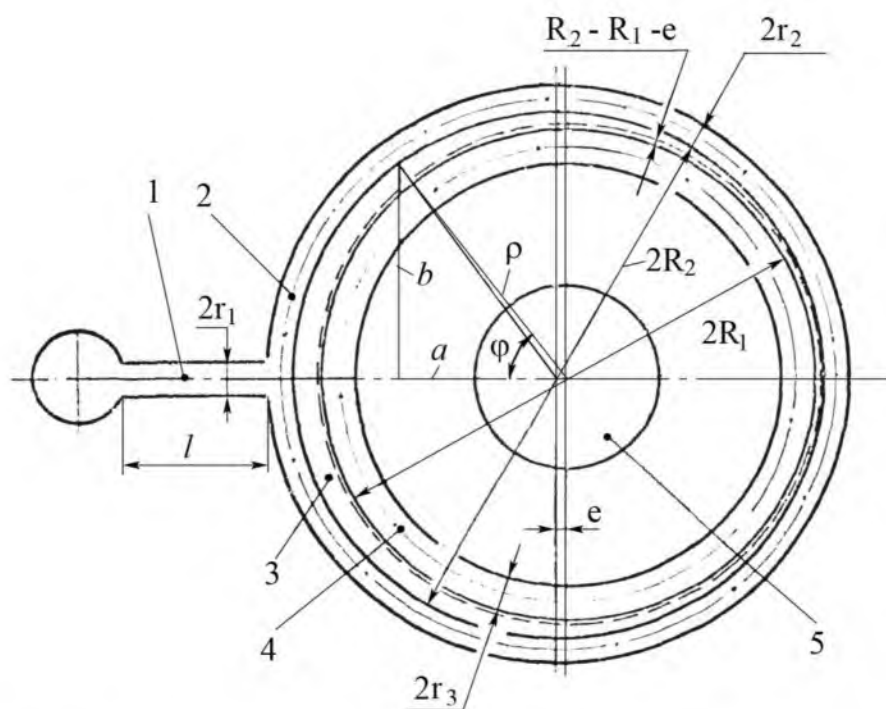


Рисунок 2.6 – Схема течения, моделирующая процесс заполнения полости формы с кольцевой литниковой системой





1 –разводящий литник; 2 – обводной канал; 3 – щелевой впускной канал; 4 – формующая полость; 5 – вентиляционный канал

Рисунок 2.7 – Сбалансированная кольцевая литниковая система:

### 2.2.1 Течение в обводном канале

Исходная система уравнений для жидкости в подводящем литнике запишется в виде:

$$\frac{\partial P}{\partial y} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{ry}) \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v_y}{\partial r} = \mu \tau_{ry}^{n'}$$

где  $\mu$ ,  $n'$  – реологические константы;  $P$  – давление жидкости;  $\tau_{ry}$  – напряжение сдвига;  $V_y$  – скорость течения.

Введем обычное допущение о прилипанию жидкости к твердым стенкам канала, граничные условия имеют вид:

$$V_y = 0 \text{ при } r = r_1;$$

$$\tau_{ry} = 0 \text{ при } r = 0;$$

$$P = P_3 \text{ при } y = -(l + r_2);$$

$$P = P_0 \text{ при } y = -r_2.$$

Расход через подводящий литник может быть записан, как

$$Q(t) = \frac{\pi r_1^{n'+3} \cdot \mu}{2^{n'}(n'+3)} \left| \frac{P_3 - P_0(t)}{l} \right|^{n'} \quad (2.3)$$

Исходная система уравнений для течения в обводном канале 2, если пренебречь расходом в направлении оси  $y$  в кольцевом щелевом канале:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rx})$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial r} = \mu \tau_{rx}^{n'} \quad (2.4)$$

Граничные условия:

$$V_x = 0 \quad \text{при } r = r_2; \quad \tau_{rx} = 0 \text{ при } r = 0;$$

$$P = P_0(t) \text{ при } x = 0; \quad P = 0 \text{ при } x = x_\phi.$$

Расход запишется в виде:

$$Q'(t) = \frac{\pi r_2^{n'+3} \cdot \mu}{2^{n'}(n'+3)} \left( \frac{dP}{dx} \right)^{n'} \quad (2.5)$$

В то же время для несжимаемой жидкости:

$$Q(t) = 2Q'(t) = 2\pi r_2^2 \bar{V}_x \quad (2.6)$$

где  $\bar{V}_x$  – среднерасходная скорость.

$$\bar{V}_x = \frac{r_2^{n'+1} \cdot \mu}{2^{n'}(n'+3)} \left( \frac{dP}{dx} \right)^{n'}$$

$$\int_x^{x_\phi} \left| \frac{2^{n'}(n'+3)\bar{V}_x}{r_2^{n'+1} \cdot \mu} \right|^{\frac{1}{n'}} \cdot dx = P(x, t).$$

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Окончательно

$$P(x, t) = \left| \frac{2^{n'}(n'+3)\bar{V}_x}{r_2^{n'+1, \mu}} \right|^{\frac{1}{n'}} (x_\phi - x), \quad (2.7)$$

Непосредственно за литником:

$$P_0(t) = \left| \frac{2^{n'}(n'+3)\bar{V}_x}{r_2^{n'+1, \mu}} \right|^{\frac{1}{n'}} x_\phi, \quad (2.8)$$

подставляя в (2.3) равенство (2.6), получим:

$$r_2^2 \bar{V}_x = \frac{r_1^{n'+3, \mu}}{2^{n'+1}(n'+3)} \left| \frac{P_3 - P_0(t)}{l} \right|^{n'}. \quad (2.3a)$$

Подставляя в (2.3a) равенство (2.8), имеем:

$$\left| l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + x_\phi} \right|^{n'} \bar{V}_x = \frac{\mu P_3^{n'} \cdot r_2^{n'+1}}{2^{n'}(n'+3)}, \quad (2.36)$$

так как

$$\bar{V}_x = dx_\phi/dt$$

$$\int_x^{x_\phi} \left( l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + x_\phi} \right)^{n'} \cdot dx_\phi = \frac{\mu P_3^{n'} \cdot r_2^{n'+1}}{2^{n'}(n'+3)} t_1,$$

где  $\beta = r_2/r_1$ .

Окончательно:

$$t_1 = \frac{2^{n'}(n'+3)}{r_2^{n'+1, \mu} P_3^{n'}(n'+1)} \left( l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + x_\phi} \right)^{n'+1} \quad (2.9)$$

$$t_1 = t_1^* \quad \text{при} \quad x = x_\phi^* = \pi R_2$$

Уравнение описывает течение в обводном канале до момента стыковки потоков в обводном канале в момент времени  $t_1 = t_1^*$ .

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

**2.2.2 Течение в кольцевом щелевом литнике высотой  $h$  до момента  $t_1 = t_1^*$**

Поскольку  $V_x \ll V_y$  исходная система уравнений запишется в виде:

$$\frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} = \frac{\partial P}{\partial y} \quad \frac{\partial V_y}{\partial z} = \mu \tau_{zy}^{n'} \quad (2.10)$$

Граничные условия:

$$V_y = 0 \text{ при } z = \pm h/2$$

$$\tau_{zy} = 0 \text{ при } z = 0$$

$$P = P(x, t) \text{ при } y = r_2$$

$$P = 0 \text{ при } y = y_\phi$$

Среднерасходная скорость течения в щели:

$$\bar{V}_y(x, t) = \frac{-h^{n'+1} \cdot \mu}{2^{n'+1}(n'+2)} \left( \frac{dP}{dy} \right)^{n'} \quad (2.11)$$

$$\int_{r_2}^y |\bar{V}_y(x, t)|^{\frac{1}{n'}} dy = \int_0^{P(x,t)} \left| \frac{h^{n'+1} \cdot \mu}{2^{n'+1}(n'+2)} \right|^{\frac{1}{n'}} \cdot dP$$

$$[\bar{V}_y(x, t)]^{\frac{1}{n'}} (y - r_2) = \left| \frac{h^{n'+1} \cdot \mu}{2^{n'+1}(n'+2)} \right|^{\frac{1}{n'}} \cdot P(x, t) \quad (2.11a)$$

Подставим в уравнение (2.7) равенство (2.3б)

$$P(x, t) = \frac{P_3(x_\phi - x)}{l \cdot \sqrt[n']{2\beta^{n'+3} + x_\phi}} \quad (2.12)$$

Подставим (2.12) в уравнение (2.11a):

$$\bar{V}_y(x, t)(y - r_2)^{n'} = \frac{h^{n'+1} \cdot \mu}{2^{n'+1}(n'+2)} \left( \frac{x_\phi - x}{l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + x_\phi}} \right)^{n'} P_3^{n'}$$

Так как

$$\bar{V}_y(x, t) = \frac{dy_\phi}{dt}$$

получим, что:

$$\int (y - r_2)^{n'} dy = \frac{h^{n'+1} \cdot \mu}{2^{n'+1}(n'+2)} P_3^{n'} \int \left( \frac{x_\phi - x}{l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + x_\phi}} \right)^{n'} \cdot dt.$$

Из уравнения (2.9)

$$dt = \frac{2^{n'}(n'+3)}{r_2^{n'+1} \cdot \mu \cdot P_3^{n'}} \left( l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + x_\phi} \right)^{n'} \cdot dx_\phi$$

подставляя, получим после интегрирования:

$$(y - r_2)^{n'+1} = \left( \frac{h}{r_2} \right)^{n'+1} \frac{n'+3}{2(n'+2)} (x_\phi - x)^{n'+1} + c.$$

Ввиду отсутствия данных примем, что при  $x_\phi = 0$ ,  $x = 0$ ,  $y = r_2$ , отсюда  $c=0$ .

$$y = \frac{h}{r_2} \left[ \frac{n'+3}{2(n'+2)} \right]^{\frac{1}{n'+1}} (x_\phi - x) + r_2.$$

Так как

$$x_\phi = R_2 \varphi_\phi, x = R_2 \varphi$$

окончательно имеем

$$y = \frac{h}{r_2} \left[ \frac{n'+3}{2(n'+2)} \right]^{\frac{1}{n'+1}} \cdot R_2 (\varphi_\phi - \varphi) + r_2$$

Фронт потока в кольцевом щелевом литнике описывается выражением:

$$\Delta y(\varphi, t) = y(\varphi, t) - r_2$$

$$\Delta y(\varphi, t) = \frac{hR_2}{r_2} \left[ \frac{n'+3}{2(n'+2)} \right]^{\frac{1}{n'+1}} (\varphi_\phi - \varphi) \quad (2.13)$$

Уравнение является верным при

$$0 \leq \varphi_\phi \leq \pi$$

После заполнения обводного канала по длине его создается перепад давлений. Величина его может быть выражена как

$$\Delta P(x) = P(x, t)|_{x=0, t=t_1^*} - P(x, t)|_{x=R_2\varphi, t=t_1^*},$$

где  $t_1^*$  соответствует моменту стыковки потоков в обводном канале. Из уравнения (2.12) получаем

$$\Delta P(\varphi) = \frac{R_2 \varphi P_3}{l \cdot \sqrt[2]{2\beta^{n'+3} + \pi R_2}}. \quad (2.14)$$

Для обеспечения равномерного кругового заполнения оформляющей полости из обводного канала этот перепад должен быть скомпенсирован переменным гидравлическим сопротивлением кольцевого щелевого впуска в полость. На рис. 2.7 пунктирной линией показан фронт потока в щелевом концевом канале после стыковки потоков. При компенсации перепада давлений в обводном канале за счет изменения длины щелевого канала профиль щелевого впуска должен совпадать с этой линией, то есть определяется уравнением (2.13) при  $\varphi_\phi = \pi$ .

### 2.3 Гидродинамический анализ литьевого формования уплотнительных колец при струйном заполнении формующей полости

Литьевые пресс-формы принадлежат к массовым изделиям, и профилировка кольцевого щелевого канала в соответствии с уравнением (2.13) привела

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

бы существенному увеличению стоимости пресс-форм с таким типом литниковой системы. поэтому возникает задача выявления такого профиля, который обеспечивал бы режим «струйного» заполнения полости и, в то же время, был бы достаточно прост для изготовления на обычном оборудовании, применяемом для изготовления пресс-форм в условиях массового производства.

Технологически просто выполнить обводной канал со смещением в направлении разводящего литника относительно формирующей полости, за счет чего может быть достигнута приближенная компенсация разности давлений в обводном канале.

Из рис. 2.7 следует, что

$$(a - e)^2 + b^2 = R_2^2$$

$$\rho^2 \sin^2 \varphi + \rho^2 \cos^2 \varphi - 2\rho e \cos \varphi + e^2 = R_2^2$$

$$\rho^2 - 2\rho e \cos \varphi + e^2 - R_2^2 = 0$$

$$\rho = e \cos \varphi \pm \sqrt{e^2 \cos^2 \varphi - e^2 + R_2^2}$$

$$\rho = e \cos \varphi \pm \sqrt{R_2^2 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

Знак +/- отбрасываем в виду того, что полярный радиус  $\rho > 0$ . Так как величина  $e^2 \sin^2 \varphi \ll R_2^2$ , ею можно пренебречь.

$$\rho = R_2 + e \cdot \cos \varphi \quad (2.15)$$

Длина щелевого впуска выражается, таким образом, в виде

$$\Delta\rho = R_2 - R_1 + e \cdot \cos \varphi \quad (2.16)$$

При  $\varphi_\phi = \pi$  получаем из выражения (2.13) закон изменения фронта потока в щелевом литнике после стыковки. В результате имеем следующую систему уравнений:

$$\Delta y^*(\varphi) = \frac{hR_2}{r_2} \left[ \frac{n'+3}{2(n'+2)} \right]^{\frac{1}{n'+1}} (\pi - \varphi) \quad (2.13a)$$

									Лист
									63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	МД-02069964-35.04.06-04-20				

$$\Delta\rho = R_2 - R_1 + e \cdot \cos \varphi \quad (2.16)$$

При конструировании литниковой системы, приравнивая

$$\Delta y^*(\varphi)\Big|_{\varphi=0} = \Delta\rho\Big|_{\varphi=0} - \Delta\rho\Big|_{\varphi=\pi}$$

находим геометрические размеры литниковой системы, при которых обеспечивается режим заполнения близкий к круговому. При этом величина необходимого смещения обводного канала, может быть вычислена по формуле:

$$e = 0,5\pi h(R_2 / r_2) \left[ (n'+3) / (2(n'+3)) \right]^{1/(n'+1)} \quad (2.17)$$

На рис. 2.6 тонкой линией показан профиль щелевого кольцевого литника. Таким образом, при такой балансировке литниковой системы фактически производим замену необходимого линейного профиля длины щелевого впуска на нелинейный, описываемый тригонометрической функцией (2.16).

Интересно то, что необходимая величина смещения обводного канала  $e$ , как это вытекает из уравнения (2.17), не зависит от коэффициента  $\mu$ , а следовательно и от температуры расплава полимерной композиции.

При дальнейшем течении полимера в кольцевой щели, сбалансированной вышеприведенным образом, имеет место сужение потока на длине  $\Delta\rho - \Delta y^*(\varphi)$ . Ввиду большой ширины и малой длины щелевого впуска (рис. 2.7) приближенно можно считать, что вышеприведенная разность не меняется по ширине щелевого впуска и равна  $(R_2 - R_1 - e)$ . Считая также, что величина сужения мала и линии тока параллельны друг другу, с помощью уравнения (2.11) можно получить для расхода через кольцевую щель выражение:

$$Q = \frac{\pi h^{n'+2} \cdot \mu}{2^{n'} (n'+2)} \rho' \left( \frac{dP}{d\rho'} \right)^{n'} \quad (2.18)$$

где  $\rho'$  – координата фронта потока в кольцевом щелевом канале в полярной системе координат (рис. 2.7).

Интегрируя уравнение (2.18), получаем:

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64





следующими размерами:  $R_1 = 16$  мм;  $R_2 = 16,6$  мм;  $r_1 = 1,5$  мм;  $r_2 = 1,1$  мм;  $r_3 = 1,75$  мм;  $l = 30$  мм;  $e = 0,5$  мм.

Круговое заполнение полости достигнуто для смеси В-14 при высоте кольцевого щелевого впуска 3 (рис. 2.7)  $h = 0,025$  мм, температуре формы –  $170$  °С, температуре композиции –  $70$  °С, давлении заполнения  $P_3 = 60$  МПа.

На рис. 2.8 приведены полученные отливки по стадиям заполнения полости литевой формы, из которых следует, что заполнение происходит действительно в «струйном» режиме.



время (с) от начала процесса (слева направо): 1, 3, 4, 6, 7

Рисунок 2.8 – Стадии заполнения полости формы со сбалансированной литниковой системой

Результаты качественного анализа указывают на то, что процесс заполнения полости можно разделить на 3 стадии:

1) течение полимера в подводящем литнике, обводном канале и, одновременно, в кольцевом щелевом канале; процесс нестационарный с переменным расходом;

2) заполнение полости в «струйном» режиме, процесс достаточно близок к стационарному с постоянным расходом;

3) уплотнение смеси в полости и рост давления; в общем балансе времени, эта стадия, как это видно на рисунке, занимает незначительную часть.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

Подставляя в (2.17) вышеприведенные размеры литниковой системы экспериментальной пресс-формы получаем для  $n' = 3,57$ , что теоретическое значение смещения, обеспечивающее достижение режима кругового заполнения, составляет 0,52. Таким образом, отклонение теоретического значения от экспериментального не превышает 5 %.

По формуле (2.21) было подсчитано значение объемного расхода композиции для вышеуказанных параметров пресс-формы, процесса формования и реологических констант, которое составило  $0,132 \text{ см}^3/\text{с}$ .

#### **2.4 Разработка технологического процесса и эскиза пресс-формы для изготовления уплотнительного кольца из термоэластопласта для коллектора поршневого доильного аппарата «Буренка»**

Вышеприведенные результаты могут быть использованы для разработки технологического процесса литьевого формования таких массовых изделий, как уплотнительные кольца и прокладки круглого и прямоугольного сечений к доильным установкам различного типа. Ассортимент таких деталей в них достигает несколько десятков наименований. В настоящее время они производятся из дорогостоящих силиконовых эластомеров и пищевых резин, утилизация которых после истечения ресурса эксплуатации представляет большие проблемы [78].

Использование термоэластопластов (ТЭП) для этих целей, как отмечено в разделе 1 диссертации, является экономически оправданным в связи с высокой технологичностью процессов формования и возможностью использования образующихся отходов по прямому назначению.

Разработаем в качестве примера использования вышеприведенных теоретических соотношений технологический процесс производства из термоэластопласта марки *Enflex V-900* фирмы «*Ravago Petrocimyа*» уплотнительного кольца

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

круглого сечения 23×13 для коллектора поршневого доильного аппарата «Бу-ренка» методом литья под давлением на термопластавтомате *Babyplast 6/10V* (Италия), представленном на рис.2.9.

Технические характеристики машины: диаметр поршня – 18 мм; объём впрыска – до 15 см<sup>3</sup>; давление литья – до 80 МПа; усилие запирания формы – 6250 кг; усилие раскрытия – 400 кг; ход подвижной плиты – 30... 110 мм; усилие выталкивания – 920 кг; ход выталкивания – 25 мм; давление в гидросистеме – до 130 кг/см<sup>2</sup>.



а



б

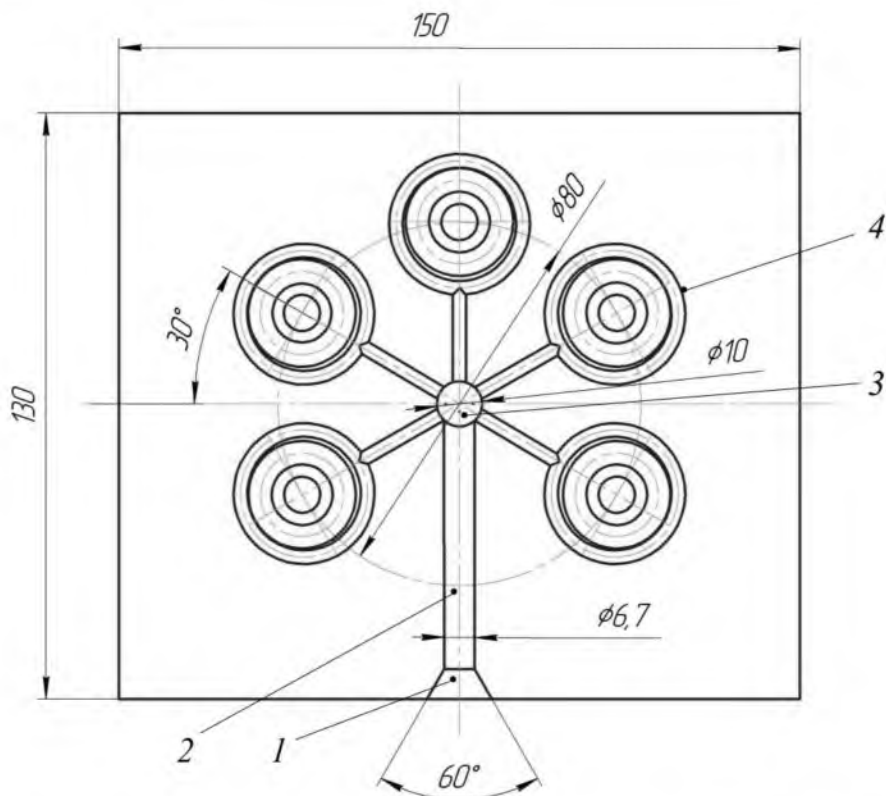
Рисунок 2.9 – Внешний вид термопластавтомата *Babyplast 6/10V* (а) и пресс-формы с полученной отливкой стандартного образца для физико-механических испытаний (б)

Полученные значения физико-механических и реологических характеристики указанного термоэластопласта приведены в разделах 4.2, 4.3 диссертации.

В соответствии с полученными термомеханическими характеристиками термоэластопласта *Enflex V-900* (рис. 4.5) температура пластикатора была принята равной 195°С; температура инжекционного цилиндра – 215 °С.

На рис. 2.10 представлена эскизная компоновка нижней плиты 5-гнездовой литьевой пресс-формы со струйным заполнением формирующей полости, разработанная согласно теоретических результатов, полученных в разделах 2.2 -2.3.

В верхней плите пресс-формы выполнены с целью экономии полимера только формирующие полости.



1 – конический канал; 2 – центральный литниковый канал; 3 – коллектор (разводящий канал); 4 – формирующее гнездо

Рисунок 2.10 – Компоновка формирующих гнезд и базовые размеры пресс-формы к литьевому термопластавтомату Babyplast 6/10VP для изготовления уплотнительного кольца 23×13 коллектора доильного автомата «Буренка»:

При литьевом формовании уплотнительных колец (после включения машины на цикл формования) пресс-форма смыкается, инжекционная каретка подается вперед и сопло инжекционного цилиндра вводится в конический канал 1 литниковой системы. Расплав полимера через центральный литниковый канал 2 подается в коллектор 3, из которого разводится по формирующим гнездам 4. После заполнения формирующей полости инжекционная каретка отходит назад, а в каналы нижней плиты машины подается охлаждающая вода. После охлаждения до

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

50...60 °С (1...2 мин) пресс-форма автоматически раскрывается, включается выталкиватель машины, отпрессовка вручную удаляется с поверхности нижней плиты и цикл повторяется после нажатия двух боковых кнопок.

На рис. 2.11 представлена конструкция и базовые размеры формующего гнезда пресс-формы, рассчитанные с учетом термической усадки расплава после охлаждения, которая принята согласно коэффициенту термического расширения полимера для диапазона температур 50 – 230 °С, равной 3 % [79].

Доза впрыска расплава была рассчитана, исходя из размеров литниковой системы:

– объем центрального литникового канала 2 (рис. 2.10)

$$V_{\text{цлк}} = 0,25\pi \cdot 6,7^2 \cdot 60 = 2114 \text{ мм}^3;$$

– объем коллектора 3 (рис. 2.10)

$$V_{\text{к}} = 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 7 = 550 \text{ мм}^3;$$

– суммарный объем подводящих литников 5 (рис. 2.11)

$$V_{\text{пл}} = 0,125 \cdot \pi \cdot 3^2 \cdot 19 \cdot 5 = 336 \text{ мм}^3;$$

– суммарный объем обводных каналов 1 (рис. 2.11):

$$V_{\text{ок}} = 0,125 \cdot \pi \cdot 3^2 \cdot (\pi \cdot 28) \cdot 5 = 1553 \text{ мм}^3;$$

– суммарный объем формующих полостей 3 (рис. 2.11):

$$V_{\text{ок}} = 0,25 \cdot \pi \cdot 5,35^2 \cdot (\pi \cdot 18,35) \cdot 5 = 6473 \text{ мм}^3;$$

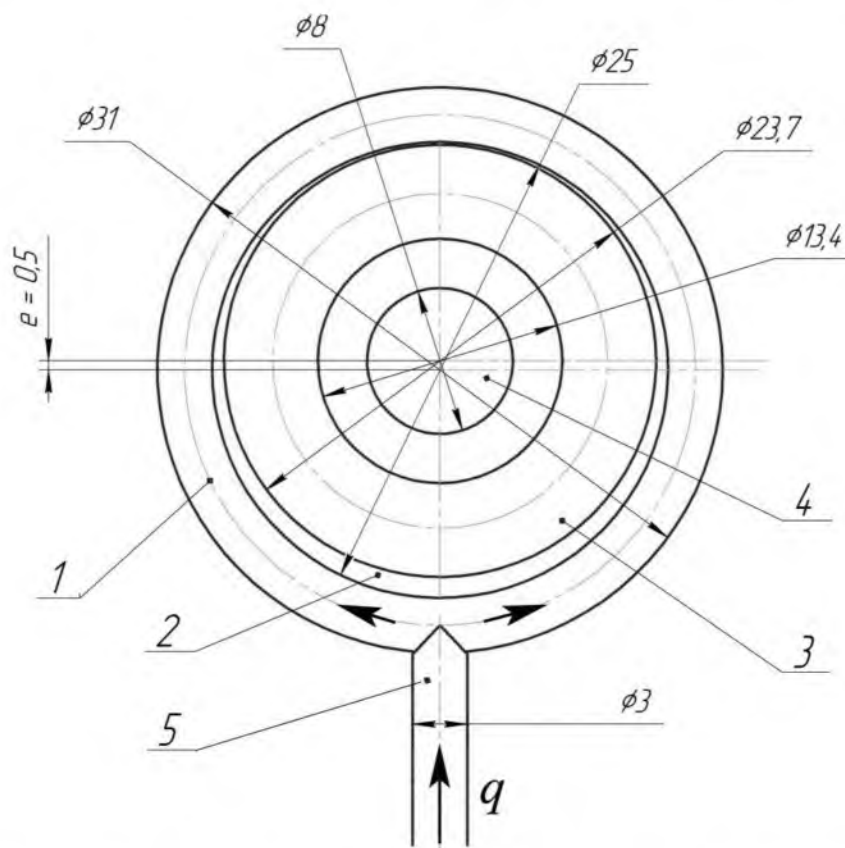
Итого, суммарный объем дозы впрыска:

$$V_{\text{д}} = 1,04 \cdot (2114 + 550 + 336 + 1553 + 6473) \cong 11500 \text{ мм}^3 = 11,5 \text{ см}^3, \quad (2.22)$$

где коэффициент 1,04 – поправка, учитывающая вероятность истечения расплава в вентиляционный канал.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Рассчитаем по формуле (2.17) необходимую величину смещения обводного канала, предварительно определив значение индекса течения  $n'$ .



1 – обводной канал (коллектор); 2 – щелевой впускной канал; 3 – формирующая полость; 4 – вентиляционный канал; 5 – подводящий литниковый канал

Рисунок 2.11 – Базовые размеры элементов формирующего гнезда, обеспечивающие струйное заполнение формирующей полости:

В разделе 4.2 было установлено, что реологические свойства термоэластопласта *Enflex V-900* описываются степенным законом в форме

$$\tau = k\dot{\gamma}^n, \quad (2.23)$$

где  $k$  – коэффициент консистенции, Па·с <sup>$n$</sup> ;  $n$  – индекс течения;  $\dot{\gamma} = d\gamma / dt$  – скорость сдвига, с<sup>-1</sup>;  $\tau$  – касательное напряжение, Па.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

Величина индекса течения  $n$  при температуре  $215^{\circ}\text{C}$  равна  $0,242$ , а коэффициенту консистенции  $k$  этой же температуре –  $1780\text{Па}\cdot\text{с}^n=1,78\cdot 10^{-3}\text{МПа}\cdot\text{с}^n$  (рис. 4.6-4.8)

Сравнивая формулу (2.23) с формулой (2.1), получаем, что:  $n' = 1/n$ ,  
 $\mu = k^{-n'} (\text{Па}\cdot\text{с}^n)^{-1/n} = \text{Па}^{-n'}\text{с}^{-1}$ .

Тогда значения реологических констант для температуры литья  $215^{\circ}\text{C}$  составят:  $n' = 4,13$ ;  $\mu = 2,27\cdot 10^{11}\text{МПа}^{-n'}\text{с}^{-1}$ .

Величина  $e$  необходимого смещения обводного канала для литьевой пресс-формы по рис. 2.10 и 2.11 при глубине шелевого впускного канала 2, равном  $0,03\text{ мм}$ , составит, исходя из формулы (2.17) –  $0,5\text{ мм}$ .

Рассчитаем объемную скорость заполнения формующих полостей при различных значениях давления впрыска  $P_3$ .

По уравнению расхода (2.21) с учетом вычисленных выше реологических констант  $\mu$  и  $n'$  и размеров каналов формующих гнезд пресс-формы (сопротивлением центрального литникового канала 2 пренебрегаем) объемная скорость расплава при заполнении 5 гнезд будет равна:

$$Q = 5 \frac{\pi \cdot \mu}{2^{n'}} \cdot P_3^{n'} \cdot \left\{ \left( \frac{n'+2}{h^{n'+2}} \right)^{\frac{1}{n'}} \frac{n'}{n'-1} \left| (R_2 - e)^{\frac{n'-1}{n'}} - R_1^{\frac{n'-1}{n'}} \right| + \right. \quad (2.24)$$

$$\left. + \left( \frac{n'+3}{r_1^{n'+3}} \right)^{\frac{1}{n'}} l + \left( \frac{n'+3}{2r_2^{n'+3}} \right)^{\frac{1}{n'}} \cdot \pi R_2 \right\}^{-n'}$$

Геометрические размеры:  $h = 3\cdot 10^{-5}\text{ м}$ ;  $R_2 = 12,5\cdot 10^{-3}\text{ м}$ ;  $e = 5\cdot 10^{-4}\text{ м}$ ;  $R_1 = 11,85\cdot 10^{-3}\text{ м}$ ;  $l = 19\cdot 10^{-3}\text{ м}$ ;  $r_{1\phi} = 1,07\cdot 10^{-3}\text{ м}$ ;  $r_{2\phi} = 1,07\cdot 10^{-3}\text{ м}$ .

Примечание. Радиусы каналов  $r_2$  и  $r_1$  рассчитаны, как эквивалентные  $r_{\phi}$ , ввиду того, что они выполнены только в нижней полуформе.

По уравнению 2.21 была рассчитана объемная скорость заполнения литьевой пресс-формы по рис. 2.10.



На рис. 2.12 приведена зависимость объемной скорости  $Q$  и длительности  $t_b$  заполнения полостей пресс-формы от давления  $P_3$  впрыска литьевой машины *Babyplast 6/10V* при температуре расплава *Enflex V-900*, равном 215 °С.

Длительность заполнения пресс-формы рассчитывалась по формуле:

$$t_1 = V_d / Q, \quad (2.25)$$

где  $V_d$  – объем дозы впрыска, определяемый выражением (2.22).

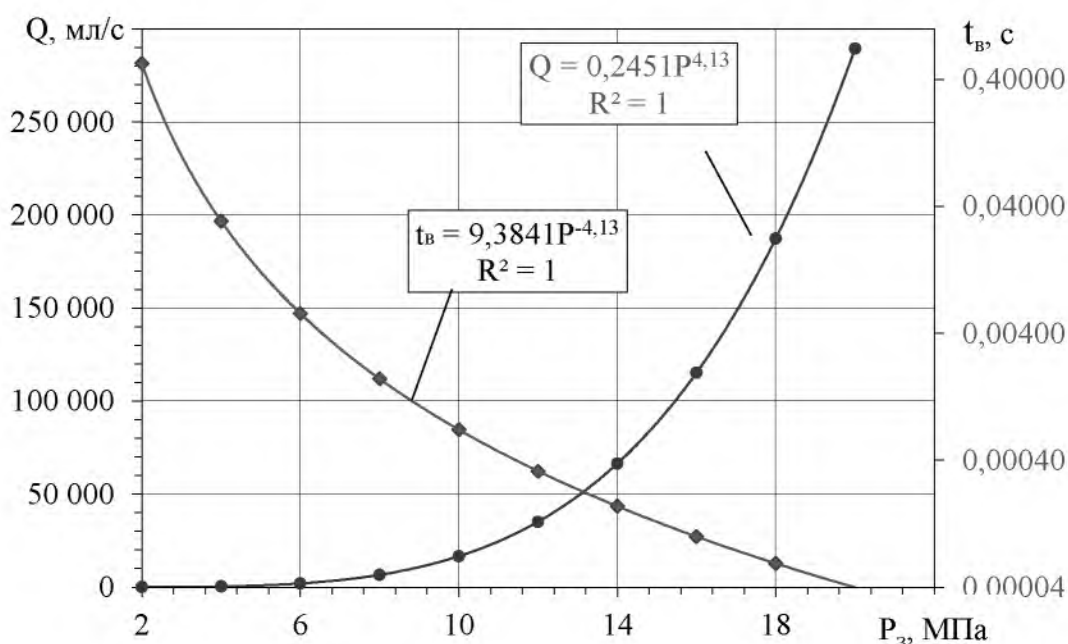


Рисунок 2.12 – Зависимость объемной скорости  $Q$  и длительности  $t_b$  заполнения полостей пресс-формы от давления впрыска  $P_3$

Из графика следует, что при давлении впрыска 20 МПа, длительность заполнения пресс-формы не превышает  $4 \cdot 10^{-5}$  с.

Исходя из давления впрыска 20 МПа, назначим длительности стадий литьевого формования уплотнительных колец в соответствии с паспортными характеристиками литьевой машины.

Общая длительность цикла литья складывается из следующих стадий:

- 1) пластикация дозы впрыска –  $t_{п} = 5$  с;
- 2) смыкание пресс-формы  $t_c = 5$  с;

- 3) движение инжекционного цилиндра к пресс-форме  $t_{ц} = 5$  с;
- 4) впрыск дозы полимера в пресс-форму  $t_{в} = 5$  с;
- 5) отход инжекционного цилиндра от пресс-формы  $t_{ц} = 5$  с;
- 6) охлаждение пресс-формы с отливкой  $t_{ох.} = 50$  с;
- 7) ручная выемка отливок и очистка пресс-формы  $t_{в} = 50$  с.

Итого в сумме длительность цикла составляет  $\sim 2$  мин.

Таким образом производительность литьевого формования уплотнительных колец составит для разработанного техпроцесса 150 шт/ч., или 1200 шт./смену.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

### 3 Методики экспериментальных и теоретических исследований

#### 3.1 Методика компаундирования компонентов композиционных материалов на лабораторном смесителе периодического действия

##### *PolyLabRheomix 600 OS*

Компаундирование (смешение) компонентов – это сложный физико-химический процесс, протекающий в высоковязкой полимерной матрице под действием деформаций сдвига, сопровождающийся, как правило, интенсивным тепловыделением из-за диссипации механической энергии. Как известно [80], компаундирование включает две составляющие – диспергирующее и распределительное (простое) смешение. Диспергирующее смешение – это разрушение агломератов и частиц наполнителя и интенсивное распределение их в полимерной матрице. Эффект диспергирующего смешения тем более выражен, чем ниже вязкость расплава полимера, зависящая от его природы и температуры процесса. Распределительное смешение осуществляется для достижения равномерного пространственного распределения наполнителя по всему массиву полимерной матрицы. Однородность распределения в данном случае повышается с ростом температуры и времени компаундирования.

Основной целью данного исследования было получение модельных образцов антифрикционных композиционных материалов на основе полиамида 6 путем компаундирования компонентов на двухроторном лабораторном смесителе и оценка их технологичности по получаемой информации (крутящий момент на роторах и температура композиции), выводимой на компьютер в течение времени смешения.

#### **Описание смесителя.**

Электрообогреваемый лабораторный смеситель *PolyLabRheomix 600 OS* (рис. 3.1) предназначен для компаундирования, смешения и тестирования полимеров, эластомеров, керамики и других материалов.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



а



б



в

Рисунок 3.1 – Общий вид смесителя *HAAKE PolyLab Rheomix 600 OS* (а), камеры смешения с роторами (б) и имеющегося набора роторов (в)

Смеситель снабжен камерой смешения из трех секций с отдельным температурным контролем (передняя панель, центральная камера и задняя панель). Имеет простую смену роторов, систему безопасности для чистки двумя руками. Сменные втулки для разных температур и применений. Управление по шине CANopen.

**Технические характеристики:**

объем камеры – 120 см<sup>3</sup>; материал – нержавеющая сталь 1.4301; максимальный крутящий момент – 160 Nm; защита от перегрузки – электрическая; максимальная скорость – 250 min<sup>-1</sup>; соотношение скоростей роторов – 3:2; максимальная температура – 400 °C; число зон – 3 (нагрев / охлаждение); охлаждение – 1 магнитный вентиль (сжатый воздух).

**Комплектность:**

- комплекты роторов *Cam, Sigma, Banbury, Roller* для *Rheomix 600/610*;
- подающе-запорное устройство;

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

- компрессор с ресивером 50 л (250 л\мин, 8 бар, мотор 1500 Вт, 230 В);
- охлаждающий циркуляционный термостат-баня АС 200-А40 (-40 .. +200°С; всасывание и нагнетание - 20 л/мин и 474 мбар (330 мбар всасывание);
- программное обеспечение *PolySoft OS MixerTestandDataEvaluationforWindows* для проведения тестов и обработки результатов измерения на смесителе;
- принадлежности (загрузочная направляющая, 3 управляющих термопары, 1 термопара пробы, комплект инструментов).

В рамках настоящей работы получены и исследованы следующие составы: состав 1 – 0,5 г шунгита + 49,5 г ТЭП *Enflex V-900*; состав 2 – 2,50 г аэросила+ 47,5 г ТЭП *V-900*; состав 3 – 0,075 г УНТ «*Tuballmatrixbeta*» + 49,925 г ТЭП *Enflex V-900*.

При получении композиций были приняты с учетом имеющегося опыта следующие режимы компаундирования компонентов:

Таблица 1 – Режимы компаундирования композиций

Составы	Время, мин	Температура, °С
Состав 1	9	135,6
Состав 2	10	135,6
Состав 3	7	135,6

Смешение компонентов производили в лабораторном смесителе *НААКЕ-PolyLabRheomix600 OS* с роторами *Roller* (рис. 2.6) при  $T = 150$  °С. Операция смешения проходила в два этапа: I этап – плавление смеси полимеров (30 об/мин, 5 мин.); II этап – ввод наполнителя (50 об/мин, 10 мин.); III этап – компаундирование с ростом температуры расплава и крутящего момента (50 об/мин, до достижения постоянных значений последних).

На рис. 3.2 представлен типичный вид диаграмм нагружения расплавов композиций при компаундировании смесей согласно табл. 1

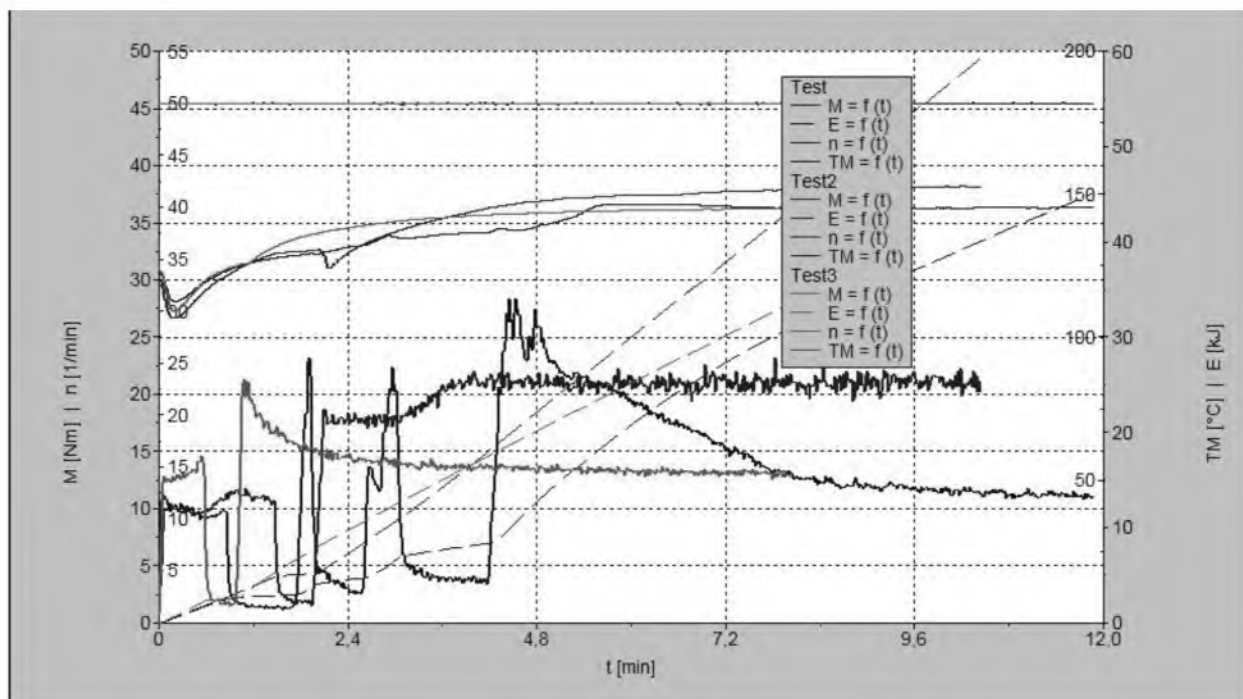


Рисунок 3.2 – Типичный вид диаграмм нагружения расплавов ТЭП марки TPV (Enflex V-900) при компаундирования композиций на лабораторном смесителе Rheomix 600 OS

Полученный компаунд выгружался в лоток и охлаждался до комнатной температуры. После этого методом горячего прессования на прессе Gibitre (см. рис. 2.8) при температуре 240 °С и усилии пресса 100 кН изготавливались пластины размером 200×200×1,1 мм, из которых вырубались стандартные образцы (пластины размером 150×15×1,1 мм и диски диаметром 20 мм) для физико-механических и реологических испытаний композитов.

### 3.2 Методика компрессионного формования пластин из термоэластопластов для физико-механических и реологических испытаний на лабораторном прессе GT-7014-H50C

Целью экспериментальных исследований были настройка и отработка режимов производства тонкостенных пластин из термопластичных композиционных материалов методом компрессионного формования на лабораторном гидравлическом прессе.

Внешний вид пресса и пресс-формы представлен на рис. 3.3-3.4.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78



Рисунок 3.3 – Внешний вид лабораторного гидравлического пресса фирмы «Gibitre» (Италия), снабженного системами нагрева и охлаждения плит

**Назначение:** горячее формование порошка, гранулята в изделия.

**Технические характеристики:**

диаметр колонн рамы – 60 мм; максимальное усилие – 20 т; плиты – изолированные хромированные стальные 250x250 мм; нагрев плит – электрический; контроль температуры плит с разрешением 1 °С; диапазон температурного регулирования – 20...250 °С; охлаждение плит – встроенное водяное; максимальный ход нижней плиты – 200 мм; автоматическое управление прессом – на основе PLC-контроллера с сенсорным дисплеем; возможности программирования автоматизированных производственных циклов; цифровая система регулировки давления; возможность использования стационарных и съемных пресс-форм; наличие системы выдвижения пресс-форм; рабочая зона пресса защищена экраном для снижения теплопотерь и обеспечения безопасности персонала; габариты – (ШxДxВ) 1100x550x1650 мм; вес – 520 кг.

Технологический процесс компрессионного формования пластин включал следующие стадии: взвешивание компаунда или гранулята композитов; нагрев пресс-формы до температуры 230 °С; закладка гранулята в полость пресс-формы и смыкание пресса; плавление гранулята при усилении 5 кН в течение 6 мин; формование пластины при усилении 100 кН в течение 5 мин; охлаждение пресс-формы до 50 °С проточной водой, подаваемой в каналы нагревательных плит, при усилении пресса 100 кН; размыкание пресса и пресс-формы, выемка изделия и удаление облоя.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

### 3.3 Методики исследования технологических и эксплуатационных характеристик композиций термоэластопластов

Для получения пластин был использован пресс фирмы *GibitreGT-7014-H50C* (рис. 3.4). Назначение пресса: горячее формование исходного сырья (порошка, гранулята) в пленки и пластины.

Для испытаний на растяжение (ГОСТ 11262-80) использовались образцы размером  $150 \times 20 \times 1,1$  мм, вырубленные штанцем из формованных пластин  $200 \times 200 \times 1,1$  мм, массой 50, 40 и 30 грамм гранул ТЭП марки TPV (*Enflex V-900*) и композитов на его основе.

Было установлено, что навески массой 30 грамм обеспечивают лучшее качество пластин из-за отсутствия блокировки воздуха в их массиве.

Образцы имели гладкую ровную поверхность, без сколов, трещин, раковин и других видимых дефектов. Образцы согласно требованиям ГОСТ 12423-66 кондиционировались в течение 24 часов при температуре  $23 \pm 2$  °C и относительной влажности  $50 \pm 5$  %. Испытание образцов на растяжение проводили на разрывной машине *UAI-7000 M* (см. рис. 3.5-3.7) при температуре  $23 \pm 2$  °C и скорости движения зажимов 10 мм/мин.

Клиновидные захваты *UMB1T* машины *UAI-7000 M* обеспечивали надежное крепление образцов и совпадение продольной оси образца с направлением растяжения (рис. 3.5 – 3.6). Перед испытанием толщину и ширину образцов из-

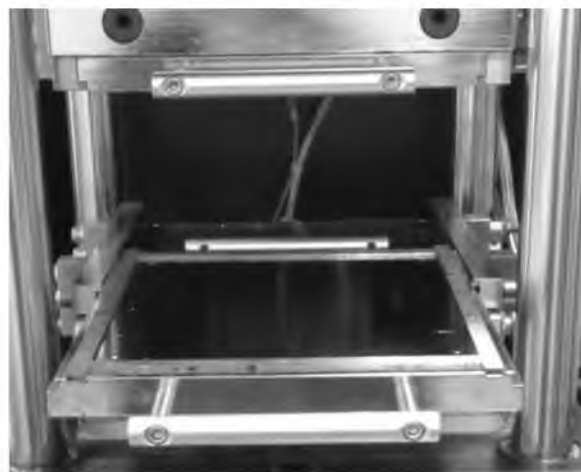


Рисунок 3.4 – Смонтированной на прессе двухплитной пресс-формы для формования тонкостенных ( $200 \times 200 \times 1,1$  мм) пластин



меряли в трех местах (в середине и на расстоянии 5 мм от крайних меток), находили средние арифметические значения, по которым вычисляли значение площади поперечного сечения  $A_0$ . Образцы закрепляли в испытательной машине с равномерной затяжкой захватов для исключения их проскальзывания при испытаниях, не допуская при этом разрушения образцов в местах закрепления.

### 3.3.1 Методика исследования упруго-прочностных характеристик композиций термоэластопластов на испытательной машине UAI-7000



Рисунок 3.5 – Внешний вид испытательной машины UAI-7000 М с термокамерой и компьютерным управлением

**Назначение:** испытания на растяжение, сжатие, сдвиг, релаксацию напряжений, ползучесть, прочность на разрыв образцов эластомеров, реактопластов, термопластов и композиционных материалов в широком диапазоне температур и скоростей и времени нагружения.

#### Технические характеристики:

- максимальное усилие – 2000 кг;
- точность фиксации нагрузки –  $\pm 0,25\%$ ;
- скорость нагружения – 0,001...1000 мм/мин;
- точность измерения скорости –  $\pm 0,5\%$ ;
- разрешение перемещения – 0,0001 мм;
- температурный диапазон испытания –  $-60...+250\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- точность поддержания температуры –  $\pm 2^\circ\text{C}$ ;
- разрешение по нагрузке – 1/200000;
- ход без захватов – 1100 мм;
- точность по скорости –  $\pm 0,5\%$ ;
- разрешение по ходу –  $\pm 0,5\%$ ;
- эффективная ширина – 410 мм;

Программное обеспечение. Универсальная программа измерений U60 (под Windows) позволяет проводить и сохранять в памяти неограниченное количество испытаний, установку методов испытаний, выполнение испытания, анализ результатов, распечатку протоколов испытаний.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Включает: пакет методов, подготовленных в соответствии с основными международными стандартами для выполнения растяжения, сжатия, изгиба, циклических испытаний различных полимерных материалов»; создание собственного метода испытаний; автоматическую запись результатов испытаний на твердый диск с возможностью их нового обсчета и печати сертификата.

В рамках настоящих исследований расчет значений вели по пяти образцам. Образцы, которые в процессе испытания разрушались за пределами рабочей части, или у которых в процессе испытания были обнаружены дефекты (пузыри, включения, внутренние трещины и т.п.), в расчет не принимались.

Значения предела прочности (МПа) вычисляли по формуле:

$$\sigma = F_{\max} / A_0 , \quad (3.1)$$

где  $F_{\max}$  – максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н;  $A_0$  – начальное поперечное сечение образца, мм<sup>2</sup>.

Относительное удлинение (%) при максимальной нагрузке ( $\varepsilon_{\max}$ ) вычисляли по формуле:

$$\varepsilon_{\max} = 100\Delta l_{\max} / l_0 \quad (3.2)$$

где  $\Delta l_{\max}$  – изменение расчетной длины образца в момент достижения максимальной нагрузки, мм;  $l_0$  – начальная расчетная длина образца, мм.

Модуль упругости при растяжении (МПа) определяли по формуле:

$$E_p = \frac{(F_2 - F_1) \cdot l_0}{A_0 \cdot (\Delta l_2 - \Delta l_1)} \quad (3.3)$$

где  $F_2$  – нагрузка, соответствующая относительному удлинению 0,3 %, Н;  $F_1$  – нагрузка, соответствующая относительному удлинению 0,1 %, Н;  $l_0$  – расчетная длина образца, мм;  $\Delta l_2$  - удлинение, соответствующее нагрузке  $F_2$ , мм;  $\Delta l_1$  - удлинение, соответствующее нагрузке  $F_1$ , мм. Статистическую обработку результатов испытаний проводили с использованием программы *Microsoft Excel*.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		82

Расчет значений вели по пяти образцам. Образцы, которые в процессе испытания разрушались за пределами рабочей части, или у которых в процессе испытания были обнаружены дефекты (пузыри, включения, внутренние трещины и т.п.), в расчет не принимались.

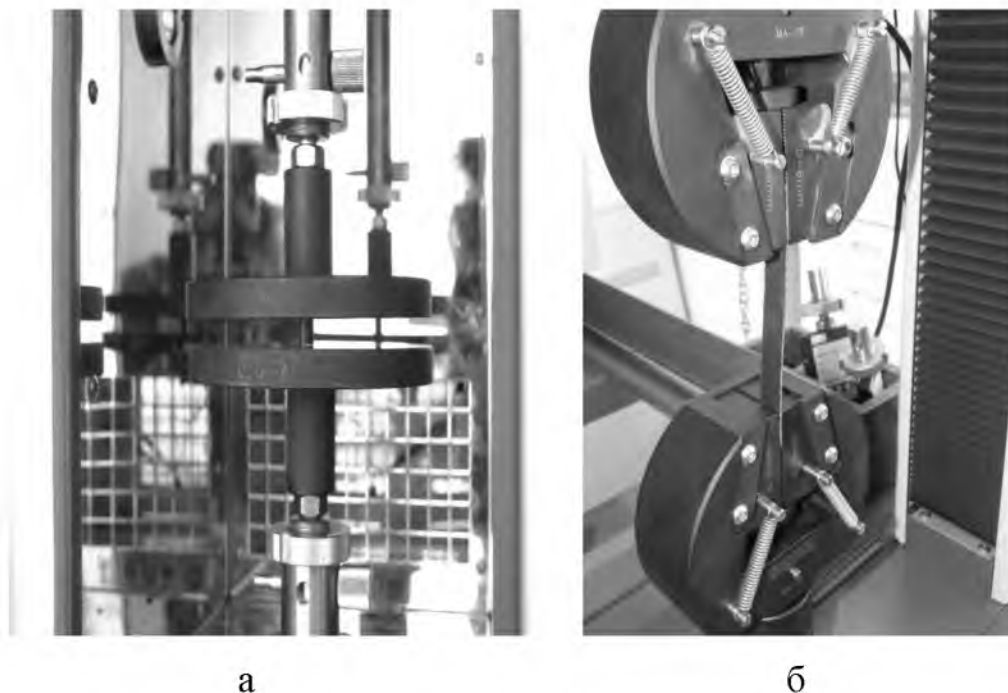


Рисунок 3.6 – Внешний вид захватов машины и форма образца при испытаниях на растяжение (а) и сжатие (б)

Параметры испытаний на испытательной машине UAI-7000 M: расстояние между захватами – 50 мм; толщина образца 0,92 - 0,99 мм; скорость растяжения 100 мм/мин.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

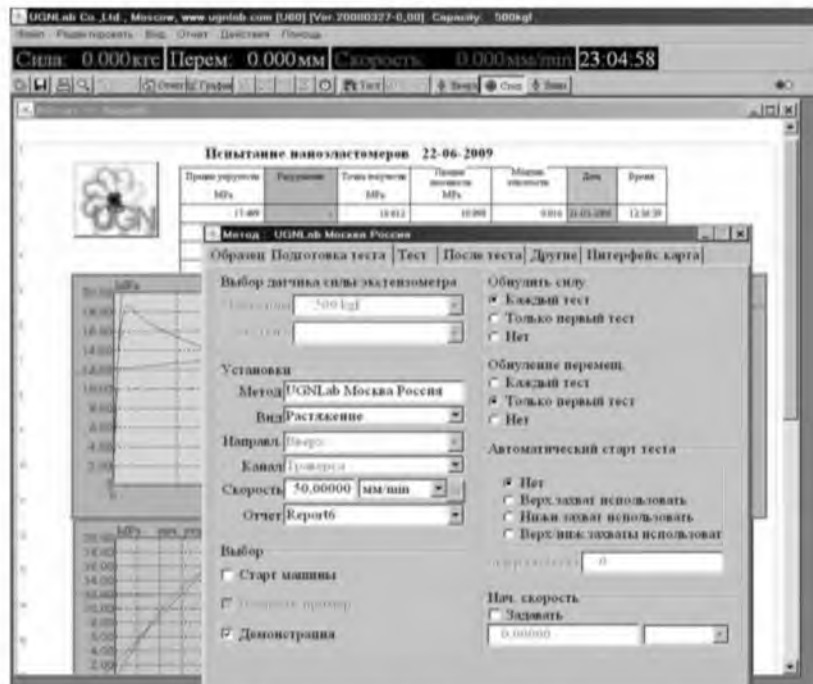


Рисунок 3.7– Общий вид интерфейса программ

### 3.3.2 Методика исследования реологических и термомеханических характеристик расплавов композиций термоэластопластов на реометре HAAKE MARS III

Реологические испытания расплавов композиций ТЭП марки Enflex V-900 различного состава проводились на реометре *Haake MARSIII* (рис. 3.8).

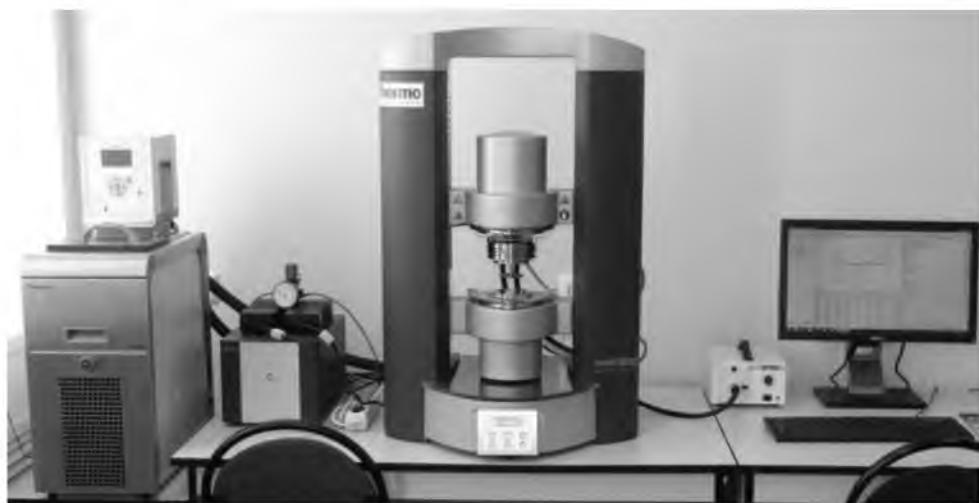


Рисунок 3.8 – Общий вид реометра *HaakeMARSIII* с периферийным оборудованием

Для исключения нарушения сплошности расплава в рабочем зазоре измерительной системы реометра испытания проведены в динамическом режиме с использованием измерительной системы «плоскость-плоскость» с диаметрами ротора и плоскости 35 мм. Амплитуда осцилляций ротора составляла 0,001 рад., диапазон частот – 0...100 Гц, диапазон температур расплава – 100...200 °С, рабочие зазоры между рифлеными плоскостями измерительной системы (рис. 3.9) принимались в соответствии с толщиной образцов (дисков Ø20 мм, толщиной 1,1 мм, вырубленных штанцем из пластин) и составляли 1 мм.

Согласно соотношениям Кокса-Мерца [81] указанные испытания эквивалентны испытаниям с вращающимся ротором, если угловая скорость осциллирующего ротора соответствует скорости сдвига расплава, достигаемой при вращении ротора.

В соответствии с методикой после включения прибора, компьютера и загрузки управляющей программы «*RheoWinJobManager*» задавался выбранный режим измерений. Измерительная система реометра в сомкнутом состоянии предварительно прогревалась до заданной температуры, после чего образец укладывался на нижнюю плоскость, измерительная система смыкалась с усилием 1 Н, и после прогрева образца в течение 10 мин реометр запускался в работу с выводом на компьютер измеряемых параметров.



Рисунок 3.9 – Внешний вид измерительной системы реометра *Haake MARSIII* с рифлеными рабочими плоскостями

При обработке результатов, полученных при различных температурах, для расширения диапазона значимых скоростей сдвига использован принцип температурно-временной суперпозиции Больцмана, реализованный в программе «*RheoWinTTS*». Эта программа позволила получить для исследованных расплавов

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

функции комплексной вязкости  $\eta^* = f(\omega, T)$  от угловой скорости ротора  $\omega = 2\pi\nu$  и температуры испытаний. Последняя зависимость, как выше отмечено, эквивалентна аналогичной зависимости эффективной вязкости расплава от скорости сдвига и температуры  $\eta_s = f(\dot{\gamma}, T)$ . Подбор реологических уравнений и вычисление коэффициентов корреляции производились с использованием программ «*RheoWinDataManager*» и «*MicrosoftExcel*».

#### Технические характеристики прибора:

- крутящий момент 10 nNm ... 0,2 Nm с разрешением 0,1 nNm;
- частота вращения ротора  $10^{-8}$  ... 1500 об/мин ;
- частота осцилляций –  $10^{-6}$  .. 100Hz;
- измерение нормального усилия – (-50...50) Н с разрешением 0,001Н;
- температурное регулирование в диапазоне – -28...200°C с точностью  $\pm 0,05$  °C;
- набор измерительных систем «конус-плоскость» и «плоскость – плоскость» различного диаметра;

### 3.4 Методика расчета процесса литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой

Основными задачами при разработке процесса являются:

- выбор температур пластикационного и инжекционного цилиндров литьевой машины и пресс-формы, исходя из температур фазового перехода (в вязкотекучее и эластическое состояние) и термодеструкции композиции;

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		86

– установление геометрических размеров формующей полости пресс-формы и литниковой системы, обеспечивающих получение изделия с допустимыми отклонениями размеров от требований НТД и минимальным количеством отходов;

- разработка конструкции литьевой пресс-формы;
- выбор давления впрыска;
- определение требуемого усилия сжатия полуформ;
- определение длительности процесса формования;

В общем случае методику расчета процесса литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой можно представить в виде следующей последовательности экспериментальных и расчетных этапов:

1. *Определение реологических и термомеханических характеристик термоэластопласта для всего диапазона температур процесса формования.*

Настоящий этап является одним из самых длительных, трудоемких и ответственных, т.к. только реальные значения искомым характеристик позволят получить в дальнейшем достоверные результаты расчета. Этап выполняется по методикам, описанным в разделе 3.3.2.

2. *Предварительная конструкторская компоновка пресс-формы.*

Проводится по размерам плит литьевой машины и изделия с выбором габаритов, количества гнезд, размеров литниковых каналов, размеров формующих полостей и других конструктивных элементов. Этап выполняется по разделу 2.4.

3. *Расчет процесса формования.*

Проводится с использованием уравнений 2.17, 2.22, 2.24 и 2.25 в следующей последовательности:

- с учетом полученных на этапе 1 термомеханических характеристик термоэластопласта назначаются температуры пластикационного и инжекционного цилиндров литьевой машины и температура пресс-формы;

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		87

– рассчитывается доза впрыска в соответствии с гнездностью пресс-формы, размеров формующих полостей с учетом термической усадки и размеров литниковой системы;

– рассчитывается по формуле (2.17) необходимая величина смещения обводного канала с учетом значения индекса течения  $n'$ ;

– по формуле (2.24) рассчитывается объемная скорость впрыска расплава термоэластопласта для заданного значения давления впрыска, принятых размеров литниковых каналов и полученных значений реологических констант, отвечающих температуре инжекционного цилиндра;

– по формуле (2.25) рассчитывается длительность заполнения пресс-формы расплавом термоэластопласта;

– рассчитывается общая длительность цикла литья, исходя из паспортных характеристик литьевой машины по стадиям литьевого формования;

– рассчитывается часовая производительность литьевой машины;

– рассчитывается масса образующихся полимерных отходов, количество которых в основном зависит от размеров литниковой системы пресс-формы, подлежащих измельчению, грануляции и использованию по прямому назначению, т.е. для изготовления изделий.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						88
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## 4 Результаты экспериментальных исследований

### 4.1 Разработка составов, исследование эксплуатационных и технологических характеристик двухкомпонентных композитов термоэластопласта Enflex V-900

Для улучшения свойств термоэластопластов его принято наполнять модификаторами, такими как шунгит, аэросилом, УНТ «*Tuballmatrixbeta*» и др.

В рамках настоящей работы получены и исследованы следующие составы: состав 1 – 0,5 г шунгита + 49,5 г ТЭП *Enflex V-900*; состав 2 – 2,50 г аэросила + 47,5 г ТЭП *V-900*; состав 3 – 0,075 г УНТ «*Tuballmatrixbeta*» + 49,925 г ТЭП *Enflex V-900* (табл. 2).

При получении композиций были приняты с учетом имеющегося опыта следующие режимы компаундирования компонентов:

Таблица 2 – Режимы компаундирования композиций

Составы	Время, мин	Температура, °С
Состав 1	9	135,6
Состав 2	10	135,6
Состав 3	7	135,6

Смешение компонентов производили в лабораторном смесителе НААКЕ PolyLab Rheomix600 OS с роторами Roller при  $T = 150$  °С. Операция смешения проходила в два этапа: I этап – плавление смеси полимеров (30 об/мин, 5 мин.); II этап – ввод наполнителя (50 об/мин, 10 мин.); III этап – компаундирование с ростом температуры расплава и крутящего момента (50 об/мин, до достижения постоянных значений последних).

Компрессионное формование пластин размером 200×200×1,1 мм из гранулята ТЭП (навеска 50 г) проводили на лабораторном гидравлическом прессе Gibitre при температуре от 180 °С, усилие прессования 100 кН, времени прессования 5 мин и охлаждения 25. Из них для физико-механических испытаний по ГОСТ 11262-2017 вырубали штанцем по 5 образцов (тип 1) каждого состава.

До начала испытаний образцы кондиционировались согласно ГОСТ 12423-2013 в течение 24 часов при температуре  $23 \pm 2$  °С и относительной влажности  $50 \pm 5$  %. Образцы имели гладкую ровную поверхность, без сколов, трещин, раковин и других видимых дефектов.

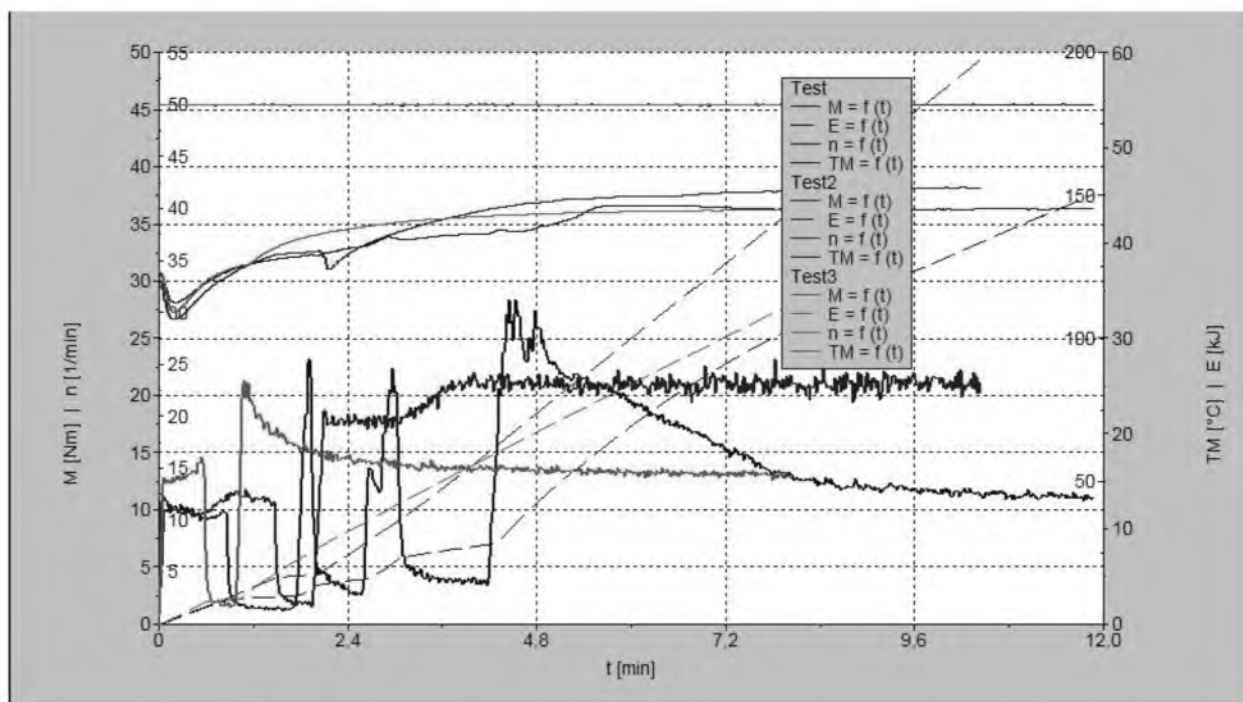


Рисунок 4.1 – Типичный вид диаграмм нагружения расплавов ТЭП марки TPV (Enflex V-900) при компаундировании композиций на лабораторном смесителе Rheomix 600 OS

На рис. 1.10 представлен типичный вид диаграмм нагружения расплавов композиций при компаундировании смесей согласно таблице 2.

Полученный компаунд выгружался в лоток и охлаждался до комнатной температуры. После этого методом горячего прессования на прессе Gibitre при температуре 200 °С и усилии прессы 100 кН изготавливались пластины размером  $200 \times 200 \times 1,1$  мм, из которых вырубались стандартные образцы (пластины размером  $150 \times 15 \times 1,1$  мм и диски диаметром 20 мм) для физико-механических и реологических испытаний композитов.

## 4.2 Исследование физико-механических характеристик термоэласто-пласта «EnflexV-900», композитов «EnflexV-900 + шунгит» и «EnflexV-900 + SiO<sub>2</sub>»

В связи с тем, что растяжение образцов после достижения предела вынужденной эластичности сопровождалось развитием больших деформаций с ориентацией полимерных цепей и упрочнением полимера, текущие значения напряжений (МПа) вычисляли как истинные по формуле:

$$\sigma = Fl/(l_0 A_0), \quad (1)$$

где  $l$  и  $l_0 = 25$  – значения текущей и рабочей длин образца, мм;  $A_0$  – начальная площадь сечения, мм<sup>2</sup>;  $F$  – текущее значение усилия растяжения, Н.

Значения предела прочности вычисляли по формуле:

$$\sigma_p = l_p F_{\max} / (l_0 A_0) \quad (2)$$

где  $F_{\max}$  – максимальная нагрузка при испытании на растяжение, Н;  $l_p$  – значение длины образца в момент разрыва, мм;

Относительное удлинение в мере Генки вычисляли по формуле:

$$\varepsilon_H = \ln(l/l_0) \quad (3)$$

На рис. 4.1 – 4.4 представлен типичный вид кривых нагружения для испытанных композиций термоэластопластов.

Тангенсы угла наклона касательных (выделены красной линией) к начальному и конечному участкам кривых  $\sigma = f(\varepsilon_H)$  представляют собой начальный  $E_H$  (МПа) и конечный  $E_K$  (МПа) модули упругости композитов.

Из полученных результатов следует, что модификация термоэластопласта шунгитом, углеродными нанотрубками и диоксидом кремния обеспечивает существенное улучшение упруго-прочностных характеристик термоэластопласта EnflexV-900. Лучшие результаты по прочности достигаются при вводе тонкодисперсного порошков шунгита и диоксида кремния. Существенно увеличиваются также значения начального и конечного модулей упругости.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						91
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

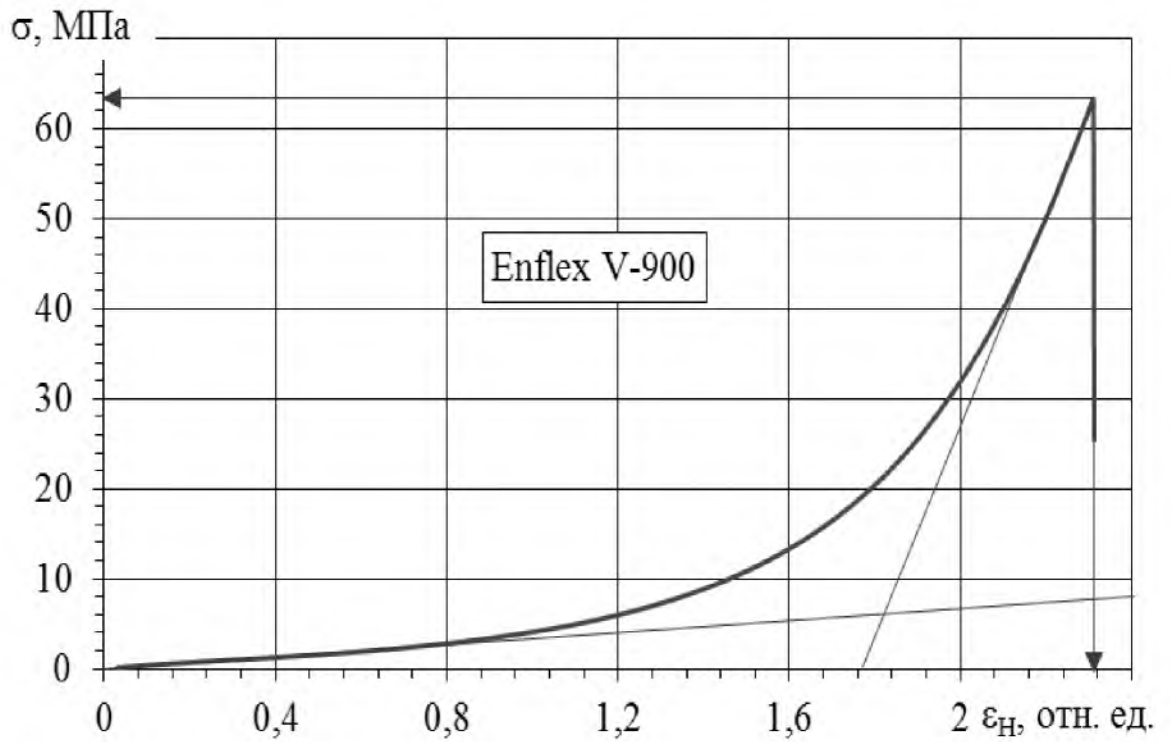


Рисунок 4.1 – Типичный график нагружения на испытательной машине UAI – 7000 М образца термоэластопласта Enflex V-900

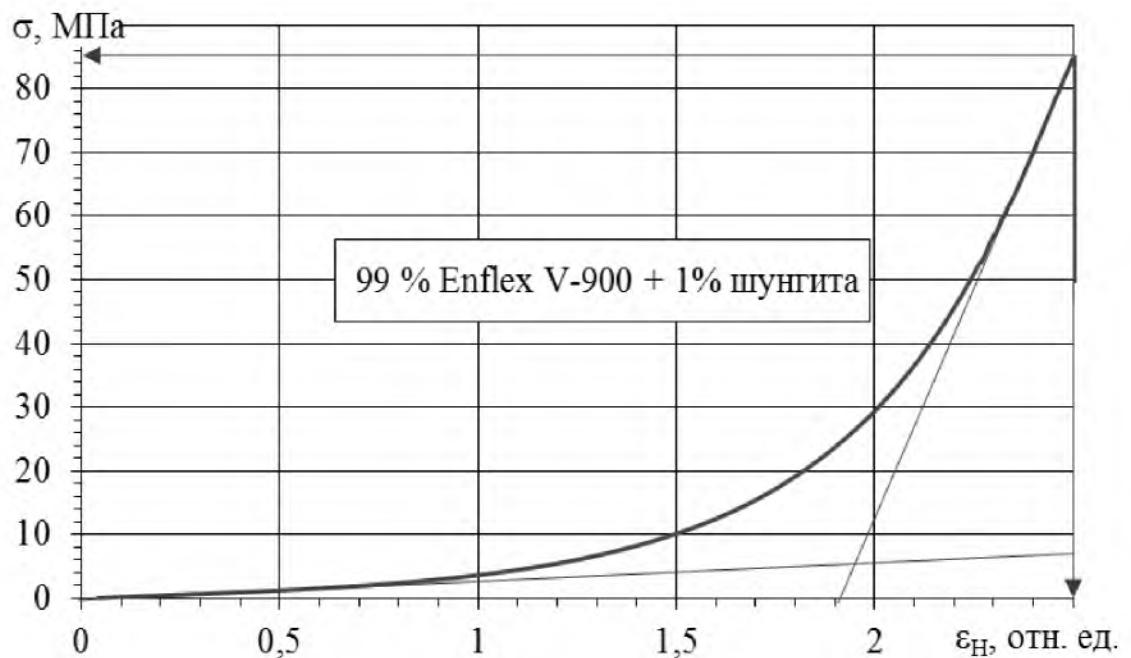


Рисунок 4.2 – Типичный график нагружения на испытательной машине UAI-7000 М образца термоэластопласта Enflex V-900, модифицированного 1 % шунгита

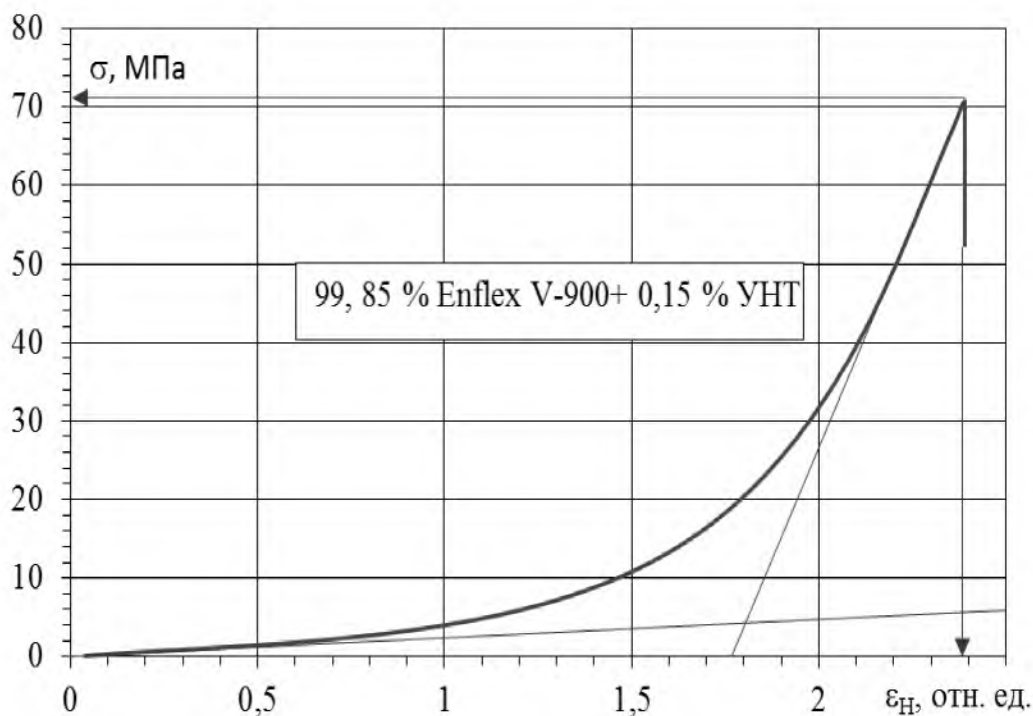


Рисунок 4.3 – Типичный график нагружения на испытательной машине UAI – 7000 М образца термоэластопласта EnfleX V-900, модифицированного 0,15 % углеродных нанотрубок

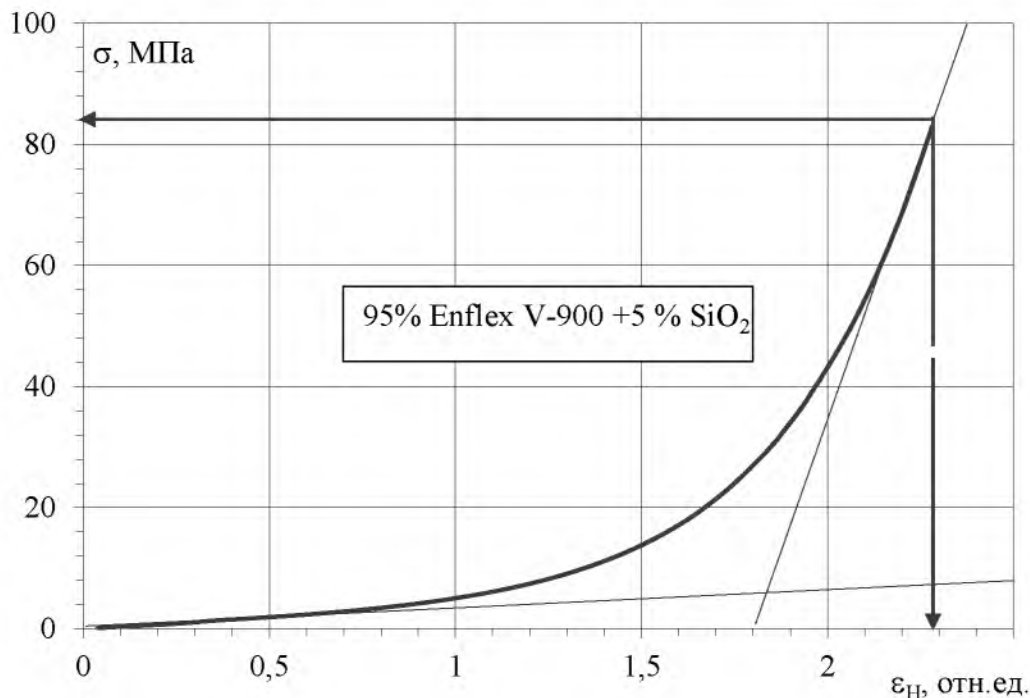


Рисунок 4.4 – Типичный график нагружения на испытательной машине UAI – 7000 М образца термоэластопласта EnfleX V-900, модифицированного 5 % нанокристаллического диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ).

Статистическую обработку результатов испытаний проводили с использованием программы «*Microsoft Excel*».

Рассчитанные значения физико-механических характеристик, исследованных образцов ТЭП представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследования ФМС композиций термоэластопласта Enflex V-900

Состав образца	$E_n$ , МПа	$E_k$ , МПа	$\epsilon_p$ , отн. ед.	$\sigma_p$ , МПа
Enflex V-900	9,88	107,90	2,23	51,40
Ст. откл.	0,85	10,60	0,09	7,36
Ст. откл., %	8,65	9,82	4,16	14,33
95% Enflex V-900 + 5 % SiO <sub>2</sub>	12,50	145,33	2,31	77,25
Ст. откл.	2,65	25,80	0,05	7,64
Ст. откл., %	21,17	17,76	1,98	9,89
99,5% Enflex V-900 + 0,5 % УНТ	12,5	122,50	2,28	70,55
Ст. откл.	1,71	14,39	0,05	4,36
Ст. откл., %	20,70	11,74	2,38	6,17
99% Enflex V-900 + 1% шунгита	11,12	130,50	2,40	76,23
Ст. откл.	1,93	10,21	0,08	7,70
Ст. откл., %	17,36	7,83	3,40	12,99

#### 4.3 Исследование на реометре HAAKE MARS III термомеханических и реологических характеристик термоэластопласта «Enflex V-900».

Реологические испытания на реометре проведены в динамическом режиме при амплитуде осцилляций рифленого ротора диаметром 20 мм 0,001 рад, угловых скоростях 0...800 с<sup>-1</sup> и температурах – 100 °С, 150 °С и 200 °С. Согласно [81] указанные испытания эквивалентны испытаниям с вращающимся ротором, если угловая скорость осциллирующего ротора соответствует скорости сдвига расплава, достигаемой при его вращении [82].

На рисунке 4.5 представлены термомеханические графики, полученные при частоте колебаний ротора 0,1 гц, представляющие собой зависимости угла потерь  $\delta$  и динамического модуля упругости  $G'$  термоэластопласта Enflex V-900 от температуры термоэластопласта Enflex V-900.

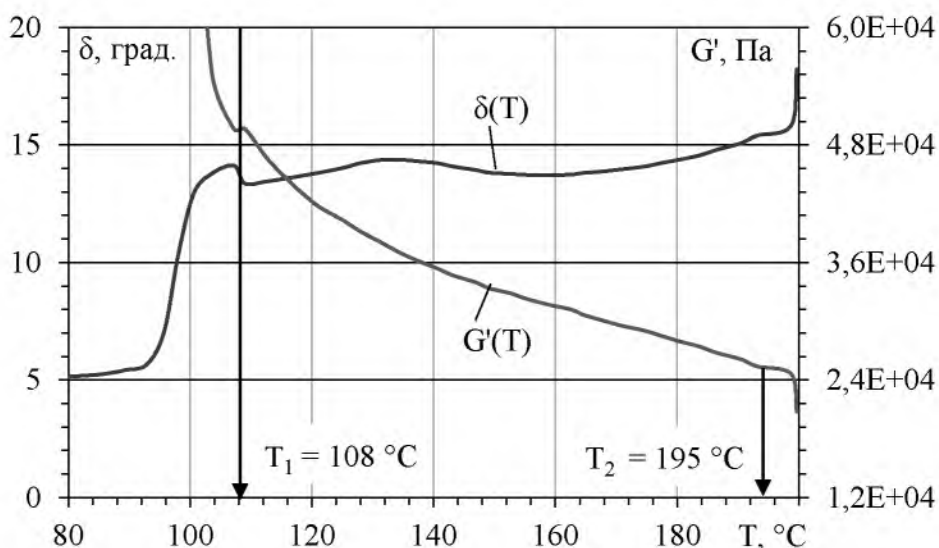


Рисунок 4.5 – Зависимость угла потерь  $\delta$  и динамического модуля сдвига  $G'$  от температуры термоэластопласта Enflex V-900

Во многих аспектах ТЭП можно описать как двухфазные материалы, состоящие из резиноподобного эластомерного компонента и термопластичного твердого компонента. Эластомерная фаза определяет резиноподобные свойства, вкл. эластичность, мягкость, гибкость, остаточное сжатие и минимальную температуру эксплуатации. В свою очередь, твердая фаза определяет термопластические свойства, а именно жесткость, обрабатываемость, пригодность к переработке для повторного использования максимальную температуру эксплуатации [83].

Из графиков следует, что с ростом температуры происходит снижение динамического модуля упругости  $G'$  и рост угла потерь  $\delta$ . При этом на графиках можно выделить два температурных перехода (108 °C и 200 °C), относящиеся

соответственно к эластомерной и термопластичной компонентам термоэластопласта EnflexV-900. Исходя из графиков температура переработки гранулята термоэластопласта методом компрессионного формования должна составлять не менее 195 °С.

На рис. 7 представлена зависимость комплексной вязкости  $\eta^*$  термоэластопласта Enflex V-900 от скорости деформации для температур 100, 150 и 200 °С, полученная на реометре *HAAKE MARS III*.

Из результатов следует, что данные зависимости описываются для каждой температуры с высоким коэффициентом корреляции степенными зависимостями Оствальда [81]:

$$\mu = k\omega^n \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент констистенции расплава, Па·с<sup>n</sup>,  $n$  – индекс течения.

Из графиков следует, что указанная зависимость с коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,930$  удовлетворяет уравнению Френкеля-Эйринга (5).

В данном случае энергия активации вязкого течения расплава термоэластопласта Enflex V-900 соответствии с уравнением тренда будет равна  $6568,1 \times 8,314 = 54520$  Дж/моль.

$$\mu(T) = k_0 \exp \left[ \frac{E}{R} (T_0^{-1} - T^{-1}) \right] \quad (5)$$

где  $E$  – энергия активации вязкого течения, Дж/моль;  $R = 8,314$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);  $k_0$  – коэффициент консистенции расплава при температуре приведения  $T_0$  (К), Па·с<sup>n</sup>.

На рисунке 4.6 представлена зависимость коэффициента консистенции от температуры термоэластопласта Enflex V-900, построенная по данным рисунка 7.

Из рисунке 4.7 следует, что в соответствии с уравнением (5) энергия активации вязкого течения  $E$  составляет для данного полимера  $8,314 \times 6558,1 = 54525$  Дж/моль.

На рисунке 4.8 представлена зависимость индекса течения расплава от температуры, построенная согласно данным графиков рисунка 7.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		96



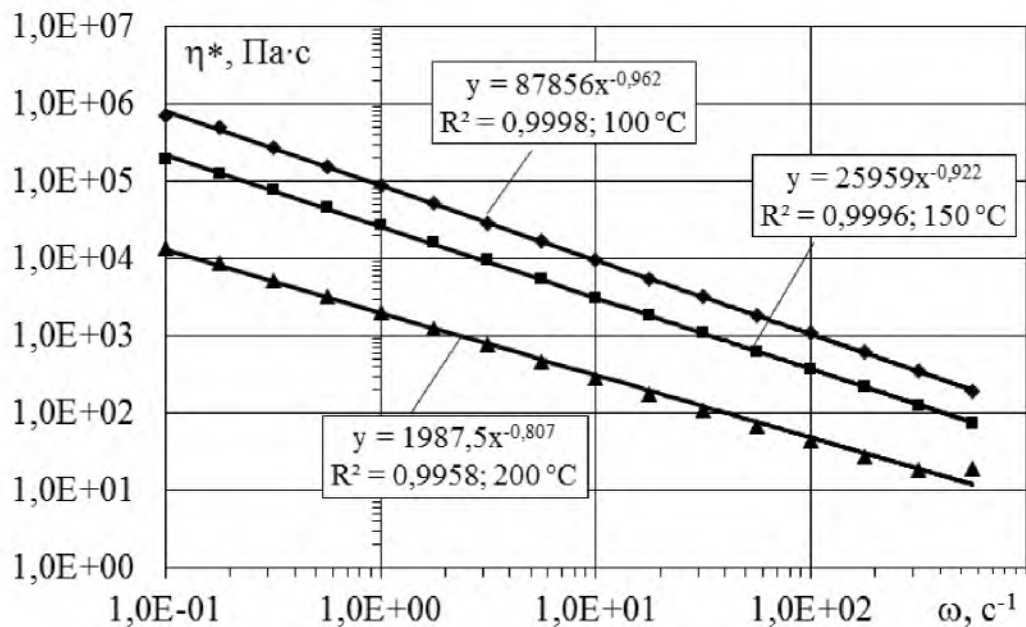


Рисунок 4.6 – Зависимость комплексной вязкости  $\eta^*$  термоэластопласта Enflex V-900 от скорости деформации для температур 100, 150 и 200 °С

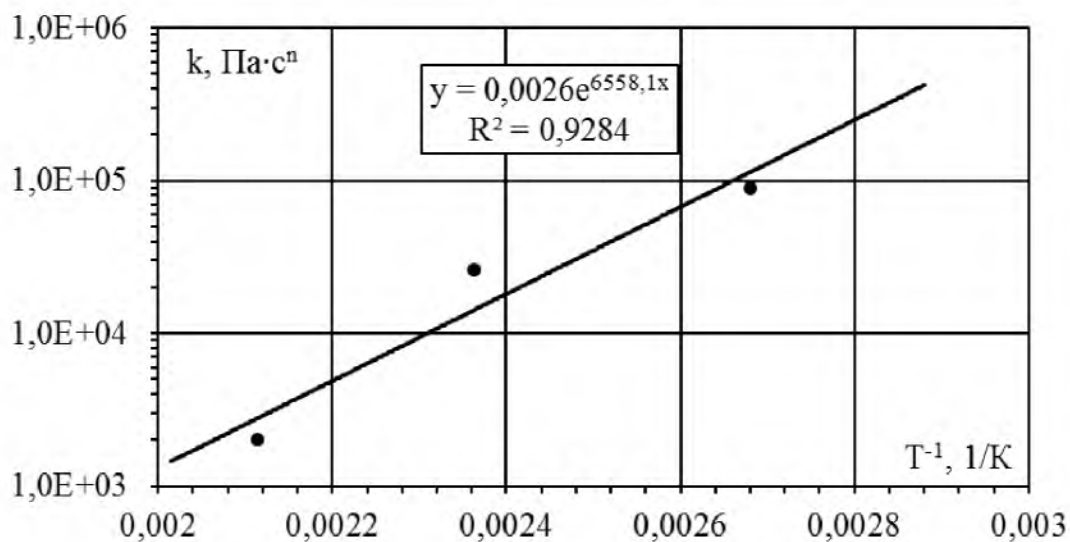


Рисунок 4.7 – Зависимость коэффициента консистенции от температуры термоэластопласта Enflex V-900

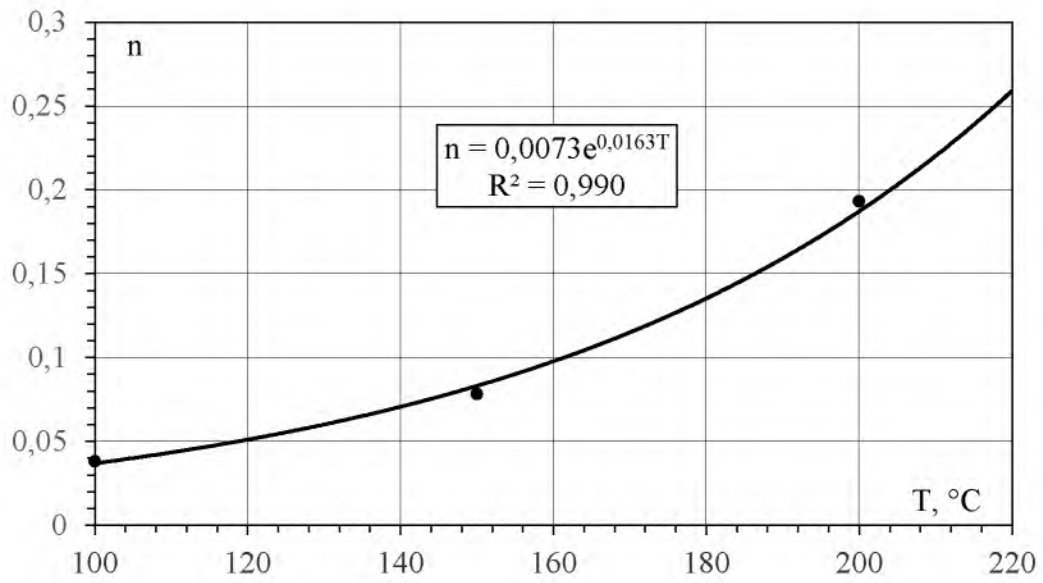


Рисунок 4.8 – Зависимость индекса течения термоэластопласта Enflex V-900 от температуры

## 5 Рекомендации по применению разработанного композиционного материала и технологий его производства в АПК

В настоящее время в мире наблюдается заметный рост интереса к термопластичным эластомерам (термоэластопластам), как полноценным заместителям резины, поскольку резина уступает им по прочностным и деформационным характеристикам, имеет более высокую цену и низкую технологичность. Кроме того, продукты вторичной переработки резины (в основном резиновая крошка) не могут быть использованы по прямому назначению и не всякие составы резин могут быть допущены к контакту с пищевыми продуктами [9].

Для работы с ТЭП нужно точно определить основные технологические характеристики конкретного материала:

- температура, при которой термоэластопласт начинает плавиться;
- вязкость расплавленной массы, которая зависит не только от температуры, но и от скорости впрыска, чем она выше, тем меньше вязкость;
- химический состав ТЭП и степень полимеризации;
- степень усадки при остывании и затвердении, от этого зависит размеры, на которые необходимо увеличить форму.

Таким образом, метод, которым будут изготовлены детали в АПК будет зависит от выбранного термоэластопласта и его класса. Важно обеспечить точный температурный режим, поскольку при достижении массы температуры плавления, она будет вытекать из пресс формы при литье на оборудование [83].

Экономия сырья за счет вторичной переработки отходов производства (кратность переработки без снижения свойств – до 4 раз), возможность полной автоматизации процесса производства, снижение энергозатрат и ряд других факторов также говорят в пользу ТЭП. И наконец, срок службы термоэластопластов, как и изделий, полученных из этого сырья, значительно больше, чем у резины, а удельный вес ТЭП, по сравнению с резиной, более

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						99
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

низкий. Термоэластопласты перерабатываются в изделия всеми традиционными методами переработки полимеров: литьем под давлением, экструзией, выдувным формованием, каландрованием и прессованием, термоформованием [9].

Полимерные соединения рекомендуется применять в пищевой промышленности в качестве упаковки (пленок, комбинированных материалов на основе бумаги и фольги, бутылей и различного вида емкостей). Используемые таким образом полимерные материалы в первую очередь должны быть инертными, не токсичными и соответствовать санитарно-гигиеническим требованиям. При контакте этих материалов с продуктами питания не должны изменяться органолептические свойства – вкус, запах, цвет и др., а также они не должны содержать вредные (токсичные) компоненты, которые могут экстрагироваться пищевыми средами или взаимодействовать с ними [6].

Важнейшей областью использования полимеров является пищевое машиностроение, где они используются в качестве конструкционных материалов и покрытий. Эластомерные материалы (резины и термоэластопласты) используют, в частности, для изготовления транспортерных лент, приводных ремней, шлангов и рукавов, уплотнительных элементов, диафрагм и др. деталей. Из термопластов и реактопластов изготавливают корпусные детали, трубы, подшипники скольжения и втулки (направляющие) и другие детали. Используются они также в качестве антикоррозионных покрытий металлических деталей, антиадгезионных покрытий металлических шнеков, декоративно-защитных покрытий пищевого оборудования и др. [9]

Одним из самых перспективных направлений полимерной отрасли становится переработка термоэластопластов (ТЭП) [35] в детали пищевого машиностроения: уплотнения и прокладки; шланги и трубопроводы; защитные чехлы и гофрированные оболочки; гидроманжеты; листы и пленки; диафрагмы, уплотнители, амортизаторы; колпачки и вкладыши (соски) доильных аппаратов. В последнем случае использование термоэластопластов позволяет

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						100
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

унифицировать вкладыши по внутреннему диаметру с регулированием контактного давления модификацией ТЭПа наноразмерными наполнителями [12], что делает стимуляцию и процесс доения более комфортным и щадящим для животных, позволяет улучшить качество и полноту доения.

В частности, одним из наиболее перспективных направлений является использование термоэластопластов вместо резин для изготовления эластомерных деталей современных доильных установок: колец круглого сечения, прокладок, муфт, уплотнителей, диафрагм, пробок, клапанов, манжет, амортизаторов, оболочек, плоских и гофрированных мембран, молочных и вакуумных шлангов, колпачков и вкладышей (сосков) доильных аппаратов.

Исходя из этого необходимо обратить внимание на разработку такого доильного оборудования, которое бы полностью отвечало физиологическим и морфологическим свойствам вымени коров. Кроме того, не следует забывать и о его правильной эксплуатации [84].

На сегодняшний день промышленностью выпускается довольно большое количество доильных аппаратов, которые в той или иной степени изменяют режимы работы в процессе доения. Это в первую очередь изменение величины вакуумметрического давления в подсосковом пространстве стакана в зависимости от интенсивности истечения молока из вымени и изменение частоты пульсаций во время машинного доения. Однако, доильного аппарата который бы объединял два этих параметра одновременно и тем самым в полной мере отвечал физиологии коров на сегодняшний день не создано.

Поэтому вопрос разработки доильного аппарата с управляемым режимом доения остается в настоящее время актуальным и требует своего решения [85].

Направления исследований многих ученых [86] осуществлялись по пути адаптации исполнительных механизмов доильных аппаратов к индивидуальным физиологическим особенностям строения вымени, оптимизации и автоматизации конструктивно-режимных параметров работы для лучшей сти-

муляции рефлекса молокоотдачи для быстрого, полного и безопасного извлечения молока из вымени коров. Разработано большое количество различных конструкций сосковой резины, доильных стаканов, пульсаторов, коллекторов из ТЭП, отработаны режимы и сформулированы основные рекомендации по машинному доению животных с разработкой технологических рекомендаций операторам по применению доильных аппаратов на различных установках [87].

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						102
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Получены уравнения и проведен теоретический анализ заполнения расплавом термоэластопласта пресс-формы с кольцевой литниковой системой, позволяющей формовать кольцевые изделия с однородной структурой.

Установлено, что радиальный (однородный) режим заполнения формирующей полости достигается за счет смещения коллектора (обводного канала) к подводящему литниковому каналу. При этом величина необходимого смещения коллектора является функцией только глубины щелевого впускного канала, размеров обводного канала, индекса течения и не зависит от температуры и коэффициента консистенции расплава полимера.

2. С использованием полученной математической модели:

– разработаны конструкция 5-гнездной литейной пресс-формы и технологический процесс изготовления уплотнительного кольца из термоэластопласта диаметром  $23 \times 13$  мм для коллектора поршневого доильного аппарата «Буренка» на литейной машине Babuplast 6/10V;

– установлена зависимость объемной скорости и длительности заполнения полостей пресс-формы от давления впрыска и назначены технологические параметры процесса литейного формования;

– рассчитана производительность процесса литейного формования на машине Babuplast 6/10V уплотнительных колец из термоэластопласта Enflex V-900, которая составляет для разработанного техпроцесса 150 шт/ч.

3. Разработаны составы композиций и технологические процессы смешения и компаундирования компонентов композиционных материалов на основе термоэластопласта Enflex V-900 в лабораторном смесителе периодического действия PolyLab Rheomex PTW 16.

4. Исследованы физико-механические и реологические характеристики термоэластопласта Enflex V-900 и композиций на его основе, содержащих тонкодисперсные порошки шунгита, диоксида кремния и углеродных нанотрубок

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						103
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

5. Установлено, что лучший комплекс физико-механических характеристик достигается в композициях термоэластопласта Enflex V-900 содержащих шунгит (состав «99 % ТЭП + 1 % шунгит») и диоксид кремния (состав «95 % ТЭП + 5 % SiO<sub>2</sub>»). Введение указанных модификаторов позволяет повысить предел прочности термоэластопласта в 1,5 раза, а модуль упругости в 1,3... 1,4 раза.

6. Разработана методика расчета процесса литьевого формования уплотнительных колец из термоэластопластов в пресс-формах с кольцевой литниковой системой.

7. Разработаны рекомендации по применению разработанных композиций в объектах перерабатывающего оборудования АПК.

					МД-02069964-35.04.06-04-20	Лист
						104
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Максанова Л.А., Аюрова О.Ж. Федеральное агентство по образованию. Восточно-Сибирский гос. технологический университет. Полимерные соединения и их применение: учебное пособие. Улан-Удэ, 2005. – 308 с.
2. Рагулин В.В., Вольнов А.А. Технология шинного производства. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Химия, 1981. – 264 с.
3. Уральский завод эластомерных уплотнителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.zavodrti.ru/news/detail.php?ID=26672>
4. Ярулин Р. Нефтехимия // Аналитика. Термоэластопласты. – 2003. – С. 46 – 47.
5. Захарова О.Г., Зайцев С.Д., Семчиков Ю.Д. Дендримеры: синтез, свойства, применение. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Новые материалы электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем». Нижний Новгород, 2006. – 81 с.
6. Водяков В.Н. Математическое моделирование процессов формования и нагружения эластомерных уплотнителей автотракторной техники. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 216 с.
7. Межуев С.В. Разработка технологии и организация производства полимерных композиционных материалов на основе нанонаполнителей с повышенным в 1,5 – 2 раза сроком эксплуатации. – 2007. – № 1-2. – С. 41 – 46.
8. Полимеры в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.chemiemaniamania.ru/chemies-5038-1.html>
9. Искандарова З.Х. Перспективы применения термоэластопластов в пищевом машиностроении // XLVII Огарёвские чтения. 2019 – С. 102 – 106.
10. Шашок Ж.С. Тексты лекций для студентов специальности 1-480102 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48010205 «Технология переработки эластомеров».

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						105
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

11. Влияние водорастворимых полимеров на агрофизические и почвозащитные свойства светло-серых эродированных почв Предкамья Республики Татарстан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://earthpapers.net/vliyanie-vodorastvorimyh-polimerov-na-agrofizicheskie-i-pochvozaschitnye-svoystva-svetloseryh-erodirovannyh-pochv-predka#ixzz6LVRT2IeS>

12. Таганова Т.С. Наука и образование: новое время // Изучение физико-химических свойств полимеров и проблемы утилизации полимерных отходов. – 2017. – № 3 (20). – С. 779 – 781.

13. Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б. «Переработка пластмасс» ред. А.Д. Паниматченко, изд. Профессия, Спб., 2005. – 320 с.

14. Осовская И.И., Савина Е.В., Левич В.Е. Эластомеры: учебное пособие/ВШТЭСПБГУТД. СПб., 2016. – 126 с.

15. Натуральный каучук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://himija-online.ru/organicheskaya-ximiya/kauchuki/naturalnyj-kauchuk.html>

16. Шашок Ж.С. Тексты лекций для студентов специальности 1-480102 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48010205 «Технология эластомерных композиций».

17. Грудо С. К., Барташевич С.А. Труды БГТУ. № 9. Издательское дело и полиграфия. // Математическое моделирование воздействия энергией ультразвуковых колебаний на дополнительную сшивку фотополимерных печатных форм. – 2014. – № 9 (173). – С. 31 – 35

18. Каучук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://e-plastic.ru/specialistam/rezina-elastomeri/kauchuk/>

19. Методические материалы по дисциплине «Синтез сырья для производства синтетических каучуков на основе газов крекинга нефти».

20. Алифанов Е.В., Чайкун А.М., Наумов И.С., Елисеев О.А. Труды ВИАМ. – 2017. – № 2 (50). – С. 6

21. Захаров Н. Д., Хлоропреновые каучуки и резины на их основе, М., 1978; Синтетический каучук, под ред. И. В. Гармонова, 2 изд., Л., 1983. – 310 с.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						106
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

22. Синтетический полиизопрен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://polymer-tech.ru/ref/sinteti2eski1\\_poliizopren.html](https://polymer-tech.ru/ref/sinteti2eski1_poliizopren.html)

23. Хлоркаучук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://msd.com.ua/xlorirovannye-polimery/xlorkauchuk/>

24. Огородников П.И. Научно – технические основы повышения эффективности применения доильного оборудования в молочном животноводстве/ П.И. Огородников (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений). – М.: Колос, 1995 – 140 с.

25. Гордецкая Т.К. О влиянии вакуума на ткани молочной железы коров. Физиологические основы машинного доения / Т.К. Гордецкая // Материалы III Всесоюзного симпозиума по физиологическим основам машинного доения: тез. докл. – Боровск. – 1972. – С. 74 – 75.

26. Королев В.Ф. Доильные машины. – М.: Машиностроение, 1969. – 280 с.

27. Кирсанов В.В., Матвеев В.Ю. Вестник НГИЭИ. // Результаты исследований гидравлических характеристик доильных аппаратов с коллекторами различной вместимости. – 2016. – №8 (63). – С. 117 – 124.

28. ГОСТ 28545-90 (ИСО 5707-83) Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика (с Изменением N 1).

29. Полимеры. Термоэластопласты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=625](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=625)

30. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. Москва Бюро, НТД. – 2017.

31. Термоэластопласты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://himya.ru/termoelastoplasty.html>

32. Производство термоэластопластов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71846346/5ac206a89ea76855804609cd950fcdf7/>

33. Особенности термоэластопластов (ТЭП) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://inrusstrade.ru/ru/tap-material.html>

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						107
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

34. Каучук [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kauchuk.com.ua/tpe-material/>

35. Переработка резиновых покрышек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://vtorothodi.ru/pererabotka/pererabotka-rezinovyh-pokryshek>

36. Захарова О.Г., Зайцев С.Д., Семчиков Ю.Д. Дендримеры: синтез, свойства, применение // Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Новые материалы электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникативных систем». – Нижний Новгород. – 2006. – С. 58 – 65.

37. Чехунов О.А., Мартынов Е.А. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства // Доильный аппарат с управляемым режимом. – 2015. – № 3 (19). – С. 23 – 26.

38. Способы доения коров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doilnye-apparaty.ru/articles/sposobi-doeniya-korov.html>

39. Мэнсов Д., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты. Пер с англ. Под ред. А.А. Бабаевского. – М.: Химия, 1979. – 440 с.

40. Описание технологического процесса изготовления резиновых смесей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studbooks.net/2528782/tovarovedenie/opisanie\\_tehnologicheskogo\\_protssesa\\_izgotovleniya\\_rezinovyh\\_smesey](https://studbooks.net/2528782/tovarovedenie/opisanie_tehnologicheskogo_protssesa_izgotovleniya_rezinovyh_smesey)

41. Панфилова О.А. Структура термопластичных вулканизаторов на основе каучуков различной полярности и полипропилена / Панфилова О.А. [и др.] // Журнал «Каучук и резина». – 2016. – № 4. – С. 10 – 13.

42. Coran A.Y. Chloranated polyethylene rubber-nylon composition / A. Y. Coran, R.P. Patel // Rubber Chem. Technol. – 1983. – V. 53. – № 1. – P. 210 – 225.

43. Ким В.С. Теория и практика экструзии / В.С. Ким. М.: Химия. 2005. – 568 с.

44. Гуль В.Е., Дьякова В.П. – Физико-химические основы производства полимерных пленок// Издательство: Высшая школа., 1978.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						108
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

45. Современные технологии получения и переработки полимерных и композиционных материалов : учебное пособие / В.Е. Галыгин, Г.С. Баронин, В.П. Таров, Д.О. Завражин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 180 с.

46. Шашок Ж.С., Усс Е.П. Методические указания к практическим занятиям по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» Минск, 2003.

47. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учебное пособие / Ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – Владимир: Издательство ВлГУ, 2013. – 128 с.

48. Лукомская А.И., Богаевский М.А., Борисевич Г.М., Калинова Л.Т. Распределение давлений в протекторных резиновых смесях при течении в рисунках пресс-формы. - Каучук и резина. – 1973. – № 8. – С. 26 – 29.

49. Шанин Н.П., Колбовский Ю.А., Алексеев А.С. О некоторых закономерностях прессования асбокаучуковых композиций. - Каучук и резина. – 1978. – № 10. – С.46 – 48.

50. ГОСТ 11262-80 (СТ СЭВ 1199-78) Пластмассы. Метод испытания на растяжение (с Изменением N 1).

51. ГОСТ 4648-71 Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб (с Изменениями N 1, 2, 3).

52. ГОСТ 4647-80 Государственный стандарт. Пластмассы.

53. ГОСТ 4670-91. Пластмассы. Определение твердости. Метод вдавливания шарика.

54. Малкин А.Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А.Я. Малкин, А.А. Аскадский, Коврига В.В. М.: Химия. 1978. – 336 с.

55. Белкин И.М. Ротационные приборы Измерение вязкости и физико-механических характеристик материалов / И.М. Белкин, Г.В. Виноградов и др. – М.: Машиностроение. 1967. – 272 с.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						109
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

56. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. В 2-х кн./Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. – М.: Машиностроение. Кн. 2. 1979. – 358 с.

57. Пищевая резина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://promplace.ru/rezina-kauchuk-smola-staty/pishevaya-rezina-1643.htm>

58. Филиппова Т.И., Водяков В.Н., Савенко А.И. Анизотропность структуры колец, полученных литьем под давлением. Производство шин, резинотехнических и асбестотехнических изделий. – 1975. – № 6. – С. 4 – 25.

59. Trepte H. Stand und Entwicklungstrend der Plastmaschinenzur Herstellungmassiver Formteile, Wiss. Z. Techn. Hochsch.,Plast World, 1973, t.2, 419-427.

60. Ахрамеев А.Ф. и др. Исследование склонности резиновых смесей к подвулканизации на ротационном вискозиметре, Каучук и резина, 1971. – № 8. – С. 15– 16.

61. Слонимский Г.Л., Проблемы современной физики полимеров /Синтез и модификация полимеров, Наука, М., 1976. – 137 с.

62. Trepte H. Stand und Entwicklungstrend der Plastmaschinenzur Herstellungmassiver Formteile, Wiss. Z. Techn. Hochsch.,Plast World, 1973, t.2, 419-427

63. Леонов А.И., Басов Н.И., Казанков Ю.В. Основы переработки реактопластов и резин методом литья под давлением, М., Химия, 1977. – 216 с.

64. Филиппова Т.И. Бартенев Г.М. Установление анизотропии структуры литьевых вулканизатов методом набухания / Каучук и резина, 1975. – № 1. – С. 33 – 34.

65. Филиппова Т.И., Водяков В.Н., Савенко А.И. Анизотропность структуры колец, полученных литьем под давлением / Производство шин, резинотехнических и асбестотехнических изделий, 1975. – № 6. – С. 24 – 25.

66. Леонов А.И., Басов Н.И., Казанков Ю.В. Основы переработки реактопластов и резин методом литья под давлением, М., Химия, 1977. – 216 с.

67. Пресс-форма для литья изделий из эластомеров, патент Франции № 1519972, В 29Н, 1965.

68. Литьевая форма, патент США № 3368245, НКИ 425-215, 1968.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						110
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

69. Водяков В.Н., Савенко А.И. Использование кольцевых литниковых систем в формах для производства уплотнительных колец круглого сечения / Производство шин, резинотехнических и асбестотехнических изделий, 1975. – № 10. – С. 9 – 11.

70. Авт. свидетельство СССР № 534367, МКИ В 29 Н3/08 Литьевая форма для изготовления кольцевых резиновых изделий / В.Н. Водяков, Ю.К. Тешкин; заявитель Саранский резиновый комбинат. – №2162772/05; заявл. 05.08.75, опубл. 05.11.76, Бюл. № 41.

71. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров, М., Химия, 1977. – 464 с.

72. Водяков В.Н., Гидродинамический анализ процесса изотермического заполнения формы с кольцевой литниковой системой / Водяков В.Н., Балашов М.М. // Машины и технология переработки полимеров в изделия: Межвуз. сб. научных трудов. - Москва: Изд-во Московского института хим. машиностроения, 1977. – С. 118 – 124 с.

73. С.И. Вольфсон, Е.А. Фафурина, А.В. Фафурин. Методы утилизации шин и резинотехнических изделий // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №1. – С. 74 – 79.

74. Вольфсон С.И. Динамически вулканизованные термоэластопласты: получение, переработка, свойства. - М.: Наука, 2004. – 173 с.

75. Хачатрян Г.Р. Резиновые уплотнители гидравлических устройств с возвратно-поступательным движением / Г.Р. Хачатрян, В.Н. Михайлов; ЦНИИТЭ Нефтехим. 1987. – 48 с.

76. Шрамм Г., Основы практической реологии и реометрии [пер. с англ. под ред. В.Г. Куличихина] КолосС, Москва, 2003. – 312 с.

77. Малкин А.Я. Реология: концепции, методы, приложения / А.Я. Малкин, А.И. Исаев. – СПб.: Профессия, 2007. – 560 с.

78. Аблеев Р.И., Гимаев Р.Н. Инновации в области полимерных материалов для кабельной индустрии // Вестник Башкирского университета. – 2008. – № 1. – С. 214 – 217.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						111
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

79. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие/ М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г. С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с., ил.

80. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии [пер. с англ. под ред. В.Г. Куличихина] КолосС, Москва, 2003. – 312 с.:

81. Куликовская К. А., Водяков В.Н. Влияние сверхмалых концентраций углеродных нанотрубок на упруго-прочностные, реологические и трибологические характеристики сверхвысокомолекулярного полиэтилена / Вестник технологического университета. – 2019. – № 2. – С. 75 – 78.

82. ТЭП марки Enflex [Электронный ресурс]: <https://www.resinex.ru/produktyi/enflex.html>

83. Шанин Н.П., Колбовский Ю.А., Алексеев А.С. О некоторых закономерностях прессования асбокаучуковых композиций. - Каучук и резина. – 1978. – № 10. – С. 46 – 48.

84. Наполнители для полимерных композиционных материалов: учеб. пособие / Л.Г.Панова. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2010. – 68 с.

85. Матренин С.В., Овечкин Б.Б.Композиционные материалы и покрытия на полимерной основе: Учебное пособие. – Томск, 2008. – 197 с.

86. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением : учеб.пособие / Ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. – Владимир : Издательство ВлГУ, 2013. – 128 с.

87. Промышленные полимерные композиционные материалы / Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1980. – 472 с.

					МД-02069964-35.04.06-04–20	Лист
						112
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		