

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

# ОСНОВЫ РЕЦЕПТУРОСТРОЕНИЯ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

---

## Лабораторный практикум

*Рекомендовано  
учебно-методическим объединением по химико-технологическому  
образованию в качестве учебно-методического пособия  
для студентов учреждений высшего образования  
по специальности 1-48 01 02 «Химическая технология  
органических веществ, материалов и изделий»  
специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки  
эластомеров»*

Минск 2023

УДК 678.074.033(076.5)(075.8)

ББК 35.728я73

О-73

А в т о р ы :

*Ж. С. Шашок, Е. П. Усс, О. А. Кротова, А. В. Лешкевич*

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра материаловедения и ресурсосберегающих технологий  
учреждения образования «Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы» (кандидат технических наук,  
доцент, заведующий кафедрой *А. А. Скаскевич*);  
кандидат технических наук, заместитель начальника центральной  
заводской лаборатории инженерно-технического центра  
ОАО «Белшина» *С. А. Перфильева*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или ее части не может быть осуществлено без разрешения учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».*

### **Основы рецептуростроения эластомерных композиций.**

**О-73 Лабораторный практикум** : учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 02 «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий» специализации 1-48 01 02 05 «Технология переработки эластомеров» / Ж. С. Шашок [и др.]. – Минск : БГТУ, 2023. – 106 с.  
ISBN 978-985-897-088-8.

Учебно-методическое пособие содержит теоретические основы построения рецептур эластомерных композиций для производства деталей автопокрышек и резинотехнических изделий, а также основные методы оценки свойств резиновых смесей, вулканизатов на их основе и готовых изделий. Даны порядок проведения лабораторных работ, контрольные вопросы для допуска и защиты работ и техника безопасности. Издание является базой для изучения дисциплины «Основы рецептуростроения эластомерных композиций».

УДК 678.074.033(076.5)(075.8)

ББК 35.728я73

**ISBN 978-985-897-088-8**

© УО «Белорусский государственный технологический университет», 2023

© Шашок Ж. С., Усс Е. П.,

Кротова О. А., Лешкевич А. В., 2023

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Данное учебно-методическое пособие предназначено для углубления и закрепления знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса «Основы рецептуростроения эластомерных композиций».

В пособии приведены сведения о подходах к построению рецептур эластомерных композиций для деталей автопокрышек и резинотехнических изделий. Изложены методики выполнения работ по определению показателей резин, характеризующих их работоспособность при циклических нагрузках, истирании, а также при воздействии различных немеханических факторов.

Каждая глава включает краткую теоретическую часть, методику выполнения работы и расчетов, контрольные вопросы к защите лабораторных работ.

Перед выполнением лабораторной работы студент должен ознакомиться с теоретическим материалом, содержанием работы, устройством оборудования или прибора, методикой выполнения работы и необходимыми расчетами, а также с инструкцией по технике безопасности и охране труда.

К каждой последующей работе можно приступить только после защиты предыдущей.

По окончании каждой работы студент представляет преподавателю оформленный отчет, который должен включать:

- название, номер и цель лабораторной работы;
- устройство оборудования или схему прибора и их краткое описание;
- предварительные расчеты, необходимые для проведения работы;
- порядок выполнения работы;
- оформление результатов при проведении испытаний эластомеров;
- выводы по работе и оценку полученных результатов.

# ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

---

## *Правила техники безопасности*

1. К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности и расписавшиеся в специальном журнале. За нарушение правил техники безопасности студенты отстраняются от выполнения лабораторных работ.

2. Опасными факторами при выполнении работ в лаборатории являются:

- возможность поражения электрическим током при работе с электроустановками и приборами;

- механические воздействия инструмента и движущихся частей оборудования;

- возможность ожога при работе с химическими реактивами и нагревательными приборами;

- порезы рук при небрежном обращении с лабораторной посудой;

- возникновение пожара при неаккуратном обращении с легко воспламеняющимися горючими веществами.

3. Каждый студент должен работать на закрепленном за ним рабочем месте. Переход на другое рабочее место без разрешения преподавателя не допускается.

4. Приступать к работе можно только после разрешения преподавателя.

5. Лабораторные работы необходимо проводить в халате с застегнутыми рукавами.

6. Студентам запрещается работать в лаборатории в отсутствие преподавателя и лаборанта.

7. Перед началом работы студент должен провести осмотр рабочего места, проверить исправность и чистоту оборудования, приборов.

8. Рабочее место и пол вокруг испытательного оборудования должны быть свободными и чистыми.

9. При обнаружении неисправностей оборудования, приспособлений и инструмента в начале и в ходе работы студент должен сообщить о них преподавателю или лаборанту.

10. При пуске машины студент должен предупредить всех лиц, находящихся рядом.

11. Во время работы *категорически* запрещается:

а) класть руки и облокачиваться на вращающиеся и движущиеся части машин, прикасаться к режущим поверхностям;

б) поправлять и подталкивать руками материал во вращающиеся, под режущие и смыкающиеся части машины; передавать инструмент через режущие и вращающиеся части машины;

в) обтирать и чистить машину на ходу;

г) оставлять работающую машину и нагревательные приборы без присмотра;

д) работать на машине студентам, не прикрепленным к данной работе и не прошедшим инструктаж по охране труда.

12. Перед пуском червячную машину следует тщательно осмотреть, обратив особое внимание на отсутствие посторонних предметов в загрузочной воронке и питающих устройствах. Запуск машины необходимо производить после ее прогрева до заданной температуры, начиная с минимальной частоты вращения червяка и плавно увеличивая его до номинального значения. Чистку оборудования производят незамедлительно после его остановки. При работе на червячной машине запрещается стоять против головки машины и подавать материал в зону червяка руками.

13. В лабораториях нельзя создавать шум, хранить пищевые продукты, принимать пищу.

14. По окончании выполнения работ студент обязан привести в порядок свое рабочее место, сдать приборы, инструмент.

### ***Первая помощь пострадавшим***

При несчастных случаях в лабораториях необходимо принять следующие меры.

1. При термических ожогах обожженное место следует смочить этиловым спиртом или раствором марганцово-кислого калия либо наложить повязку с мазью от ожогов.

2. При поражении электрическим током, если пострадавший остался под ним, следует выключить ток. Если нет возможности отключить ток, то оказывающий помощь должен изолировать свои руки и отделить пострадавшего от токоведущих частей. Нельзя прикасаться к человеку, находящемуся под током, голыми руками. Если пораженный электротоком потерял сознание, ему следует сделать искусственное дыхание.

# Глава 1

## ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ РЕЦЕПТУР РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

---

Резиновая смесь – композиция каучуков и ингредиентов определенного состава. Каждый из ингредиентов играет специфическую роль в процессе изготовления резиновых смесей, их переработки, вулканизации и эксплуатации резиновых изделий. В зависимости от назначения резиновой смеси и технологии изготовления из нее изделий состав и содержание ингредиентов существенно изменяются.

Ингредиенты резиновых смесей подразделяются на два класса. Первый класс включает ингредиенты, воздействующие на такие свойства, как эластичность, прочность, условное напряжение при заданном удлинении, остаточная деформация, твердость, сопротивление истиранию, раздиру, действию смазочных масел и моторных топлив, старению и некоторые другие. К этому классу относятся следующие ингредиенты:

- каучуки и каучукоподобные полимеры и регенерат;
- наполнители;
- мягчители;
- пластификаторы;
- вулканизирующие вещества (агенты);
- ускорители вулканизации;
- активаторы вулканизации;
- замедлители подвулканизации;
- противостарители.

Эти ингредиенты также определяют практически все основные технологические свойства резиновых смесей: пластичность, усадку, каландруемость, шприцуемость, стойкость к подвулканизации, скорость вулканизации, плато вулканизации и некоторые другие. Поэтому, за редким исключением, любая резиновая смесь должна содержать все ингредиенты этого класса.

Ко второму классу относят ингредиенты, придающие резинам некоторые специфические свойства:

- порообразующие вещества (порофоры) – образуют на стадии вулканизации в резинах поры;
- красители – окрашивают резины в различные цвета;

- антипирены – снижают воспламеняемость и горючесть резин;
- фунгициды – защищают резины от воздействия микроорганизмов в условиях тропического климата;
- дезодоранты – подавляют неприятный запах резин;
- модификаторы – придают резинам некоторые дополнительные свойства (повышенную адгезию к другим материалам, улучшение динамических показателей и т. д.);
- абразивные материалы – добавляют в резиновые смеси при получении шлифовальных композиций и т. д.

К этому же классу относятся компоненты, повышающие качество резиновых смесей и изделий на их основе (диспергаторы ингредиентов, активаторы термообработки смесей, вещества, повышающие клейкость невулканизированных резин, добавки, увеличивающие адгезию резин к металлам и тканям, и др.).

В табл. 1.1 представлены ингредиенты, которые оказывают влияние на характеристики резиновых смесей и вулканизатов на их основе.

Таблица 1.1

**Влияние ингредиентов на свойства резиновых смесей и их вулканизатов**

Свойство	Ингредиенты, оказывающие влияние на свойство
<i><b>Резиновые смеси</b></i>	
Когезионная прочность	Наполнители, модификаторы
Каркасность	Наполнители, мягчители
Вязкость при температуре переработки	Наполнители, мягчители
Усадка	Наполнители
Сопротивление преждевременной вулканизации, скорость и степень вулканизации, стойкость к реверсии	Вулканизирующая система, замедлители подвулканизации
Конфекционная клейкость, липкость к оборудованию	Пластификаторы, повышающие клейкость, мягчители, антиадгезивы
Прочность крепления к волокнам и металлу	Модификаторы адгезии, вулканизирующая система
<i><b>Резины</b></i>	
Упруго-прочностные свойства, износостойкость	Наполнители, мягчители
Усталостно-прочностные свойства	Вулканизирующая система, противостарители, наполнители
Твердость	Наполнители, мягчители
Термостойкость	Вулканизирующая система, противостарители
Морозостойкость	Пластификаторы, вулканизирующая система
Атмосферостойкость	Противостарители

Под рецептурой резиновой смеси понимают количественный и качественный состав входящих в рецепт компонентов.

В зависимости от состава и количества входящих в резиновую смесь компонентов различают ненаполненные и наполненные смеси (табл. 1.2).

Таблица 1.2

**Рецептуры стандартных ненаполненной и наполненной резиновых смесей на основе натурального каучука**

Наименование ингредиентов	Содержание, мас. ч.	
	Ненаполненная	Наполненная
Натуральный каучук (НК)	100,00	100,00
Сера техническая	3,00	2,25
Каптакс	0,70	–
Сантокур TBBS	–	0,70
Оксид цинка	5,00	5,00
Стеариновая кислота	0,50	2,00
Технический углерод (техуглерод) типа N330	–	35,00

Ненаполненная смесь отличается высоким содержанием каучука (90–92%), в ее состав, кроме каучука и серы, входят ускорители, активаторы и противостарители. Наполненные резиновые смеси содержат еще и наполнители. Содержание каучука в этих смесях составляет 30–90%.

Ненаполненные резиновые смеси из синтетических каучуков обычно не применяются для изготовления изделий, так как они труднее поддаются обработке и не могут обеспечить нужные физико-механические свойства. Для осуществления проверки качества каучука при поступлении его на предприятия разработаны стандартные рецептуры, в составе которых наполнитель может не применяться.

Рецептура резиновой смеси составляется в расчете на 100 мас. частей (мас. ч.) каучука, причем общее содержание одного или двух различных каучуков принято за 100 мас. ч. Все некаучуковые ингредиенты представлены в расчете на 100 мас. ч. каучука, что дает возможность легко корректировать состав вулканизирующей группы, наполнителя и т. д., учитывая, что между различными компонентами и каучуком существуют относительные пропорции. Таким образом, не требуется делать пересчет содержания других компонентов после того, как установлено количество одного или двух компонентов.



Если используют маслonaполненный или саженаполненный каучуки, в общем расчете доля такого каучука превышает 100 настолько, чтобы доля каучукового углеводорода составляла 100.

Рецептура резиновой смеси записывается в пяти формах:

- в массовых частях на 100 мас. ч. каучука (основной вариант);
- в массовых процентах;
- в объемных процентах;
- в объемных частях;
- в килограммах (граммах) на одну заправку смесительного оборудования (рабочая или производственная рецептура).

## Лабораторная работа № 1

---

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ РАСЧЕТА РЕЦЕПТУР РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Цель работы:* освоить методику расчета рецептуры резиновых смесей различного назначения.

#### Порядок проведения работы

Провести расчет рецепта резиновой смеси, т. е. определить массовую концентрацию (мас. %) каучука и ингредиентов, их объем и объемную концентрацию (об. %), расчетные навески компонентов на используемый вид смесительного оборудования и теоретическую плотность смеси.

Компоненты в рецептуре резиновой смеси рекомендуется приводить в определенной *последовательности*:

- каучук (или несколько каучуков), каучукоподобные полимеры, регенерат;
- вулканизирующий агент;
- ускорители вулканизации;
- активаторы вулканизации;
- пластификаторы и мягчители;
- противостарители;
- специальные ингредиенты (модификаторы, красители, порообразователи и др.);
- наполнители.

В табл. 1.3 приведена форма записи рецепта резиновой смеси.

Таблица 1.3

**Рецепт резиновой смеси (указывается назначение смеси)**

Наименование каучуков и ингредиентов	Массовые части на 100 мас. ч. каучука	Массовые проценты	Плотность каучука и ингредиентов, кг/м <sup>3</sup>	Объем каучука и ингредиентов, м <sup>3</sup>	Объемные проценты	Расчетная навеска компонентов на одну заправку, кг		
						Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3
<i>Пример</i>								
СКИ	100,00	50,30	910	0,10989	68,69			
Сера молотая	2,00	1,01	2000	0,00098	0,612			
...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>Итого</i>		100,00	–		100,00			

После таблицы указывается:

- теоретическая плотность резиновой смеси, кг/м<sup>3</sup>;
- объем заправки в смесительное оборудование (марка вальцов, резиносмесителя и т. д.) на каждой стадии, м<sup>3</sup>.

### Методика расчета

Для расчета навески ингредиентов на одну заправку для изготовления смеси определенного состава необходимо знать массу заправки  $G$ , кг:

$$G = V_3 \cdot \rho_{см}, \quad (1.1)$$

где  $V_3$  – объем единовременной заправки, м<sup>3</sup>;  $\rho_{см}$  – плотность резиновой смеси, кг/м<sup>3</sup>.

В свою очередь, объем единовременной заправки зависит от вида применяемого оборудования и полезного использования объема смесительной камеры. Для резиносмесителя полезный объем составляет, как правило, 0,53–0,70 его полного объема в зависимости от типа резиносмесителя.

Объем единовременной загрузки на вальцы  $V_3$ , м<sup>3</sup>, приближенно находят по формуле

$$V_3 = 0,065 \cdot D \cdot L, \quad (1.2)$$

где 0,065 – эмпирический коэффициент;  $D$  – диаметр рабочей поверхности валка, м;  $L$  – длина рабочей поверхности валка, м.

Плотность резиновой смеси  $\rho_{см}$ , кг/м<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$\rho_{см} = \frac{m_{общ}}{V_{общ}}, \quad (1.3)$$

где  $m_{общ}$  – суммарная масса всех ингредиентов, входящих в состав резиновой смеси, кг;  $V_{общ}$  – суммарный объем всех ингредиентов, м<sup>3</sup>.

Навеску каждого ингредиента  $P$ , кг, на одну заправку вычисляют по формуле

$$P = g \cdot \frac{G}{\sum g}, \quad (1.4)$$

где  $g$  – содержание одного ингредиента, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука;  $\sum g$  – содержание всех ингредиентов, входящих в состав смеси, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Содержание каучука и ингредиентов  $C$ , мас. %, находят по следующей формуле:

$$C = \frac{m \cdot 100}{m_{общ}}, \quad (1.5)$$

где  $m$  – масса одного ингредиента, входящего в состав смеси, кг.

Объем каучука и ингредиентов  $V$ , м<sup>3</sup>, рассчитывают по формуле

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (1.6)$$

где  $\rho$  – плотность соответствующего ингредиента, входящего в состав смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Объемные проценты  $C'$ , об. %, определяют по следующей формуле:

$$C' = \frac{V \cdot 100}{V_{общ}}, \quad (1.7)$$

где  $V$  – объем соответствующего ингредиента, входящего в состав смеси, м<sup>3</sup>.

В табл. 1.4 приведен расчет навесок компонентов для резиновой смеси комбинации каучуков СКИ-3 + СК(М)С-30АРКМ-15 + СКД при изготовлении ее в резиносмесителе общим объемом

смесительной камеры  $190 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  при коэффициенте загрузки смесительной камеры, равном 0,7.

Таблица 1.4

**Пример расчета навесок ингредиентов на одну заправку**

Наименование каучука и ингредиентов	Массовые части на 100 мас. ч. каучука	Массовые проценты	Плотность каучука и ингредиентов, кг/м <sup>3</sup>	Объем каучука и ингредиентов, м <sup>3</sup>	Объемные проценты	Расчетная навеска компонентов на одну заправку, кг	
						Стадия 1	Стадия 2
СКИ-3	20,00	9,91	920	0,02174	12,42	15,22	–
СКД	40,00	19,82	910	0,04396	25,11	30,43	–
СК(М)С-30АРКМ-15	40,00	19,82	960	0,04167	23,80	30,43	–
Сера молотая	2,00	0,99	2050	0,00098	0,56	–	1,35
Сантокур CBS	1,50	0,74	1300	0,00115	0,66	–	1,13
Белила цинковые	5,00	2,48	5470	0,00091	0,52	3,80	–
Стеариновая кислота	2,00	0,99	950	0,00211	1,20	1,52	–
Фталевый ангидрид	0,30	0,15	1300	0,00023	0,13	0,23	–
Масло И-40	20,00	9,91	970	0,02062	11,78	15,22	–
Ацетонанил Н	2,00	0,99	1080	0,00185	1,06	1,52	–
БРРД	2,00	0,99	1150	0,00174	0,99	1,52	–
Воск защитный	2,00	0,99	1010	0,00198	1,13	1,52	–
Техуглерод N650	65,00	32,22	1800	0,03611	20,64	49,46	–
<i>Смесь после первой стадии</i>	–	–	–	–	–	–	150,87
<i>Итого</i>	201,8	100,00	–	0,17504	100	150,87	153,35

При замене одного компонента другим очень важно знать его содержание в смеси в объемных процентах, так как действие этого компонента в резине зависит не только от массового, но и от объемного содержания его в смеси.

**Задание**

1. Рассчитать навеску ингредиентов на одну заправку для изготовления резиновой смеси в резиносмесителе с общим объемом смесительной камеры  $650 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  при коэффициенте загрузки смесительной камеры, равном 0,7 (табл. 1.5).

Таблица 1.5

## Расчет навесок ингредиентов на одну заправку

Наименование каучука и ингредиентов	Массовые части на 100 мас. ч. каучука	Массовые проценты	Плотность каучука и ингредиентов, кг/м <sup>3</sup>	Объем каучука и ингредиентов, м <sup>3</sup>	Объемные проценты	Расчетная навеска КОМПОНЕНТОВ на одну заправку, кг	
						Стадия 1	Стадия 2
НК	100,00						
Сера молотая	1,00						
Сера «Кристекс»	1,00						
Альтакс	0,20						
Сантокур CBS	1,20						
Белила цинковые	3,00						
Стеариновая кислота	2,00						
Сантогард PVI	0,2						
Битум нефтяной	3,00						
Канифоль сосновая	2,50						
Масло И-40	3,00						
Смола СИС	3,00						
Малеид Ф	2,00						
6PPD	1,00						
Техуглерод N650	30,00						
<i>Смесь после первой стадии</i>	153,1						
<i>Итого</i>	153,1						

2. Рассчитать навеску ингредиентов на одну заправку для изготовления резиновой смеси по вариантам (табл. 1.6 и 1.7).

Таблица 1.6

## Рецепты резиновых смесей (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука)

Наименование каучука и ингредиентов	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
НК	70,00	—	—	40,00	100,00	25,00	—	—	—	50,00
СКИ-3	—	70,00	70,00	—	—	—	—	100,00	55,00	50,00
СКМС-30АРКМ-15	—	30,00	30,00	—	—	—	100,00	—	45,00	—
СКД	30,00	—	—	50,00	—	—	—	—	—	—
СКС-30АРК	—	—	—	10,00	—	—	—	—	—	—
ХБК	—	—	—	—	—	75,00	—	—	—	—
Регенерат	—	20,00	—	—	—	—	—	—	—	—
Сера молотая	1,00	1,90	2,00	—	1,50	—	1,90	2,00	1,70	—
Сера «Кристекс»	—	—	—	2,00	—	—	—	—	—	6,50

Наименование каучука и ингредиентов	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дитиодиморфолин	1,50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Октофор	–	–	–	–	–	2,00	–	–	–	–
Альтакс	–	0,20	–	–	–	1,20	–	0,20	–	–
Сантокур CBS	1,10	0,80	0,90	0,90	–	–	1,30	0,80	1,60	0,80
Сантокур TBBS	–	–	–	–	1,70	–	–	–	–	–
Белила цинковые	5,00	4,00	4,00	3,00	3,00	3,00	3,00	4,00	4,00	7,00
Стеариновая кислота	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,00
Сантогард PVI	0,20	–	–	–	–	–	–	–	–	0,40
Бензойная кислота	0,50	–	0,30	–	–	–	–	–	–	–
Фталевый ангидрид	–	0,50	0,50	–	–	–	0,50	0,50	0,50	–
Цинол+	–	–	–	1,00	1,00	–	–	–	–	–
Структол 40MS	–	–	–	–	–	4,00	–	–	–	–
Битум нефтяной	–	5,00	–	–	–	–	–	3,00	–	–
Канифоль сосновая	2,00	1,00	–	1,00	1,00	–	2,00	1,00	–	2,50
Масло И-40	5,00	5,00	8,00	3,00	–	7,00	3,00	6,00	19,00	5,00
Смола СИС	–	–	3,00	3,00	–	1,00	4,00	3,00	2,00	1,00
Ацетонанил Н	2,00	–	2,00	1,00	1,00	–	1,00	–	2,00	–
6PPD	3,00	1,00	2,00	3,00	1,50	–	1,50	1,00	1,50	1,00
DOX-1	–	–	–	1,00	–	–	–	–	–	–
Защитный воск	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	–	1,00	1,00	3,00	–
Модификатор РУ	–	1,50	–	–	–	–	–	2,00	–	–
Стеарат кобальта	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,00
Техуглерод N650	–	50,00	57,00	–	–	55,00	–	45,00	–	–
Техуглерод N220	45,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Техуглерод N330	–	–	–	45,00	35,0	–	55,00	–	75,00	60,00
Белая сажа	10,00	–	–	–	5,00	–	–	–	–	–

Таблица 1.7

**Исходные данные для расчета навески компонентов на одну заправку**

Вариант	Стадий- ность	Объем смесительной камеры, $10^{-3} \text{ м}^3$			Коэффициент загрузки	
		Стадия 1	Стадия 2	Стадия 3	Стадии 1–2	Стадия 3
1	3	650	650	270	0,75	0,70
2	2	270	270	–	0,75	–
3	2	330	270	–	0,75	–
4	2	320	305	–	0,60	–
5	3	320	320	305	0,60	0,75
6	2	270	270	–	0,70	–
7	2	270	270	–	0,75	–
8	3	330	330	270	0,60	0,70
9	2	270	270	–	0,75	–
10	3	330	330	305	0,60	0,70

## Контрольные вопросы

1. Укажите порядок расчета рецептуры резиновых смесей.
2. Приведите формы записи рецептур резиновых смесей.
3. С какой целью производят расчет объемного содержания компонентов смеси?
4. Обоснуйте факторы, влияющие на расчет навески ингредиентов на одну заправку для изготовления резиновой смеси.
5. На чем основан выбор коэффициентов загрузки смесительного оборудования?
6. Приведите формулы для расчета навесок ингредиентов на одну заправку.
7. Перечислите ингредиенты, входящие в состав рецептур резиновых смесей.

## Глава 2

# ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЦЕПТУР ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ШИН

---

Разработка рецептуры резин для различных деталей шин должна проводиться на основе анализа режима и условий нагружения резины, требований к шинам различного назначения, результатов исследования зависимости выходных характеристик резин от их более простых свойств, а также свойств материалов.

Главная задача при разработке рецептур эластомерных композиций состоит в отыскании оптимального баланса между физико-механическими свойствами резины, обеспечивающими поставленные требования, технологическими свойствами, удовлетворяющими условиям действующего производственного процесса, и экономической эффективностью.

Построение рецептур резиновых смесей состоит из нескольких этапов:

- составление рецепта с учетом требований к изделиям из эластомеров;
- опробование резиновых смесей в лабораторных условиях с проведением физико-механических испытаний резин и последующее внесение в рецептуру поправок;
- опробование резиновых смесей в производственных условиях на всех основных стадиях производства и последующее внесение в рецептуру дополнительных поправок;
- проверка качества резины (в случае необходимости) при эксплуатации пробной партии изделий.

## 2.1. ПОКРОВНЫЕ РЕЗИНОВЫЕ СМЕСИ

---

К покровным резинам шин относятся резины протектора (резины бегового и подканавочного слоя) и боковин. Данные резины обеспечивают взаимодействие автомобиля с дорогой, а также защиту каркаса покрышки от различного рода механических повреждений и атмосферного воздействия.



Покровные резины играют существенную роль в обеспечении важнейших эксплуатационных показателей шин: тягово-сцепных и топливно-экономических характеристик, долговечности, надежности и ремонтпригодности.

### 2.1.1. Резиновые смеси бегового слоя (протекторные смеси)

Основными выходными характеристиками протекторных резин являются:

- упруго-гистерезисные свойства;
- коэффициент трения;
- износостойкость;
- стойкость к механическим повреждениям;
- усталостная выносливость.

При разработке протекторных резин целесообразно отдавать предпочтение одному-двум приоритетным свойствам, которые определяются требованиями и условиями эксплуатации. Другие эксплуатационные характеристики при этом должны быть сохранены или могут быть даже несколько снижены.

В табл. 2.1 приведены приоритетные характеристики протекторных резин и шин в зависимости от их назначения и условий эксплуатации.

Таблица 2.1

#### Приоритетные характеристики протекторных резин и шин в зависимости от их назначения и условий эксплуатации

Назначение шин и условия их эксплуатации	Приоритетные эксплуатационные характеристики шин	Приоритетные выходные характеристики резин
Сверхкрупногабаритные шины и крупногабаритные шины с большим плечом перевозок	Низкие сопротивление качению и теплообразование. Высокая стойкость к механическим повреждениям	Низкие гистерезисные потери в режиме заданной энергии цикла ( $K/E$ ). Высокая энергия прорыва ( $W$ )
Крупногабаритные шины с тяжелыми условиями эксплуатации (карьеры, рудники) и малым плечом перевозок	Высокая износостойкость посредством «скалывания». Высокая стойкость к механическим повреждениям	Высокий модуль потерь ( $K$ ). Высокая энергия прорыва

Назначение шин и условия их эксплуатации	Приоритетные эксплуатационные характеристики шин	Приоритетные выходные характеристики резин
Грузовые шины радиальной и диагональной конструкции, эксплуатирующиеся на дорогах с неусовершенствованным покрытием	Низкое теплообразование. Высокая износостойкость (в первую очередь при абразивном износе)	Низкие гистерезисные потери в режиме заданной энергии цикла. Низкая истираемость. Высокая энергия прорыва
Автобусные шины и грузовые шины с высокой интенсивностью работы трения на усовершенствованных дорогах	Низкие сопротивление качению и теплообразование	Низкие гистерезисные потери в режиме заданной энергии цикла
Легко-грузовые шины и легковые шины диагональной конструкции, эксплуатирующиеся на дорогах с усовершенствованным покрытием (городской цикл)	Высокая устойчивость и управляемость автомобиля. Высокая износостойкость (в первую очередь при усталостном износе)	Высокий модуль потерь или $\text{tg}\delta$ при $0^\circ\text{C}$ . Низкая истираемость при низком модуле упругости $M_{300}$
Легко-грузовые шины, эксплуатирующиеся на дорогах с неусовершенствованным покрытием (джипы, внедорожники)	Высокая износостойкость (в первую очередь при абразивном износе и износе посредством «скаtywания»)	Низкая истираемость при высоком модуле упругости $M_{300}$
Высокоскоростные легковые шины (категории скорости H, V, Z)	Высокое сцепление с мокрой дорогой. Низкое шумообразование	Высокий коэффициент трения с мокрой поверхностью. Низкий динамический модуль ( $E$ )
Легковые шины (категории скорости S, T)	Низкое сопротивление качению. Высокое сцепление с мокрой дорогой	Низкие гистерезисные потери в режиме $K/E^{0.5}$ . Высокий коэффициент трения с мокрой поверхностью
Экологически чистые («зеленые») легковые шины	Сверхнизкое сопротивление качению	Низкие потери в режиме $K/E^{0.5}$ за счет низкого модуля потерь ( $K$ ) при невысоком динамическом модуле
Зимние легковые шины	Высокое сцепление со льдом и снегом	Высокая эластичность. Низкая твердость при нормальных и отрицательных температурах

**2.1.1.1. Выбор типа полимера.** В протекторных резинах автомобильных шин используются каучуки общего назначения: НК, СКИ-3, СКД, БСК.

Потери на качение и, следовательно, теплообразование в шинах прямо связаны с отношением модуля внутреннего трения  $K$  к динамическому модулю  $E$  в протекторных резинах. В связи с тем что резины на основе НК, СКИ-3, СКД характеризуются низким  $K$ , с повышением размера шин возрастает их содержание и, соответственно, снижается доля БСК.

В протекторе легковых шин используются резины на основе 100%-го БСК (преимущественно в радиальных шинах с металлокордом в брекере) и комбинация БСК с 25,0–40,0 мас. ч. СКД (преимущественно в диагональных шинах).

В протекторных резинах малых грузовых шин, для которых требования по снижению гистерезисных потерь (с точки зрения работоспособности шин) не являются приоритетными, используется в основном комбинация БСК с СКД (70 : 30).

В протекторе средних и тяжелых грузовых радиальных и диагональных шин, эксплуатирующихся на дорогах с неусовершенствованным покрытием, применяется тройная комбинация полимеров НК (СКИ-3) + СКД + БСК (50 : 25–30 : 25–30), которая обеспечивает низкие гистерезисные потери при достаточно высокой износостойкости.

В протекторе автобусных шин и грузовых шин с высокой интенсивностью работы трения на усовершенствованных дорогах наиболее предпочтительна резина на основе комбинации стереорегулярных каучуков НК (СКИ-3) и СКД. Для протектора цельнометаллокордных шин (ЦМК шин), предназначенных для городских и междугородных автобусов, к которым предъявляются повышенные требования к упруго-прочностным свойствам, рекомендуется резина в комбинации 85 мас. ч. полиизопрена и 15 мас. ч. СКД, для автомобильных прицепов с большой грузоподъемностью – резина на основе 100 мас. ч. полиизопрена, которая характеризуется высоким уровнем упругопрочностных свойств и стойкости к механическим повреждениям.

Для крупногабаритных шин, эксплуатирующихся в карьерах и рудниках при низких скоростях и с малым плечом перевозок, наиболее целесообразно применение резин на основе 100 мас. ч. немаслонаполненного БСК, превосходящих резины из 100%-го полиизопрена по стойкости к «скалыванию» («выкрашиванию»), но имеющих при этом высокие гистерезисные потери.

Для СКГШ и КГШ, эксплуатирующихся с большим плечом перевозок, используются протекторные резины на основе изопреновых

каучуков, сочетающие удовлетворительную стойкость к механическим повреждениям с низкими гистерезисными потерями.

В табл. 2.2 представлено ранжирование резин на основе промышленных полимеров по технологическим свойствам и важнейшим выходным характеристикам резин в зависимости от условий эксплуатации.

Таблица 2.2

**Ранжирование протекторных резин на основе каучуков общего назначения по влиянию на технологические и технические свойства**

Показатель	Каучук				
	НК	СКИ-3	СКД	БСК	БСК (маслона- полненный)
Сопротивление качению	5	5	5	4	4
Коэффициент трения по мокрой поверхности	4	3–4	1	4–5	5
Коэффициент трения со льдом (–12°C)	4	4	5	2	1
Гистерезисные потери:					
– при 60°C	1	1	1–2	4	5
– при 0°C	3	3	1	4	5
Износостойкость резин:					
– в «мягких» условиях эксплуатации	5	4	3–4	4	3–4
– в условиях высокой интенсивности работы трения	2	1	5	3	3–4
– в условиях повышенной температуры окружающей среды	3	2–3	4	4–5	5
Морозостойкость резин	4	4	5	3	3
Сопротивление резин разрастанию трещин	5	5	5	4	4

В целях использования ценных свойств, присущих определенным типам полимеров, в рецептуре резин широко применяются комбинации каучуков, позволяющие не только компенсировать недостатки того или иного полимера, но и в ряде случаев обеспечить более высокие свойства, чем у резин с применением индивидуальных полимеров. Примером может служить повышенная усталостная выносливость резин на основе полиизопрена и полибутадиена. Добавление БСК к полиизопрену позволяет повысить стойкость резин к реверсии при вулканизации, термоокислительную устойчивость и сцепление с мокрой дорогой.

С другой стороны, введение небольших количеств полиизопрена в протекторные резины на основе БСК и комбинации БСК и полибутадиена повышает клейкость, прочность связи с брекером и прочность стыка протектора при сборке. Добавки полибутадиена (20,0–30,0 мас. ч.) обеспечивают повышение динамического модуля, стойкости шин к «растрескиванию» по канавкам протектора и морозостойкости. При этом комбинирование полибутадиена с полиизопреном и БСК позволяет компенсировать присущие резинам с полибутадиеном неудовлетворительные технологические свойства, склонность к «скалыванию», низкий коэффициент трения.

Температура окружающей среды также оказывает существенное влияние на выбор типа полимера. При высоких температурах для грузовых шин целесообразно применение полиизопрена или полиизопрена с добавками БСК, для легковых – БСК. При низких температурах для грузовых шин рекомендуется полиизопрен + полибутадиен, для легковых шин – БСК + полибутадиен + полиизопрен или БСК + полибутадиен.

**2.1.1.2. Выбор компонентов резиновой смеси.** Выбор состава вулканизирующей группы обусловлен необходимостью обеспечить безопасную переработку смесей, с одной стороны, и высокую скорость вулканизации и минимальной реверсии свойств – с другой. Для смесей на основе ПИ и ПБ, характеризующихся высокой склонностью к подвулканизации и скоростью вулканизации, рекомендуется применение ускорителей замедленного действия типа сульфенамида Т (ТВБС) и сульфенамида 2Ц (DCBS), а в резинах на основе 100,0 мас. ч. БСК и с его большим содержанием – сульфенамида Ц (СBS).

С целью повышения стойкости к реверсии и теплостойкости резин целесообразно применять уменьшенное соотношение серы и ускорителя (полуэффективные системы вулканизации). Для протекторных смесей, подвергающихся длительной вулканизации, применяются системы с малым количеством серы, содержащие, например, дитиодиморфолин.

В качестве замедлителей вулканизации для резин на основе стереорегулярных каучуков рекомендуется N-циклогексилтиофталимид (сантогард РVI), а для смесей с преимущественным содержанием БСК – фталевый ангидрид.

*Выбор типа и содержания наполнителей и пластификаторов определяется необходимостью обеспечения перерабатываемости*

смесей и соблюдения требований к упруго-гистерезисным свойствам. Поскольку гистерезисные потери возрастают с повышением наполнения, для протектора шин больших размеров содержание техуглерода выбирается на нижнем пределе, а для протектора легковых и малых грузовых шин – на верхнем.

В настоящее время наряду с активными марками технического углерода используются природные минеральные наполнители как экологически безопасные ингредиенты эластомерных композиций, их можно рассматривать в качестве наполнителей будущего для создания так называемых «зеленых шин».

Из жидких пластификаторов наибольшее применение нашли высокоароматические нефтяные масла. Для улучшения технологических свойств смесей вводят термопластичные пластификаторы.

Содержание техуглерода, оптимальное с точки зрения износостойкости, выбирается в пределах области наполнения, которая сдвигается в сторону большей концентрации техуглерода в ряду резин:

$$\text{НК} < \text{СКИ-3} < \text{БСК} < \text{СКД}.$$

В общем виде, на основании литературных данных, наполнение техуглеродом составляет в резине крупногабаритных шин на основе 100,0 мас. ч. полиизопрена – 45,0 мас. ч. (с добавками кремнекислотного наполнителя), для протектора автобусных и тяжелых грузовых шин на основе полиизопрена + СКД – 50,0–55,0 мас. ч., в протекторной резине для средних грузовых шин на основе полиизопрена + СКД – 55,0–60,0 мас. ч., для легковых радиальных шин на основе БСК – 60,0–65,0 мас. ч., для малых грузовых и легковых шин на основе БСК + СКД – 65,0–70,0 мас. ч. Содержание масла на 100,0 мас. ч. углеводорода составляет соответственно 5,0–10,0; 10,0–15,0; 15,0–20,0; 25,0–30,0 мас. ч.

Содержание масла зависит от содержания технического углерода, и, следовательно, с увеличением техуглерода дозировка масла повышается. Но следует учитывать тот факт, что с ростом дозировки масла снижаются прочностные и упруго-гистерезисные свойства резин.

Увеличение наполнения смесей техническим углеродом и маслом повышает коэффициент трения по мокрой поверхности, что является приоритетным требованием для высокоскоростных легковых шин. При этом если содержание техуглерода находится в области оптимального наполнения, износостойкость шин снижается

незначительно. Добавки кремнекислоты в количестве 5 мас. ч. позволяют снизить тормозной путь на мокрой дороге на 4%, однако при этом на столько же снижается износостойкость.

В комбинации с маслом используются смолы: КИС, СИС, нефтеполимерные смолы, углеводородные смолы, канифоль или смола октофор N – для повышения конфекционной клейкости. Смолы улучшают технологические свойства резиновой смеси, распределение ингредиентов в каучуке и повышают упругие свойства резин, не снижая прочностных.

Влияние наполнителей и пластификаторов на сцепные характеристики протекторных резин в зимних условиях определяются их влиянием на упруго-гистерезисные свойства резин ( $E$ ,  $E''$ ,  $\text{tg}\delta$ ) и смачиваемость их поверхности. Введение наполнителей существенно снижает сопротивление скольжению резин по льду вследствие увеличения  $E$  и  $E''$ . Введение мягчителей, напротив, способствует уменьшению этих характеристик и приводит к увеличению сопротивления скольжению резин по льду. Повышение смачиваемости резин усиливает их сцепление со льдом. В этой связи замена части техуглерода, например, на гидрофильную белую сажу обеспечивает повышение коэффициента трения по обледенелому покрытию, особенно при температурах от 0 до  $-5^{\circ}\text{C}$ .

**2.1.1.3. Протекторные резиновые смеси «зеленых» шин.** Разработка концепций Green Tire Technology и Silica Technology предусматривает на стадии производства улучшение санитарно-гигиенических условий труда, а на стадии эксплуатации – снижение потерь на качение шин с целью уменьшения расхода топлива и выброса выхлопных газов в атмосферу.

Повышение экологической безопасности при изготовлении шин с точки зрения совершенствования рецептуры резин достигается, в первую очередь, путем исключения или сокращения содержания материалов, при переработке которых наблюдается выделение канцерогенных олигомеров (СКД-2, СКИ-3), нитрозоаминов (эмульсионный БСК, сульфенамид М, дитиодиморфолин), полициклических ароматических углеводородов (масло ПН-6) и других вредных веществ. В этой связи перспективным является применение экологически чистых БСК, ПИ и ПБ растворной полимеризации, полученных на литийорганических и неодимовых катализаторах, ускорителей TBBS и DCBS, нефтяных масел типа MES и TDAE

и растительного происхождения, непылящей полимерной серы и полифункциональных технологических добавок.

В настоящее время в протекторных резинах активно используются осажденные высокоструктурные кремнеземы в сочетании с силанами взамен технического углерода или его части, что способствует уменьшению выделения вредных соединений из резины и обеспечивает существенное снижение потерь на качение и расход топлива автомобилем. Ведущими производителями кремнекислотных наполнителей Evonik Degussa (Германия), Rhodia (Франция), ОАО «Сода» (Россия) и другими ведутся разработки новых марок наполнителей, обладающих улучшенными показателями перерабатываемости, приемлемыми параметрами структурно-дисперсных показателей первичных агрегатов, а также реакционной способности поверхностных функциональных групп ККН.

Для создания «зеленых» шин фирмы Michelin и Bridgestone используют передовые материалы, технологии и оборудование: RC Polimer – бутадиеновый каучук с атомом кремния на конце полимерной цепи; NanoProTech – технология с применением наноматериалов; CSDPF – YKDM – двухфазные высокодисперсные техуглерод – кремнекислотные наполнители с повышенным содержанием кремнекислоты на поверхности агрегатов; микрокапсулированные высокодисперсные кремнекислотные наполнители; резиносмесители с взаимозацепляющимися роторами с валковой головкой и др.

В России на ряде шинных заводов (ОАО «Ярославский шинный завод», ОАО «Нижекамскшина») внедрены резины «зеленых» шин с применением экологически чистых растворных бутадиен-стирольных каучуков ДССК-2545М27, силанов и высокодисперсных импортных кремнеземов, позволяющих улучшить сцепные характеристики шин на мокрой и зимней дороге и снизить потери на качение.

## 2.1.2. Резиновые смеси подканавочного слоя

Использование различных по составу резин в беговой и подканавочной частях протектора открывает возможность снижения потерь на качение шин без ухудшения их износостойкости и сцепления с дорогой.

К резине подканавочного слоя предъявляются требования высокой усталостной выносливости и надежной прочности связи с брекером



и беговой частью протектора. Поскольку в подканавочном слое реализуется режим нагружения, близкий к режиму заданной деформации, для обеспечения низких гистерезисных потерь следует стремиться к минимальному модулю потерь. Динамический модуль должен быть при этом достаточно высоким, чтобы обеспечить необходимую боковую устойчивость шин.

За рубежом резина подканавочного слоя изготавливается на основе комбинации НК и полибутадиена в соотношении 60–90 : 40–10 (в среднем 75 : 25). По сравнению с резиной беговой части шин с дорожным рисунком протектора резина для подканавочного слоя характеризуется существенно большим каучуко содержанием (56–65%) и, соответственно, меньшим наполнением техуглеродом и пластификаторами (в среднем соответственно 46,0 и 14,0 мас. ч.). Низкое наполнение смесей техуглеродом обуславливает пониженную плотность резин подканавочного слоя (1,11 против 1,16–1,17 для резин бегового слоя). Твердость резины подканавочного слоя колеблется между 56 и 63 международными единицами, что существенно ниже, чем у резины беговой части протектора (66–70).

В НИИ шинной промышленности (Россия) разработана резина на основе комбинации СКИ-3 (НК) + СКД в соотношении 75 : 25 с применением полуусиливающего техуглерода или активного техуглерода, но в меньшей по сравнению с резиной беговой дорожки дозировке. Разработанная резина существенно превосходит резину беговой дорожки по усталостной выносливости и прочности связи с брекером и характеризуется в 1,5–2 раза более низким модулем потерь. По данным стендовых испытаний, применение в подканавочном слое этой резины существенно (примерно на 10%) снижает потери на качение шин по сравнению с контрольными шинами (с однослойным протектором).

### 2.1.3. Резиновые смеси для боковины

Основными требованиями к резинам боковин являются высокая усталостная выносливость и атмосферостойкость.

Из каучуков общего назначения наибольшей усталостной выносливостью при высоких базах утомления обладают резины из полибутадиена, а при низких – из полиизопрена. В соответствии с этим для боковин используется комбинация полибутадиена с изопреновыми каучуками в диапазоне 30–50 : 70–50. Для обеспечения

удовлетворительных технологических свойств и прочности стыка боковины наиболее часто применяется комбинация НК (СКИ-3) и СКД в соотношении 50 : 50. С целью улучшения технологических свойств и повышения стойкости к порезам в рецептуру боковины вводят 15,0–20,0 мас. ч. БСК. Для повышения усталостной выносливости целесообразно использовать неодимовые полибутадиены и полиизопрены и их сополимеры (СКДИ).

Принимая во внимание, что резина боковин работает в режиме заданной деформации, с целью снижения напряжений в резине и соответственно повышения ее работоспособности при выборе содержания вулканизирующей группы стремятся к созданию резин с относительно низким модулем при сохранении их прочностных свойств. В связи с этим содержание серы в резинах боковин составляет 1,0–2,0 мас. ч. В вулканизационную группу входит сульфенамид Ц в сочетании с ZnO и стеариновая кислота.

В качестве наполнителя наиболее часто применяются полуусиливающие типы техуглерода серии N500 и N600, обеспечивающие более высокий, чем в случае применения усиливающих типов техуглерода, уровень усталостных свойств резины. В производстве КГШ используют и более активные типы техуглерода серии N300. Применение этих типов техуглерода обеспечивает повышение прочностных свойств резин, в том числе стойкости к пробоям и износостойкости, на что в последнее время стали обращать внимание из-за случаев выхода из строя шин по причине истирания боковины о бордюр при парковке автомобиля.

Содержание техуглерода в целях повышения усталостной выносливости выбирается сравнительно невысоким (45,0 мас. ч.) для более деформируемой резины боковин легковых радиальных шин и 55,0 мас. ч. – для резины грузовых радиальных шин.

Для улучшения эксплуатационных свойств резины боковин предлагается использовать кремнекислотные наполнители. Показано, что частичная замена 8–10 мас. ч. техуглерода на кремнекислоту приводит к улучшению стойкости резин к раздиру, озоностойкости и повышению сопротивления разрастанию трещин без ухудшения вулканизационных характеристик смеси боковины.

При увеличении содержания ПБ в составе резиновых смесей ухудшаются их технологические свойства при обработке на оборудовании, в частности, смесь плохо «садится» на валок. Для улучшения адгезии к валкам и шприцуемости в рецептуре

резины боковины наряду с нефтяными пластификаторами используются термопластичные пластификаторы и бензойная кислота (в дозировке  $\approx 0,3$  мас. ч.). При введении в рецептуру каучука БСК бензойную кислоту можно не применять.

Для защиты боковины от старения используются химические стабилизаторы в комбинации с защитными восками. Оптимальной стабилизирующей системой для резин боковины на основе каучуков общего назначения является тройная комбинация производных *n*-фенилендиамина (IPPD, 6PPD), производных дигидрохинолина (например, TMO) и микрокристаллического воска. Применение подобных резин практически исключило выход шин из эксплуатации по дефекту «трещины» на боковине.

Содержание производных *n*-фенилендиамина в рецептуре резин для боковин колеблется от 1,0 до 2,0 мас. ч. в сочетании с 2,0 мас. ч. производных дигидрохинолина. Однако применяются и существенно большие дозировки производных *n*-фенилендиамина (4,0 мас. ч.) без производных дигидрохинолина. Содержание микрокристаллического воска составляет 1,5–2,0 мас. ч.

Как известно, эффективность действия стабилизатора снижается за счет их улетучивания или вымывания, а также адсорбции стабилизаторов на поверхности техуглерода. При больших физических потерях стабилизатора стойкость резины к старению можно повысить введением дополнительного количества противостарителя, который будет компенсировать потери. При этом возникают нежелательные явления: снижение стойкости к подвулканизации, выцветание мигрирующего стабилизатора на поверхность изделия и ухудшение внешнего вида боковины. Поэтому можно пойти по пути введения резервного количества стабилизатора в деталь шины, удаленную от ее поверхности, например в резину каркаса, соприкасающуюся с боковиной. Другой путь решения этой проблемы – применение более высокомолекулярных и менее летучих и вымываемых стабилизаторов (например, 6PPD, DOX-1).

Защитные воски, применяемые в качестве инертных антиозонантов, мигрируют на поверхность резины, образуя на ней защитную пленку, имеющую обычно кристаллическую структуру. Углеводороды линейного строения (парафины) выцветают с большей скоростью, образуя хрупкую пленку крупнокристаллической структуры. Разветвленные углеводороды (церезины) выцветают медленнее с образованием плотной и менее хрупкой пленки микрокристаллической структуры.

Современной тенденцией в работах по совершенствованию свойств резин боковин является применение озоностойких полимеров. Это позволяет исключить или сократить количество применяемых стабилизаторов, что способствует решению экологических проблем и улучшению внешнего вида боковин. Так, применение 40,0 мас. ч. этилен-пропилдиенового каучука (EPDM) в сочетании с НК обеспечивает высокую озоностойкость и усталостную выносливость при отсутствии химических стабилизаторов. Однако для повышения адгезии резин на основе НК и EPDM к резине каркаса необходимо использовать EPDM с повышенным содержанием этилиден-норборнена и молекулярной массой каучука. Использование хлор- и бромбутилкаучуков в боковине позволяет, наряду с увеличением озоностойкости, повысить сопротивление тепловому старению, сопротивление разрастанию трещин, усталостную выносливость, устойчивость к высокотемпературной вулканизации.

## Лабораторная работа № 2

---

### РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ПОКРОВНЫХ РЕЗИН И СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ИХ СВОЙСТВ

*Цель работы:* освоить навыки составления рецептур покровных резиновых смесей (беговой слой, подканавочный слой, боковина) по заданным требованиям; оценить влияние состава покровных резиновых смесей на технические характеристики резин на их основе.

#### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал об особенностях разработки рецептур покровных резиновых смесей в зависимости от типа шин и условий их эксплуатации.

2. Ознакомиться с типовыми рецептурами покровных резиновых смесей (табл. 2.3). Определить основные принципы составления рецептур для бегового слоя и боковины шин различного назначения.

3. Определить назначение резиновой смеси (беговой слой, подканавочный слой, боковина) и тип шин, для которых она предназначена, в соответствии с номером варианта типовой рецептуры, полученным

от преподавателя (табл. 2.4). Описать условия эксплуатации шин, сформулировать основные требования к свойствам резиновых смесей и резин на их основе.

Таблица 2.3

**Типовые рецепты протекторных резиновых смесей (мас. ч.)**

Наименование компонентов	Большегрузные шины	Грузовые шины	Легковые шины	Боковины шин типа Р
Каучуки:				
– НК или СПИ	70,0	50,0	20,0	50,0
– СКД	30,0	30,0	40,0	50,0
– БСК	–	20,0	40,0	–
Сера	1,6	1,8	1,7	1,2
Ускорители вулканизации	1,2	1,3	1,1	1,1
Окись цинка	5,0	5,0	4,0	5,0
Стеарин технический	2,0	2,0	2,0	2,0
Замедлители подвулканизации	0,3	0,3	0,3	0,3
Технологические добавки	1,0	1,0	1,0	–
Противостарители	2,5	2,5	3,0	4,0
Воск микрокристаллический	2,0	2,0	2,0	2,0
Мягчители	15,0	19,0	14,0	11,0
Технический углерод:				
– активный	55,0	55,0	65,0	–
– полуактивный	–	–	–	50,0

Таблица 2.4

**Типовые рецепты покровных резиновых смесей (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука)**

Наименование каучука и ингредиентов	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
НК	100,0	–	100,0	40,0	70,0	50,0	–	–	50,0	100,0
СКИ-3	–	–	–	–	–	–	40,0	70,0	–	–
СКМС-30АРКМ-15	–	–	–	10,0	–	–	30,0	–	20,0	–
СКД	–	–	–	50,0	30,0	50,0	30,0	–	30,0	–
ДССК 2545М27	–	127,0	–	–	–	–	–	–	–	–
Сера молотая	1,2	1,8	1,0	1,2	1,6	1,2	1,8	1,8	1,8	1,6
Дитиодиморфолин	–	–	1,0	–	1,5	–	–	–	–	–
Сантокур ТВБС	1,1	–	0,6	–	–	–	–	–	–	1,7
Сантокур CBS	–	1,2	–	1,1	1,1	1,1	1,5	1,0	1,5	–
Дифенилгуанидин	–	1,4	–	–	–	–	–	–	–	–
Белила цинковые	3,0	3,0	5,0	3,0	5,0	5,0	3,0	4,0	3,0	3,0
Стеариновая кислота	2,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Сантогард РVI	0,2	–	0,3	–	0,2	0,2	0,3	–	0,3	–

Наименование каучука и ингредиентов	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Бензойная кислота	–	–	–	–	0,5	–	–	0,3	–	–
Фталевый ангидрид	–	0,5	–	–	–	–	–	0,5	–	–
Канифоль сосновая	–	2,0	–	2,0	2,0	1,0	–	–	2,0	1,0
Масло И-40	1,0	3,0	2,0	–	5,0	6,0	14,0	8,0	14,0	–
Смола СИС	1,0	4,0	–	2,5	–	3,0	2,0	3,0	1,0	–
Структол	–	2,0	–	0,5	–	–	–	–	–	1,0
Ацетонанил Н	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0
6PPD	1,5	2,0	1,0	3,0	3,0	3,0	1,5	2,0	2,0	1,5
DOX-1	1,0	–	–	1,0	–	–	–	–	–	–
Защитный воск	2,5	2,0	–	–	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	–
Перкалинк-900	0,5	–	0,5	–	–	0,5	–	–	–	0,5
Техуглерод N220	–	–	–	–	45,0	–	–	–	60,0	–
Техуглерод N330	45,0	–	40,0	45,0	–	–	65,0	–	–	35,0
Техуглерод N650	–	–	–	–	–	50,0	–	55,0	–	–
Белая сажа	1,0	65,0	–	–	10,0	–	–	–	–	5,0

4. Найти несоответствия в рецептурах резиновых смесей для бегового слоя и боковины (табл. 2.5). Ответ пояснить (письменно).

Таблица 2.5

**Типовые рецепты резиновых смесей для боковины и бегового слоя  
(мас. ч. на 100 мас. ч. каучука)**

Наименование каучуков и ингредиентов для боковины	Вариант		Наименование каучуков и ингредиентов для бегового слоя	Вариант	
	1	2		3	4
НК	70,00	30,00	НК	100,00	100,00
СКД	30,00	70,00	Сера молотая	1,90	1,90
Сера молотая	2,00	2,00	Сантокур CBS	2,90	1,90
Сантокур DCBS	2,00	–	Белила цинковые	3,00	3,00
Сантокур CBS	–	1,00	Стеариновая кислота	3,00	3,00
Белила цинковые	3,00	3,00	Сантогард PVI	0,15	0,15
Стеариновая кислота	2,00	2,00	Канифоль сосновая	4,00	4,00
Канифоль сосновая	3,00	3,00	Масло И-40	–	10,00
Масло И-40	2,00	–	Ацетонанил Р	2,00	2,00
Масло ПН-6Ш	–	8,00	IPPD	0,80	0,80
IPPD	0,70	2,7	Защитный воск	2,00	2,00
Защитный воск	6,00	3,00	6PPD	1,20	1,20
6PPD	1,50	1,50	Перкалинк-900	0,75	1,75
Техуглерод N220	50,00	50,00	Техуглерод N650	45,00	45,00
Модификатор РУ	–	1,00	Ультрасил VN-3	10,00	10,00

5. Выполнить индивидуальное задание. Составить рецепт (качественный и количественный состав) покровной резиновой смеси (беговой слой, подканавочный слой, боковина) для шин различного назначения. Выбор варианта задания производится в соответствии с табл. 2.6.

Таблица 2.6

**Вариант индивидуального задания**

Номер по списку группы	Тип покровной резины	Тип шины
1	Протектор-беговая	СКГШ
2	Протектор-боковина	СКГШ
3	Подканавочный слой	СКГШ
4	Протектор-беговая	Легковые шины
5	Протектор-боковина	Легковые шины
6	Протектор-беговая	Сельскохозяйственные шины
7	Протектор-боковина	Сельскохозяйственные шины
8	Протектор-беговая	КГШ
9	Протектор-беговая	Зимние легковые шины
10	Подканавочный слой	КГШ ЦМК

При составлении и обосновании рецепта рекомендуется использовать справочную и учебную литературу.

При обосновании рецепта необходимо отразить следующие пункты:

- назначение и условия эксплуатации изделия;
- технические требования к деталям бегового или подканавочного слоев или боковины;
- требования, предъявляемые к техническим свойствам резин;
- требования, предъявляемые к технологическим свойствам резиновых смесей;
- обоснование выбора каждого компонента и его дозировки.

Разработанный рецепт оформить в соответствии с предлагаемой формой (табл. 2.7).

Таблица 2.7

**Рецепт резиновой смеси для изготовления ... (наименование изделия)**

Наименование компонентов	Массовые части компонентов	Назначение компонентов

6. Выполнить одну из лабораторных работ № 3, 4, 5 по определению влияния состава покровных резиновых смесей на свойства резин.

Для выполнения лабораторных работ используются образцы покровных резин различного состава, например:

- образцы протекторных резин с разным содержанием технического углерода или кремнекислотного наполнителя одного типа;
- образцы протекторных резин одинакового состава, различающиеся типом технического углерода или кремнекислотного наполнителя;
- образцы протекторных резин с разным содержанием пластификатора (мягчителя);
- образцы протекторных резин одинакового состава, различающиеся типом или содержанием каучука и др.

### Контрольные вопросы

1. Какие основные выходные характеристики используются при разработке рецептур покровных резин?

2. Какие показатели используются для характеристики упругогистерезисных свойств протекторных резин?

3. Укажите основные требования к резинам беговой части протектора, подканавочного слоя и боковины.

4. Опишите технологические свойства покровных резиновых смесей.

5. Перечислите приоритетные свойства протекторных резин:

- для сверхкрупногабаритных шин;
- для крупногабаритных шин, эксплуатируемых с большим плечом пробега;
- для крупногабаритных шин, эксплуатируемых в карьерах и рудниках при сравнительно невысоких скоростях с малым плечом пробега;
- для средних и тяжелых радиальных и диагональных грузовых шин, эксплуатируемых на дорогах с неусовершенствованным покрытием;
- для автобусов и грузовых шин, эксплуатируемых в основном на дорогах с усовершенствованным покрытием;
- для легко-грузовых шин.

6. Приведите приоритетные свойства протекторных резин для легковых шин:

- категории скорости S, T, H, V, ZR;
- зимних;
- экологически чистых.



7. Какие каучуки и почему применяются в рецептурах протекторных резин:

- для сверхкрупногабаритных шин;
- для крупногабаритных шин;
- для сельскохозяйственных шин;
- для легковых летних шин;
- для легковых зимних шин?

8. Укажите тип и дозировку наполнителя и пластификатора в протекторной смеси для бегового слоя, подканавочного слоя и боковины.

9. В чем особенности вулканизирующей системы для протекторных смесей сверхкрупногабаритных, крупногабаритных и легковых шин?

10. Обоснуйте тип и дозировку противостарителей в протекторной смеси для бегового слоя, подканавочного слоя и боковины.

#### 2.1.4. Испытания протекторных резин на истирание

Многие резиновые изделия (авто-, мото- и велопокрышки, ремни, транспортерные ленты, резиновая обувь и др.) в условиях эксплуатации подвергаются истиранию, что приводит к их износу и выходу из строя. Повышение износостойкости, т. е. сопротивления резин истиранию, – одна из главных задач резиновой промышленности. При выборе рецептуры резины для того или иного изделия, а также при разработке новых рецептур очень важно правильно оценить ее износостойкость.

Истирание материала является следствием трения, возникающего при перемещении его относительно поверхности более твердого тела (абразива). Истирание резины может сопровождаться тремя явлениями.

1. *Преодоление адгезионных сил*, которые возникают при контакте поверхностей и особенно велики на гладкой поверхности. При этом поверхностный слой резины может подвергаться разрушению за счет отрыва и дальнейшего скатывания мельчайших полосочек резины.

2. *Деформирование поверхностного слоя* неровностями поверхности контртела – абразива. Деформирование поверхности резины при истирании носит динамический характер, в результате

чего в поверхностном слое резины протекают процессы усталости, приводящие к появлению и разрастанию трещин.

3. *Повреждение поверхности* выступами контртела. Если поверхность контртела имеет достаточно высокие и острые выступы, на поверхности резины могут происходить разрывы и раздиры.

Таким образом, при истирании резины возможны три механизма износа: *фрикционный (скатывание), усталостный, абразивный.*

*Фрикционный износ (скатывание)* характерен для высокоэластичных материалов, проявляется в скатывании и возникает при механическом повреждении и разрушении поверхности резины при трении об относительно гладкую поверхность контртела. Фрикционный износ является самым интенсивным и происходит при относительно высоком коэффициенте трения между истирающей поверхностью и резиной. При сильном трении в результате местной деформации истираемой поверхности появляются складки и выступы, разрушение начинается с возникновения трещин, перпендикулярных направлению растягивающего усилия там, где поверхностные слои находятся в сложнапряженном состоянии и при наибольшем растяжении (так называемый «рисунок Шалламаха»). Рост трещин происходит под действием небольших усилий. Постепенное раздираение приводит к относительному перемещению слоев в контакте, без общего проскальзывания, образованию скаток и их отделению при значительных усилиях. Наиболее стойки к фрикционному износу резины с высокими прочностью и сопротивлением раздиру.

*Усталостный износ* является основным видом износа резиновых изделий. Он проявляется при небольших значениях силы трения между резиной и истирающей поверхностью. При этом на истираемой поверхности обычно не образуется царапин. Его интенсивность меньше, чем фрикционного и абразивного износа. Стойкость резин к этому виду износа определяется выносливостью резин к многократным деформациям, так как местные напряжения и деформации, возникающие от неровностей на истираемой поверхности в точках соприкосновения с контртелом, в результате проскальзывания трущихся поверхностей многократно повторяются. Повышение прочности, усталостной выносливости, стойкости к старению и уменьшение модуля упругости и гистерезисных потерь снижает усталостный износ.

*Абразивный износ* характерен для резин большой твердости. Он вызывается действием острых граней твердых выступов шероховатой поверхности контртела на их поверхностный слой и приводит

к образованию параллельных царапин на истираемой поверхности, направление которых совпадает с направлением скольжения. Абразивный износ наблюдается редко и только в случае, когда контртело имеет острые режущие грани и приложена значительная сила трения. Повышенной стойкостью к такому виду износа обладают резины большой прочности и эластичности, содержащие активные наполнители.

В эксплуатационных условиях изделия могут подвергаться одному из указанных видов износа или их комбинациям. В обычных условиях преобладает усталостный износ – наименее интенсивный. При больших силах трения, в зависимости от шероховатостей истирающей поверхности, прочностных и упругогистерезисных свойств резин, возникает абразивный или фрикционный износ и интенсивность истирания резины возрастает.

Так, при эксплуатации шин в так называемых мягких условиях, т. е. при относительно невысоких значениях работы трения на дорогах с усовершенствованным покрытием, реализуется в основном усталостный износ, в результате которого поверхность шин сохраняется, как правило, гладкой. Напротив, при эксплуатации шин в так называемых жестких условиях, т. е. при высоких значениях работы трения в контакте (частые и резкие торможения и ускорения, повороты, повышенные нагрузки и т. д.), на дорогах с усовершенствованным, сравнительно гладким покрытием возрастает доля износа посредством образования «скаток», а на дорогах с повышенной микрошероховатостью увеличивается доля абразивного износа.

На интенсивность износа влияет ряд внешних факторов: давление, температура, скорость скольжения, относительное проскальзывание, мощность трения, геометрия истирающей поверхности, окружающая среда (кислород, агрессивные среды), влажность воздуха. Кроме механического износа резин наблюдается и деструкция молекул каучука вследствие развивающейся на поверхности контакта резины с контртелом температуры 650–1100°С и присутствия кислорода воздуха. Износостойкость резины зависит от ее температуростойкости и устойчивости к старению (устойчивыми являются предельные каучуки СКУ, БК). Сопротивление истиранию понижается также в результате возможного в некоторых случаях накопления статического электричества.

Износостойкость резин зависит от их состава и в первую очередь от выбора каучука. Оптимальным является применение каучуков с высокой молекулярной массой, узким молекулярно-массовым распределением, регулярного строения (СКИ-3, НК, СКД, БК, СКУ, СКЭП и СКЭПТ, БСК), высокой полярностью (хлоропреновые), а также комбинации приведенных каучуков.

Введение в смеси высокоактивных марок технического углерода, активных ускорителей вулканизации, противостарителей, стабилизаторов, противоутомителей обеспечивает получение износостойких вулканизатов. Повышенное содержание пластификаторов, как правило, снижает износостойкость, поскольку снижается прочность резин.

Относительное перемещение резины и контртела может происходить в *режиме скольжения* (работа транспортерных лент) и в *режиме качения* (работа шин). Однако при эксплуатации шины наряду с трением качения претерпевают и трение скольжения, например при торможении. Такой режим называют *трением качения с проскальзыванием*. В связи с этим испытание на износостойкость производится либо в режиме скольжения, либо в режиме качения с проскальзыванием.

Поскольку длительность эксплуатационных испытаний очень велика, условия лабораторных испытаний, производимых в короткие сроки, резко ужесточают: применяют бумагу высокой абразивности, повышают температуру в зоне контакта резины и абразива, увеличивают нормальное давление и скорость скольжения или качения.

С целью получения сравнимых результатов испытания шероховатость абразивной бумаги регламентируется в соответствующих ГОСТах на истирание. Для проверки абразивной способности бумаги используют эталонную резину со стандартной износостойкостью. Абразивная способность новой бумаги быстро снижается до определенного предела, поэтому на ней обычно в течение 15–30 мин производят притирание образцов до тех пор, пока абразивная способность не стабилизируется. Притирание образцов состоит в истирании поверхностной пленки и является подготовительной операцией перед испытанием. Поскольку при истирании образцов абразивность бумаги со временем падает, ее проверяют с помощью эталонной резины.

## Лабораторная работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИН ИСТИРАНИЮ ПРИ СКОЛЬЖЕНИИ НА МАШИНЕ МИ-2

*Цель работы:* определить сопротивление резины истиранию при скольжении.

*Оборудование и материалы:* резиновые стандартные образцы; шлифовальная шкурка; машина МИ-2; набор грузов; весы аналитические.

Определение сопротивления резины истиранию при скольжении проводится согласно ГОСТ 426–77 «Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении».

#### Порядок проведения работы

Образцы для испытания с истирающейся поверхностью в форме квадрата со стороной 20 мм снабжены заплечиками шириной 4 мм и высотой 3 мм, служащими для закрепления в рамках держателя (рис. 2.1).

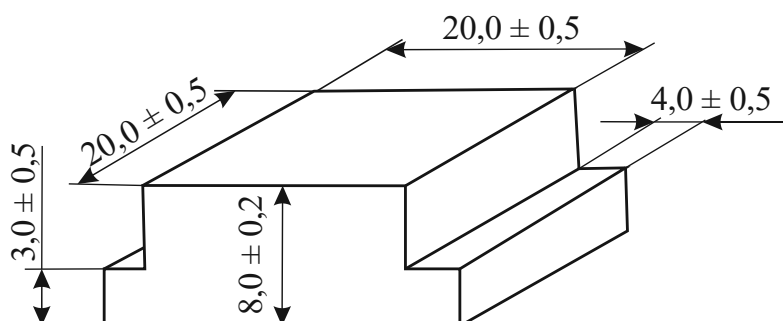


Рис. 2.1. Образец для определения сопротивления истиранию резины при скольжении

Истираемая часть, выступающая над рамкой держателя, должна иметь высоту  $(3,5 \pm 0,5)$  мм. Образцы (шесть штук) готовят путем вулканизации в специальной пресс-форме. После вулканизации их следует выдержать не менее 16 ч и не более суток. На поверхности образцов не должно быть трещин, пор, раковин и других дефектов. Сопротивление истиранию определяется при постоянной нагрузке 26 Н. Испытание рекомендуется проводить при давлении 0,0325 МПа. На диске закрепляют истирающую

шкурку, устанавливают на машину держатель с образцами. Машину включают и стабилизируют шкурку в течение 15 мин при давлении 0,0325 МПа. После этого притирают образцы к шкурке до снятия наружной пленки со всей рабочей поверхности. Притирание образцов и стабилизацию шкурки можно производить одновременно.

После этих подготовительных операций выключают электродвигатель, отмечают карандашом положение образцов в рамках, вынимают их, очищают от пыли и бахромки, взвешивают с точностью до 0,001 г. Затем взвешенные образцы снова закрепляют в рамках и устанавливают держатель на машину так же, как для притирки. Подвешивают прижимающий груз в 26 Н. Конечный выключатель счетчика ставят на цифру «200».

Включают электродвигатель и подвергают образцы истиранию в течение 5 мин. В ходе испытания через каждую минуту записывают массу уравновешивающего груза. По окончании истирания образцы снова очищают и взвешивают. Потери массы резины при истирании должны составлять не менее 0,05 г, в противном случае продолжительность испытания увеличивают.

Истирающую способность каждого круга шкурки с помощью эталонной резины проверяют до и после испытания шести пар образцов. При уменьшении истирающей способности круга шлифовальной шкурки на 20% и более его заменяют новым.

### Обработка результатов

Результаты испытания резины на истирание выражаются показателями истираемости  $\alpha$ , износостойкости – сопротивления истиранию  $\beta$ , коэффициентом трения  $\mu$ .

Истираемость  $\alpha$  характеризуется убылью объема двух образцов резины  $\Delta V$ , приходящейся на единицу работы трения  $A$ :

$$\alpha = \frac{\Delta V}{A}. \quad (2.1)$$

Убыль объема,  $\text{м}^3$ , двух образцов резины рассчитывают по следующей формуле:

$$\Delta V = \frac{m_1 - m_2}{\rho}, \quad (2.2)$$

где  $m_1$  – начальная масса образцов после притирания, кг;  $m_2$  – масса образцов после истирания, кг;  $\rho$  – плотность резины,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Так как вращающий момент, создаваемый силами трения, уравновешивается грузом, подвешенным к длинному плечу рычага, то работа трения на приборе МИ-2 равна:

$$A = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot (P_1 \cdot R + P_2 \cdot R) = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R \cdot (P_1 + P_2), \quad (2.3)$$

где  $n$  – число оборотов диска за время испытания;  $P_1$  – среднее значение уравновешивающего груза, подвешенного к длинному плечу рычага, Н;  $R$  – расстояние от точки подвеса уравновешивающего груза  $P_1$  до центра грузового стержня, т. е. до центра вращения рычага, м;  $P_2$  – «постоянная» машины (разность массы плеч рычага, определяемая без образцов и прижимного груза), Н.

«Постоянная» машины  $P_2$  определяется по специальной схеме и проверяется не реже 1 раза в год.

Результаты испытаний заносятся в табл. 2.8.

Таблица 2.8

**Результаты испытаний по определению сопротивления  
резины истиранию при скольжении**

Показатель	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Масса образцов: – до истирания (после притирки) – после истирания				
Потери массы, кг				
Плотность резины, кг/м <sup>3</sup>				
Уравновешивающий груз, Н				
Постоянная машины, Н				
Работа трения, Дж				
Истираемость, м <sup>3</sup> /Дж				
Сопротивлению истиранию, Дж/м <sup>3</sup>				
Коэффициент трения				

Износостойкость (сопротивление истиранию)  $\beta$  определяется работой, затраченной на истирание единицы объема резины:

$$\beta = \frac{A}{\Delta V}. \quad (2.4)$$

В данном случае  $\beta = \frac{1}{\alpha}$ .

За показатель износостойкости резины принимается среднее арифметическое значение результатов испытания не менее трех пар образцов, которые отличаются от среднего не более чем на 10%.

Коэффициент трения  $\mu$  определяется по формуле

$$\mu = \frac{F}{P}, \quad (2.5)$$

где  $F$  – сила трения, действующая на оба образца, Н;  $P$  – прижимающее усилие, Н.

На основании равенства моментов сил  $F = 62 \cdot (P_1 + P_2)$ .

### Контрольные вопросы

1. Какие существуют виды износа протекторных резин?
2. В чем заключается взаимосвязь износостойкости протекторных резин с их прочностными и гистерезисными характеристиками?
3. Опишите влияние структуры и состава резин на износостойкость.
4. Каким видам износа подвержен протектор шины при эксплуатации на дорогах с усовершенствованным покрытием?

### 2.1.5. Оценка прочностных свойств покровных резин при многократных деформациях

В процессе эксплуатации ряд резиновых изделий (шины, транспортерные ленты, ремни, виброизоляторы и др.) работают в условиях многократных деформаций растяжения, сжатия, изгиба, сдвига и кручения. Происходящие при этом в резине изменения сложны и полностью не изучены. При динамических нагружениях, выражающихся в быстрых переменных деформациях или напряжениях, в материале возникают сложные физические и химические процессы, в результате которых ухудшаются эксплуатационные свойства изделий и образуются очаги разрушений. Такой процесс называется *усталостным разрушением материала*, а способность материала противостоять разрушению при динамическом нагружении – *усталостной выносливостью*. Усталостные свойства материала могут быть описаны количественно зависимостью между характеристикой нагружения и долговечностью.

Сопротивление резины динамическому утомлению (проявлению динамической усталости) зависит от потерь на внутреннее трение, т. е. является функцией от упругой энергии за цикл нагружения, которая определяется в основном значениями условного напряжения и деформации резины за цикл. При значительном



напряжении в этом сопротивлении преобладает физический фактор – прочность резины; при малом напряжении и отвечающей ему длительности сопротивления существенное значение имеет химическая стойкость резины. Из двух циклов нагружения, обеспечивающих одинаковые значения, более опасным для резины с точки зрения ее усталостной выносливости будет цикл с большей упругой энергией резины, поскольку накопление разрушений в материале происходит в процессе всего нагружения. Выносливость к многократным деформациям резиновых изделий зависит не только от типа резины и характера деформаций, но и от размеров и конфигурации деталей, а также от характера цикла. Накопление усталостных разрушений при циклическом утомлении наблюдается в процессе возрастания нагружения, которое нелинейно связано с величиной деформации. Поэтому зависимость усталостной выносливости сильно деформируемых систем от параметров нагружения удобнее выражать через обобщенную характеристику механического воздействия – энергию деформации.

Механизм разрушения эластомера при динамическом нагружении в принципе ничем не отличается от разрушения при статическом действии напряжения, но кинетика этих процессов может существенно различаться. Эти различия вызваны следующими факторами, которые характерны для динамического режима:

- частичное рассеивание механической энергии (гистерезисные потери), что приводит не только к разогреву материала, но и к активации различных химических реакций;

- релаксационный характер деформации, который сопровождается влиянием скорости деформирования на зависимость напряжения и деформации;

- менее равновесные условия деформирования и большая неоднородность распределения напряжений;

- изменения направления механического воздействия, в результате чего образующиеся при релаксационной перестройке связи вновь оказываются под напряжением;

- интенсификация взаимодействия с окружающей средой на поверхности материала;

- механическая активация термической и окислительной деструкции.

Динамическое деформирование при проведении испытаний проводят обычно в синусоидальном режиме при многократном растяжении, сжатии, растяжении-сжатии, сдвиге, знакопеременном

изгибе и т. д. Основными количественными характеристиками являются:

– усталостная выносливость (число циклов нагружения до разрушения образца);

– усталостная прочность (максимальное значение амплитуды напряжения, разрушающего образец при заданном числе циклов);

– теплообразование (повышение температуры образца после определенного числа циклов);

– остаточная деформация после многократного сжатия.

Процесс разрушения резин в результате утомления может быть разделен на две стадии: возникновение очагов разрушения – трещин и разрастание трещин. Динамическая усталость резин тесно связана с их прочностью, химической стойкостью и стойкостью к старению.

При увеличении скорости деформации прочность резин повышается, что можно объяснить межмолекулярным взаимодействием, которое более эффективно выравнивает местные напряжения при больших скоростях деформации, а также уменьшением скорости возникновения трещин по времени вплоть до момента образования постоянного количества трещин.

Повышение температуры приводит к снижению прочности в результате уменьшения межмолекулярного воздействия. У кристаллизующихся каучуков прочность падает также в связи с изменениями кристаллической фазы. При их модификации прочность дополнительно возрастает.

Ненаполненные резины, а также вулканизаты на основе аморфных каучуков при динамических нагружениях в температурном интервале до 100°C структурно почти не изменяются.

Работоспособность резин при многократных деформациях находится в прямой зависимости от гистерезисных потерь. Выделение теплоты в результате внутреннего трения при многократных деформациях способствует утомлению резин. Влияние внешней среды при эксплуатации резиновых изделий является одной из важных причин их динамической усталости.

Воздействие кислорода воздуха приводит к окислительной деградации молекул и их структурированию. При этом усталостная прочность резко снижается. Присутствие озона даже в небольших концентрациях вызывает растрескивание резин, причем скорость образования трещин возрастает с увеличением деформации.

Отрицательно сказывается на усталости резин и действие света. В присутствии активных противостарителей влияние окружающей среды на усталостную прочность вулканизатов существенно снижается.

Возможны и другие причины снижения долговечности, в частности при циклическом нагружении образцы могут не успевать упрочняться вследствие молекулярной ориентации так же сильно, как при статическом. В результате физико-химических процессов, протекающих в резине при утомлении (деструкция полимерных цепей, деструкция вулканизационной сетки, инициирующая окисление молекулярных цепей, разрушение связей каучук – наполнитель и др.), происходит изменение пространственной структуры резин. Это приводит к «усталостному перерождению» материала, которое проявляется в изменении свойств. Глубина усталостного перерождения тем больше, чем выше температура и меньше деформация.

При разработке рецептур эластомерных композиций следует учитывать, что влияние состава резин и технологических факторов на свойства, которые определяют динамическую выносливость резин, может быть противоречивым. Так, введение активных наполнителей в некристаллизующиеся каучуки, с одной стороны, резко повышает прочность вулканизатов, но также увеличивает внутреннее трение, что, в свою очередь, приводит к повышению теплообразования. Введение пластификаторов приводит к противоположным результатам: снижая интенсивность межмолекулярных взаимодействий, они уменьшают внутреннее трение, но и прочность тоже. Поэтому в зависимости от природы и количества пластификатора усталостная выносливость резин может либо понижаться, либо повышаться (чаще все-таки повышается).

При многократных деформациях сравнительно тонких образцов возрастает роль реакции деструкции, особенно термоокислительной. При подавлении этих реакций наиболее эффективны противостарители, способные достаточно быстро мигрировать в массе резины, но они же обладают более интенсивным испарением или вымыванием с поверхности. Правильный выбор противостарителя позволяет иногда в 2–3 раза повысить усталостную выносливость резины.

Таким образом, получение резин с высокой выносливостью к многократным деформациям возможно в случае создания рецептур эластомерных композиций на основе химически стойких и высокопрочных

каучуков, введения активных противостарителей и противоутомителей, а также разработки оптимальных технологических режимов.

Определение усталостной выносливости проводят на образцах, вулканизованных в специальных формах или вырубленных из готовых изделий. Основные показатели испытаний:

– динамическая выносливость образцов, определяемая числом циклов деформаций до момента: появления первой трещины, разрастания первой трещины до определенных размеров или до полного разрушения образца;

– температура ( $^{\circ}\text{C}$ ), возникающая в образце и характеризующая его упруго-гистерезисные свойства;

– остаточная деформация (%).

Проведение испытаний до момента образования первой трещины и разрастания трещин до определенных размеров вызвано тем, что появление трещин может не привести к разрушению изделия, и поэтому испытания сводятся к определению сопротивления образованию и разрастанию трещин.

## Лабораторная работа № 4

---

### ИСПЫТАНИЕ РЕЗИН НА МНОГОКРАТНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ

*Цель работы:* определить усталостную выносливость резин при многократном растяжении.

*Оборудование и материалы:* резиновые пластины; вырубной пресс; штанцевый нож; толщиномер; миллиметровая линейка; секундомер; штамп нанесения меток; машина МРС-2.

Определение усталостной выносливости резин при многократном растяжении проводится согласно ГОСТ 261–79 «Резина. Методы определения усталостной выносливости при многократном растяжении».

#### Порядок проведения работы

Из резиновых пластин, вулканизованных при заданной температуре и оптимальном времени вулканизации, вырубается не менее 12 образцов в виде двухсторонних лопаток. Измерив толщину образцов, наносят на них метки.

Устанавливают заданную частоту деформации перемещением ремня на соответствующую ступень шкива электродвигателя. Заданная амплитуда деформации определяется путем регулирования хода

ползуна (нижней траверсы) передвижением пальца шатуна на соответствующее деление диска и изменения положения верхней траверсы вращением маховика.

Ориентировочные значения хода нижней траверсы, которым соответствуют приблизительно заданные растяжения рабочего участка образца, представлены в табл. 2.9.

Таблица 2.9

**Ориентировочные значения хода нижней траверсы**

Растяжение рабочего участка образца, %	50	75	100	125	150	200
Ход нижней траверсы, мм	22	32	41	53	64	89

Длина рабочего участка образца в растянутом состоянии  $l_1$  определяется по следующим формулам:

– при  $\epsilon_{ст} = 0$

$$l_1 = l_0 + \frac{2 \cdot \epsilon_0 \cdot l_0}{100}; \quad (2.6)$$

– при  $\epsilon_{ст} > 0$

$$l_1 = l_0 + l_0 \cdot \left( \frac{\epsilon_{ст} + 2 \cdot \epsilon_0}{100} \right) = l_0 \cdot \left( 1 + \frac{\epsilon_{ст} + 2 \cdot \epsilon_0}{100} \right), \quad (2.7)$$

где  $\epsilon_{ст}$  – статическая деформация, %;  $\epsilon_0$  – амплитуда динамической деформации, %;  $l_0$  – длина рабочего участка нерастянутого образца, мм.

После установки пальца шатуна на соответствующее деление диска устанавливается верхняя траверса с верхним зажимом. Если  $\epsilon_{ст} = 0$ , верхний зажим следует установить на расстоянии 50 мм от верхнего положения нижнего зажима. Если  $\epsilon_{ст} > 0$ , то это расстояние нужно увеличить так, чтобы обеспечивались необходимые значения  $\epsilon_{ст}$  и длина рабочего участка  $l_1$ . При этом расстояние  $L$  между сближенными зажимами рассчитывают по формуле

$$L \geq 50 + \frac{l_0 \cdot \epsilon_{ст}}{100}. \quad (2.8)$$

После установки частоты и амплитуды деформации и закрепления образцов в зажимах машины включают электродвигатель. Фиксируют время до появления первой трещины и момента разрушения каждого образца.

## Обработка результатов

Результаты испытаний заносятся в табл. 2.10.

Показателем сопротивления резин при многократном растяжении является динамическая выносливость  $N$ , характеризуемая числом циклов до разрушения образца:

$$N = n \cdot \tau, \quad (2.9)$$

где  $n$  – число циклов в одну минуту;  $\tau$  – время испытания, мин.

Таблица 2.10

### Результаты испытаний резины по определению усталостной выносливости

Показатели	Образцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Размеры рабочего участка образца, мм: – ширина – толщина												
Амплитуда деформации, %												
Статическая деформация, %												
Частота деформации, мин <sup>-1</sup>												
Время, мин: – начало испытания – появление первой трещины – момент разрушения												
Усталостная выносливость, тыс. циклов												

За результат испытания принимают среднее арифметическое не менее 12 значений.

## Лабораторная работа № 5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЗИН ОБРАЗОВАНИЮ И РАЗРАСТАНИЮ ТРЕЩИН ПРИ ИЗГИБЕ

*Цель работы:* определить сопротивление резины образованию и разрастанию трещин при изгибе.

*Оборудование, материалы:* резиновые образцы; миллиметровая линейка; машина De Mattia Flex Testing.

Определение сопротивления образованию и разрастанию трещин производится согласно ГОСТ 9983–74 «Резина. Методы испытаний на многократный продольный изгиб образцов с прямой канавкой».

### Порядок проведения работы

Испытанию подвергают не менее трех образцов от каждой партии резины. Образцы имеют плоскую форму с поперечной канавкой посередине. Размеры образца показаны на рис. 2.2.

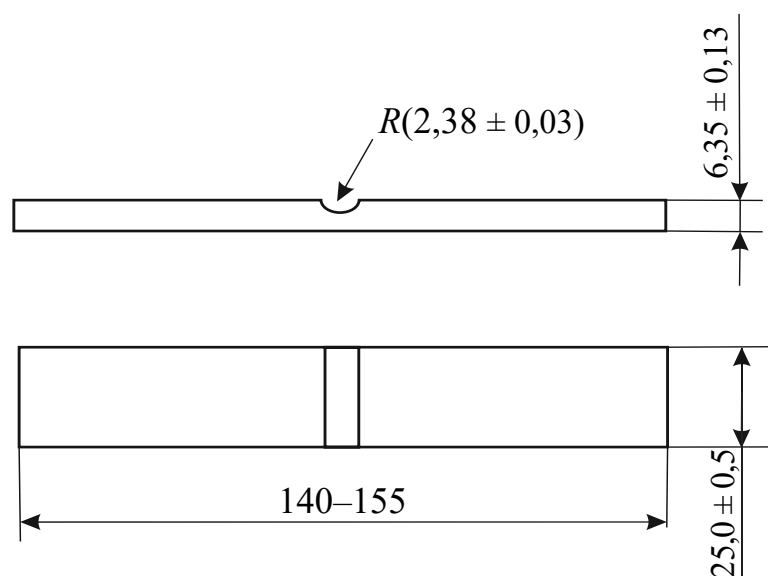


Рис. 2.2. Размеры и форма образцов

Концентрация напряжений при поперечном изгибе образцов возникает в месте расположения канавки. Образцы изготавливают с таким расчетом, чтобы канавка была перпендикулярна направлению каландрования. Испытания можно производить без прокола (метод А) и с проколом в центре канавки (метод Б). Прокол делают специальным копьём. Образцы закрепляют в зажимах.

Включают машину и ведут наблюдение за образованием и разрастанием трещин. Для этого периодически останавливают машину.

По методу А (при испытании без прокола) машину останавливают для наблюдения за разрастанием трещин. При этом определяют вид трещин, их число, длину, ширину в соответствии с контрольными рядами А, В, С, D, Е по ГОСТ 9983–74, отмечая одновременно число изгибов для достижения определенной степени разрушения образца.

По методу Б измеряют длину трещин и фиксируют число изгибов. Замеры рекомендуется производить через 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300 тыс. циклов и более.

## Обработка результатов

Результаты испытания по методу А обрабатываются логарифмическим или графическим способом. Более наглядным является графический метод. По средним значениям числа циклов до достижения отдельных ступеней образования и разрастания трещин рассчитывают средние значения для сравниваемых между собой резин и обозначают их соответственно А, В, С, D, Е. Затем строят график зависимости разрастания трещин от числа циклов нагружения образца (рис. 2.3).

Для этого на оси абсцисс откладывают значения А, В, С, D, Е и из начала координат проводят линию под углом  $45^\circ$  к абсциссе. Восстанавливают перпендикуляры из точек А, В, С, D, Е до пересечения их с линией. Из точек пересечения проводят прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью ординат. Эти точки обозначают ступени разрушения образца. На соответствующих прямых откладывают среднее число циклов до достижения определенных ступеней разрушения образцов конкретных резин. Точки соединяют отрезками, а затем проводят прямые линии, на пересечении которых с горизонтальными кривыми получают уточненные значения числа циклов до достижения определенных ступеней разрушения резин.

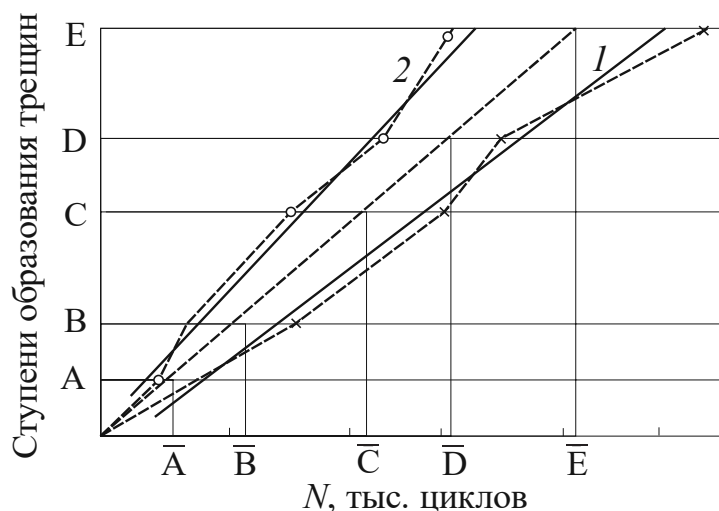


Рис. 2.3. Пример построения графика зависимости разрастания трещин от числа циклов нагружения:  
1, 2 – кривые для испытанных образцов резин

Сопротивление резин образованию трещин оценивают числом циклов от начала испытания до образования видимых трещин.



Обычно оно определяется числом циклов от момента появления трещин до разрастания их до 12 мм.

Результаты испытания заносятся в табл. 2.11.

Таблица 2.11

**Результаты испытания резин по сопротивлению образованию и разрастанию трещин**

Показатель	Образцы		
	1	2	3
Толщина образца, мм			
Толщина подканавочного слоя, мм			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень А)			
Среднее значение			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень В)			
Среднее значение			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень С)			
Среднее значение			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень D)			
Среднее значение			
Число циклов деформации до образования трещин (ступень E)			
Среднее значение			

**Контрольные вопросы**

1. Охарактеризуйте понятие усталостная выносливость резин.
2. Приведите факторы, влияющие на усталостную выносливость резин.
3. Укажите основные показатели, характеризующие усталостную выносливость резин.
4. Какие существуют методы испытания на усталостную выносливость резин?
5. Каково влияние каучука и состава вулканизирующей системы покровных резин на их усталостную выносливость?
6. Поясните влияние наполнителей и пластификаторов на усталостную выносливость покровных резин.

## 2.2. ОБКЛАДОЧНЫЕ РЕЗИНОВЫЕ СМЕСИ

---

Применение в резиновых технических изделиях армирующих конструкций из текстильных и металлических материалов необходимо для создания высокопрочных и малорастяжимых изделий. Прочное и стабильное крепление резины к текстильному и металлическому корду является одним из наиболее важных условий, определяющих срок эксплуатации автомобильных шин, конвейерных лент, клиновых ремней, шлангов высокого давления и др. Высокая долговечность резинокордных систем обеспечивается двумя факторами: надежным креплением обкладочной резины к корду и деформационно-прочностными свойствами резин в межкордном пространстве.

Каркасные и брекерные резины должны обладать высокой выносливостью к многократным деформациям и низкими гистерезисными потерями, сохранять свои свойства при высоких температурах, т. е. иметь большую температуростойкость, высокое сопротивление тепловому старению, значительную прочность связи с кордом и высокую прочность связи между слоями. Кроме этих общих требований к каркасным и брекерным резинам, к последним еще предъявляется дополнительное условие – большая теплопроводность, чтобы отводить тепло, выделяющееся в каркасе и у основания протектора. Кроме того, от брекера требуется большая прочность связи с протектором и каркасом.

Обкладочные резины должны обеспечивать высокий адгезионный контакт между дублируемыми элементами в процессе изготовления полуфабрикатов, сборке покрышек и в процессе эксплуатации шин. Резиновые смеси, применяемые для обрешивания металлокорда, текстильных материалов, проволоки, разрабатываются с учетом технологии производства, условий эксплуатации каждой детали покрышки. Для формирования адгезионного контакта необходима достаточно высокая пластичность и конфекционная клейкость смесей, продолжительное пребывание смесей в вязкотекучем состоянии в начальный период вулканизации.

Обкладочные резиновые смеси должны хорошо обрабатываться на каландрах, обладать достаточной клейкостью, когезионной прочностью. Основными проблемами в рецептуростроении таких резин являются снижение гистерезисных потерь, повышение прочности связи в резинокордных системах. От таких резин требуются высокие показатели напряжения при удлинении, прочности при растяжении.

## 2.2.1. Каркасные резиновые смеси

В соответствии с преобладающим режимом работы каркасных резин в шине (режим заданных деформаций) для обеспечения условий их работы целесообразно иметь сравнительно невысокий модуль упругости (в пределах 10,0–14,0 МПа).

Чрезмерное снижение жесткости резины нежелательно, так как в зоне кромок брекера режим работы резины близок к режиму заданных напряжений. Повышение жесткости вызывает увеличение напряжений в боковой стенке шины, что неблагоприятно сказывается на работоспособности резины между нитями корда.

При этом уровень модуля упругости будет определяться типом применяемого в каркасе текстильного корда и характером его деформации. Для жесткого полиэфирного корда оптимальным будет более высокий модуль резины, для капронового – более низкий.

В практике рецептуростроения каркасные резины обычно изготавливаются на основе натурального или синтетического изопренового каучука. В условиях действия повышенных динамических нагрузок и температур применяются резины с добавками ПБ и БСК соответственно.

В каркасе легковых и грузовых шин может быть использован растворный бутадиен-стирольный каучук взамен эмульсионного бутадиен-стирольного каучука без существенного изменения рецептуры. Оптимальные значения теплообразования и сопротивления раздиру достигаются при применении техуглеродов типа N550, N660 или N770 в количестве 30–35 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Для повышения клейкости при сборке применяют до 3 мас. ч. повысителей клейкости. Прямая замена ЭБСК на РБСК позволяет уменьшить теплообразование и повысить эластичность каркасных резин, при этом технологические свойства смесей при такой замене равноценны.

Степень наполнения каркасных резин и тип применяемого техуглерода определяется обеспечением главным образом оптимальных усталостных характеристик. В основном наполнение каркасных резин составляет 45–55 мас. ч. техуглерода. При изготовлении резин на основе синтетического полиизопрена в присутствии добавок, повышающих каучукосаживаемые взаимодействия, содержание техуглерода может быть повышено (55 мас. ч.), что дает оптимальное

сочетание прочностных и усталостных свойств с технологическими характеристиками смеси.

В каркасных резинах обычно используется печной техуглерод, низкоструктурный или средней структурности типа HAF (высокоизносоустойчивый) марки N330 или комбинация N550 с N330, N550 с N220. Обычный печной техуглерод не влияет на адгезию, окисленный печной, а также газовый канальный техуглерод повышают ее уровень.

Уровень и стабильность образующейся адгезионной связи определяются влиянием компонентов рецептуры, главными из которых являются адгезионно-активные добавки с функциональными группами. Высокая эффективность действия указанных добавок обусловлена образованием в процессе их распада промежуточных низкомолекулярных продуктов, активных по отношению к каучуку и волокнообразующему полимеру и полимеру адгезива.

Принципы создания резин для разных типов применяемых в шинах кордов практически одинаковы, за исключением способа достижения требуемого уровня адгезии и ее стабильности для арамидного и стеклокорда, волокна которых практически инертны к активным химическим добавкам в резиновой смеси.

На прочность связи армирующих текстильных материалов с резиной оказывают влияние ингредиенты резиновой смеси, низкомолекулярные вещества, остающиеся на поверхности волокна, замасливатели, а также пыль, влага, озон и ультрафиолетовое облучение.

Отрицательно влияют на прочность связи ингредиенты, способные мигрировать на поверхность резиновой смеси – воски, парафин, пластификаторы, антиоксиданты.

Отрицательное влияние на адгезию текстильного корда также оказывают амины, по-видимому, из-за разрушения образующихся серных связей. При креплении полиэфирного корда отрицательное действие аминов приводит также к аминолизу полиэфира в области контакта с резиной.

Замасливатели должны хорошо совмещаться с адгезивом, если это условие не соблюдается, они отрицательно влияют на прочность связи.

Действие пыли, влаги, озона и УФ-облучения на пропитанную ткань снижает ее прочность с резиной, при этом влага усугубляет отрицательное влияние озона и УФ-облучения.

## 2.2.2. Брекерные резиновые смеси

Высокая и надежная прочность связи в резинометаллокордном композите в значительной мере определяется составом брекерных резин. К брекерным резинам, кроме требований высокой адгезии к металлокорду, являющихся приоритетными, предъявляются и другие, характеризующие способность удовлетворительно перерабатываться на оборудовании: необходимая вязкость, стойкость к подвулканизации, высокая клейкость, отсутствие выцветания серы в процессе хранения. Резины должны иметь высокую скорость вулканизации, удовлетворительные прочностные и усталостные свойства, необходимую стойкость к старению, твердость, соответствующую конструкции шин. Резины из каучуков СКИ-3, СКД, СКМС-30АРК по прочности связи с металлокордом не уступают резинам из НК.

Выбор типа полимера в брекере определяется необходимостью обеспечения требуемых технологических и особенно механических свойств резин. В связи с этим брекерные смеси изготавливают на основе полиизопренов (НК или СКИ-3), иногда с добавками полибутадиена, для получения резин с высокой эластичностью и усталостной выносливостью.

Одним из основных определяющих факторов высокой прочности связи резины с металлокордом является состав вулканизирующей системы.

В настоящее время наиболее применяемым вулканизирующим агентом для брекерных резин является полимерная сера марки Кристекс ОТ-33 или ОТ-20, которая обеспечивает необходимую конфекционную клейкость обрезиненного металлокордного полотна и стабильность прочности связи резины с металлокордом в различных условиях старения.

В качестве ускорителя вулканизации резин для обкладки металлокорда применяются сульфенамиды замедленного действия типа DCBS.

С целью повышения стабильности вулканизационной сетки резин, улучшения их связи с металлокордом, особенно при перевулканизации и анаэробном тепловом старении, рекомендуется часть серы заменять на серосодержащий вулканизирующий агент, например Дюралинк НТС. При использовании последнего соединения, кроме указанных выше преимуществ, значительно улучшается стабильность прочности связи резины с металлокордом после

солевого старения, а также возможно снижение оксида цинка в резиновых смесях.

Дозировка оксида цинка в рецептах обкладочных смесей составляет обычно 6–10 мас. ч. и зависит от состава вулканизирующей и модифицирующей систем. С увеличением дозировки оксида цинка увеличивается степень покрытия корда резиной и динамическая прочность связи резины с металлокордом.

Требуемое содержание стеариновой кислоты в смеси зависит от применяемого промотора адгезии. При использовании нафтената или стеарата кобальта не требуется дополнительно вводить стеариновую кислоту, так как имеющейся кислоты достаточно для активации вулканизирующей системы.

Общее содержание кислоты в рецептуре оказывает существенное влияние на начальную адгезию и сохранение ее в различных условиях старения. Особенное влияние концентрация кислоты оказывает на прочность связи резинометаллокордной системы при тепловом и влажном старении вследствие ее корродирующего действия. В связи с этим увеличение концентрации стеариновой кислоты выше 0,5–1,0 мас. ч. нецелесообразно.

Тип технического углерода несущественно влияет на прочность связи резины с металлокордом. Однако для обеспечения высокого уровня прочностных и усталостных свойств брекерных резин применяют активные марки техуглерода.

Применение в брекерных резинах технического углерода типа ISAF (промежуточный сверхвысокоизносоустойчивый) марки N220 имеет как достоинства, так и недостатки. К достоинствам относятся повышение прочностных свойств резин, их твердости и сопротивления раздиру. Недостатками являются повышение вязкости резиновых смесей из-за плохого диспергирования, уменьшение эластичности, увеличение внутреннего трения и, как следствие этого, увеличение теплообразования. В связи с этим на практике применяют в основном техуглерод типа HAF (высокоизносоустойчивый) серии N300. Монодисперсный технический углерод марки N330 при том же усиливающем эффекте, что и ISAF, обеспечивает лучшие технологические характеристики смеси и меньшее теплообразование в резинах.

Для получения удовлетворительной прочности связи достаточно 40–50 мас. ч. технического углерода, однако увеличение дозировки техуглерода до 60 мас. ч. позволяет повысить жесткость

резин, динамический модуль, коэффициент усталостной выносливости резины в режиме заданной энергии и резинокордной системы в режиме заданной нагрузки.

Технологические свойства обкладочных резиновых смесей улучшают введением небольших количеств (до 5,0 мас. ч.) жидких ароматических мягчителей, что несколько повышает прочность связи резина – резина и не оказывает отрицательного влияния на прочность связи резина – корд. Повышение дозировки вследствие их миграции на границу раздела снижает адгезионные свойства, поэтому в обкладочных резинах используют термопластичные мягчители (канифоль, октофор N, углеводородные смолы, битум) в количестве 3,0–5,0 мас. ч. Оптимальное соотношение мягчителей, особенно промоторов клейкости, во многом определяет конфекционные свойства обкладочных смесей, клейкость и когезионную прочность. Достаточная конфекционная клейкость необходима для повышения монолитности покрышек. Когезионная прочность особенно важна для обкладочных резин шин радиальной конструкции. Так, при сборке малослойных покрышек резиновые смеси испытывают деформации порядка 300%. В то же время при использовании смесей с высокой конфекционной клейкостью снижается производительность труда в процессе изготовления полуфабрикатов и сборки покрышек. В этом случае повышается липкость обрезаемых кордов, образуются труднорасправляемые складки.

Брекерные резины, являясь подушечным слоем в конструкции покрышки, в котором развиваются в процессе эксплуатации достаточно высокие температуры, должны иметь повышенное сопротивление тепловому старению и утомлению. Известно, что одним из наиболее эффективных способов повышения стойкости резин в процессе утомления и теплового старения является использование противоутомителей и противостарителей. Максимальным эффектом при утомлении, так же как и при тепловом старении, обладают производные *n*-фенилендиамина, характеризующиеся высокой подвижностью и мигрирующей способностью атома водорода. В рецептах обкладочных смесей применяют комбинацию БРРД и ацетонанила Р в соотношении 1 : 1.

Следует отметить, что вводимые в обкладочные резиновые смеси антиоксиданты выполняют роль стабилизаторов адгезионных связей. Введение их в количестве 0,5–2,0 мас. ч. создает благоприятные условия для формирования сульфидного слоя со свойствами,

необходимыми для прочного соединения резины с металлокордом. При этом достигается повышение прочности связи резины с металлом в среднем на 15–20%. В период послевулканизационного окислительного старения антиоксиданты способствуют сохранению в течение длительного времени хороших адгезионных показателей.

Промоторы адгезии являются необходимой составной частью рецептуры бреккерных резин для обеспечения высокой и стабильной прочности связи резины с металлокордом. Наибольшее применение в качестве модификаторов получили кобальтсодержащие органические соли жирных кислот и системы на основе резорцина – донора метильных групп (гексаметоксиметилмеламина), и кремнекислоты.

Кремнекислота используется в металлокордных обкладочных резинах с системами смол для увеличения адгезии между резиной и латунированным металлокордом и с органокобальтовым комплексом в качестве промотора адгезии для повышения сопротивления раздиру и адгезионных свойств резины. Использование кремнийорганического агента сочетания бис(3-триэтоксисилипропил)тетрасульфида и кремнекислоты с малой площадью поверхности дает улучшенные технологические свойства резиновых смесей и уменьшает теплообразование в металлокордных обкладочных резинах, содержащих бор-кобальтовый адгезив.

### 2.2.3. Промоторы адгезии для крепления резин к текстильному корду и металлокорду

*RFS-система* – многокомпонентная адгезионно-активная модифицирующая система, в основе действия которой лежит реакция взаимодействия двухатомных ароматических спиртов (таких как резорцин и др.) с донорами метилена (такими как гексаметилентетрамин (ГМТА), гексаметоксиметиллолмеламин (ГМММ) и др.), катализируемая кремнекислотными наполнителями. Данная система используется для крепления резины к пропитанным текстильным армирующим и латунированным металлокордам или латунированной бортовой проволоке.

Типичным представителем двухатомных ароматических спиртов является резорцин. Резорцин характеризуется неудовлетворительными технологическими свойствами: гигроскопичностью, плохой диспергируемостью в резиновых смесях, низкой растворимостью в каучуках, высокой склонностью к «выцветанию» на



поверхность резиновых смесей. Поэтому его используют в форме предварительно приготовленных композиций с диспергирующими агентами, например со стеариновой кислотой или с эластомерным связующим и диспергирующими добавками. В роли акцептора метилена в RFS-системах используются также продукты конденсации резорцина с формальдегидом или резорцина и алкилфенола с формальдегидом при степени поликонденсации меньше 3.

В качестве донора метилена в модифицирующей системе применяются ГМТА, ГМММ и пентаметиловый эфир гексаметилолмеламина (ГМММ РМЕ). Введение в смесь подобных соединений обеспечивает взаимодействие как с полимером, так и с текстильным волокном, что приводит к существенному повышению прочности связи полимер – волокно, поскольку модификаторы диффундируют через пленку адгезива к поверхности корда.

В RFS-системах для крепления резин к латунированным металлокорду и бортовой проволоке в качестве донора метилена используются ГМММ и ГМММ РМЕ, а также продукты на их основе. ГМТА и продукты на его основе, такие как РУ и некоторые другие, в указанных системах не используются из-за выделения аммиака в процессах конденсации, отрицательно влияющего на работоспособность резинометаллокордных систем. При применении в составе резин для обкладки металлокорда RFS-системы содержание серы снижается на 1,5–2,0 мас. ч. по сравнению с обкладочными резинами без RFS-системы. Применение RFS-систем для крепления резин к металлокорду позволяет снизить недостатки, присущие системам с кобальт- или никельсодержащими соединениями (термоокислительная деструкция, необходимость использования больших дозировок серы).

Рекомендуемое содержание кремнекислотных наполнителей в RFS-системе для крепления резин к текстильным армирующим материалам составляет 10–30 мас. ч., для крепления резин к латунированному металлокорду – 5–10 мас. ч.

*Гексаметоксиметилмеламин* применяют в качестве промотора адгезии резин с металлокордом и текстильным кордом в качестве сокомпонента в системе с резорцином или резорцинформальдегидными смолами. Дозировки составляют 2,0–3,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука для жидкого продукта или 3,0–4,0 мас. ч. для твердого продукта; в комбинации с резорцином дозировки составляют 4,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

*Модификатор РУ* применяют в качестве модификатора и промотора адгезии в дозировках 1,0–4,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В процессе вулканизации резиновой смеси модификатор РУ распадается с образованием продуктов, вступающих в дальнейшем во взаимодействие с текстильным кордом и эластомером. Это приводит к существенному увеличению прочности связи в резино-кордной системе, которая сохраняется на высоком уровне при температурах до 150°C. В качестве модификатора, повышающего прочность связи с кордом, применяют также белые сажи. Особенно эффективна система, состоящая из модификатора РУ и белой сажи (5–10 мас. ч.). Эта система обладает синергическим эффектом. При ее введении в каркасные смеси повышается прочность сцепления между каркасом и бреккером при нормальных и повышенных температурах.

*N,N'-м-фенилендималеимид (малеид Ф)* применяют в качестве модификатора многоцелевого назначения в резиновых смесях на основе непредельных каучуков общего назначения. Он позволяет осуществлять вулканизацию при высоких (до 180°C) температурах без реверсии. Увеличивает устойчивость резиновых смесей к преждевременной вулканизации и термостабильность вулканизатов. Повышает прочность связи резинокордных систем. Содержание малеида Ф в смесях для разных типов каучуков колеблется от 0,5 до 2,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука при соотношении малеид : сера от 1 : 1 до 1 : 3.

Малеид Ф является активным структурирующим агентом. Легко сополимеризуется с виниловыми мономерами и взаимодействует с ненасыщенными эластомерами в присутствии соответствующих инициаторов. В качестве инициаторов используются ускорители тиазольного типа, пероксиды, сульфенамиды.

*Органические соли кобальта* получили широкое применение в составе бреккерных и каркасных резин в качестве промоторов адгезии резин к металлокорду при производстве шин радиальной конструкции. Их применение обеспечивает повышение сопротивления коррозии металлокорда и долговечность резинометаллокордных систем. Химическая формула солей кобальта:  $\text{Co}(\text{RCoO})_2$ .

Согласно современным представлениям, механизм действия органических солей кобальта заключается в следующем:

– взаимодействие органических солей кобальта с серой в граничных областях системы резина – металлокорд при вулканизации приводит к образованию сульфидов кобальта;

– ионы кобальта способны в процессе вулканизации внедриться в слой оксида цинка на поверхности латуни, что приводит к уменьшению электропроводности пленки оксида цинка и снижает скорость диффузии ионов меди через эту пленку, способствуя образованию необходимого количества нестехиометрического сульфида меди ( $Cu_xS$ ), а также к подавлению нежелательного процесса децинковки латунного покрытия;

– органические соединения кобальта оказывают влияние на степень сшивания граничных с металлокордом слоев резины, что приводит к их упрочнению.

Вместе с тем органические соединения кобальта отрицательно влияют на вулканизационные свойства резиновых смесей и физико-механические свойства резин, снижая время до начала подвулканизации и промотируя процессы их термоокислительного старения.

Введение солей кобальта в резиновую смесь существенно повышает стабильность прочности связи в системе резина – металлокорд при действии влаги, повышенной температуры и хлористого натрия, так как в их присутствии задерживается образование слабых граничных слоев  $ZnO/Zn(OH)_2$ . Однако чрезмерное количество соединений кобальта в резине может снизить стабильность прочности связи, так как под действием влаги возможно образование на поверхности латуни мелкозернистой пленки металлического кобальта. Эффективность солей кобальта проявляется в большей степени при высоких дозировках серы.

Наряду с содержанием металлического кобальта в промоторе адгезии, другой важной характеристикой уровня потребительских свойств является показатель их растворимости в углеводородных растворителях, который должен быть не ниже 98–99%.

При выборе типа и концентрации органических солей кобальта необходимо, с одной стороны, максимизировать их функцию как промотора адгезии, а с другой – минимизировать их отрицательное влияние на вулканизационные и физико-механические свойства резин. При этом необходимо ориентироваться на содержание кобальта в выбираемом продукте, рекомендуемая концентрация которого может варьироваться в диапазоне 0,1–0,3 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

Представленные на рынке соли кобальта – промоторы адгезии можно условно разделить на 2 группы: органические соли и борорганические соли кобальта.

К первой группе соединений относятся стеараты, неодеканаты, нафтенаты и резинаты кобальта, в которых содержание кобальта варьируется в диапазоне 9,5–20,5%.

Ко второй группе соединений относятся структуры типа Манобонд – кобальт-бор-ацелат, кобальт-бор-октоат, кобальт-бор-неодеканоат – содержащие 21–23% кобальта и 1–2% бора:  $B[O-C(O)R]_3 \cdot Co[OC(O)-R]$ , где  $R = C_9 - C_{10}$ . Соединения этой группы по сравнению с органическими солями кобальта имеют повышенную растворимость в каучуках и высокую активность в реакциях с серой с образованием сульфидов кобальта. Пониженное относительное содержание карбоксильных групп, которые могут реагировать с латунным покрытием, и присутствие соединений бора – известных ингибиторов коррозии – уменьшает степень коррозии покрытия металлокорда. Это также регулирует pH латунного покрытия в диапазоне 7–9, что может способствовать повышению сопротивления адгезионной связи влажному и солевому старению. Дозировки составляют 0,5–2,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука.

## Лабораторная работа № 6

---

### РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР ОБКЛАДОЧНЫХ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ (БРЕКЕР, КАРКАС) И ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ РЕЗИНОКОРДНЫХ СИСТЕМ

*Цель работы:* освоить навыки составления рецептур обкладочных резиновых смесей (каркас, брекер) по заданным требованиям; оценить адгезионные характеристики обкладочных резинокордных систем.

#### Порядок проведения работы

1. Изучить теоретический материал об особенностях разработки рецептур обкладочных резиновых смесей в зависимости от назначения и типа шин.

2. Ознакомиться с типовыми рецептурами обкладочных резиновых смесей (табл. 2.12). Определить основные принципы составления рецептур для каркаса и брекера шин различного назначения.

Таблица 2.12

**Типовые рецепты обкладочных резиновых смесей (мас. ч.)**

Наименование компонентов	Большегрузные шины		Грузовые шины типа Р		Легковые шины типа Р	
	Бреккер	Каркас	Бреккер	Каркас	Бреккер	Каркас
Каучуки: НК или СКИ-3	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Сера	2,4	2,2	7,0	1,8	6,0	1,6
Ускорители вулканизации	1,5	1,3	0,8	0,8	0,8	1,2
Окись цинка	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Стеарин технический	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	1,0
Модификаторы	3,0	2,0	3,0	2,0	7,0	1,5
Замедлители подвулканизации	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2
Канифоль	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	1,5
Нефтяной битум	2,0	3,0	2,0	1,0	1,0	2,0
Мягчители жидкие	4,0	3,0	3,0	3,0	1,0	–
Противостарители	2,0	1,5	2,0	2,0	3,0	1,0
Технический углерод:						
– активный	15,0	–	60	20	50,0	10,0
– полуактивный	30,0	40,0	–	30	–	40,0
Белая сажа	5,0	5,0	–	–	10,0	–

3. Получить от преподавателя вариант типовой рецептуры резиновой смеси и на его основании определить назначение обкладочной резиновой смеси (каркас, брекер) и тип шин, для которых она предназначена. Описать условия эксплуатации шин, сформулировать основные требования к свойствам резиновых смесей и резин на их основе.

4. Выполнить индивидуальное задание. Составить рецепт (качественный и количественный состав) обкладочной резиновой смеси (каркас, брекер) для шин различного назначения. Выбор варианта задания производится в соответствии с табл. 2.13.

При составлении и обосновании рецепта рекомендуется использовать справочную и учебную литературу.

При обосновании рецепта необходимо отразить следующие пункты:

- назначение и условия эксплуатации изделия;
- требования, предъявляемые к техническим свойствам резин;
- требования, предъявляемые к технологическим свойствам резиновых смесей;
- обоснование выбора каждого компонента и его дозировки.

Таблица 2.13

**Вариант индивидуального задания**

Номер по списку группы	Тип покровной резины	Тип шины
1	Каркас (текстильный)	СКГШ
2	Брекер	СКГШ ЦМК
3	Каркас	СКГШ ЦМК
4	Каркас (текстильный)	Легковые шины
5	Брекер (металлокордный)	Легковые шины
6	Каркас	Сельскохозяйственные шины
7	Каркас	Грузовые ЦМК
8	Брекер	Грузовые ЦМК
9	Каркас (текстильный)	КГШ
10	Брекер	КГШ ЦМК

Разработанный рецепт оформить в соответствии с предлагаемой формой (табл. 2.14).

Таблица 2.14

**Рецепт резиновой смеси для изготовления ... (наименование изделия)**

Наименование компонентов	Массовые части компонентов	Назначение компонентов

5. Выполнить лабораторную работу (№ 7 или 8) по определению влияния состава обкладочных резин на их адгезионные характеристики.

Для выполнения лабораторных работ используются образцы обкладочных резин различного состава, например:

- образцы каркасных или брекерных резин одинакового состава, различающиеся типом или содержанием промоторов адгезии;
- резинокордные системы с различными типами армирующих материалов и др.

**Контрольные вопросы**

1. Какие основные требования предъявляются к брекерным и каркасным резиновым смесям?
2. Какие основные требования предъявляются к брекерным каркасным резинам?
3. Какие каучуки применяются в рецептурах брекерных и каркасных резин? Почему?

4. Предложите ингредиенты, повышающие прочность связи резины с текстильным кордом и металлокордом, укажите их дозировки и механизм действия.

5. Укажите дозировку активаторов вулканизации в рецептурах брекерных и каркасных резиновых смесей.

6. Какие типы и дозировки вулканизирующего агента и ускорителей вулканизации применяются в рецептурах каркасных и брекерных резиновых смесей?

7. Предложите тип и дозировку наполнителя и пластификатора в рецептурах брекерных и каркасных резиновых смесей.

#### 2.2.4. Методы определения прочности связи в резинокордных системах

Большинство изделий работает не только в статических условиях, но и в условиях многократного динамического нагружения, поэтому существующие методы определения прочности связи можно разделить в основном на две группы:

– *статические методы*, при которых определяется величина нагрузки, вызывающая расслоение или выдергивание нити;

– *динамические методы*, при которых резинокордная система подвергается различным видам многократных деформаций.

К статическим методам определения прочности связи относятся отслаивание, выдергивание и расслаивание.

*Метод отслаивания* определения прочности связи основан на отслоении единичной нити корда от резины при статическом сжатии. Испытания образцов в виде пробок проводятся после их прогрева в течение 1–2 ч в термостате при 120°C. Метод визуальный, однако отличается высокой чувствительностью, поэтому он получил распространение как контрольный метод определения прочности связи корда, пропитанного в производственных условиях, с контрольными резинами. Поскольку результаты испытания в значительной степени зависят от твердости резины и ее модуля, этот метод не может применяться при сравнительной оценке адгезионных свойств резины.

*Метод выдергивания* основан на выдергивании нити из резинового блока. В зависимости от формы резинокордного образца существует несколько модификаций этого метода – методы Н, У, Т. Н-метод основан на выдергивании нити из резинового блока в виде

буквы Н. Испытания проводят при комнатной температуре после прогрева образцов при температуре от 100 до 150°C и предварительного утомления. Метод используется на практике и пригоден для оценки адгезионных свойств корда и резины. U-метод основан на выдергивании обоих концов нити в форме буквы U из испытуемого образца. T-метод основан на выдергивании одного конца нити из резинового блока в форме буквы T. Два последних метода не нашли распространения.

*Метод расслаивания* основан на статическом расслаивании резиноканевых образцов. При расслаивании фиксируется сила (нагрузка), необходимая для отделения ткани (ленты) от резины в дублируемых двухслойных образцах заданного размера. Метод расслоения позволяет выявить колебания в прочности связи на отдельных участках расслаиваемого образца по соответствующим колебаниям при наблюдаемой во время испытания нагрузке. Поэтому расслоение следует предпочесть из всех методов испытания образцов.

В условиях многократных деформаций связь на границе раздела корд – резина снижается, поэтому динамические методы испытания прочности резинокордных систем, как правило, являются более чувствительными к рецептурным и технологическим факторам, чем статические, хотя разброс показателей при этом увеличивается. Испытания на прочность связи резины с отдельными нитями корда заключаются в многократных деформациях резиновых образцов с завулканизованными в них нитями, которые при испытаниях находятся под натяжением грузов.

Существующие методы в основном классифицируют по типу реализуемых деформаций образца в целом: сжатия, растяжения, изгиба, сдвига и др.

1. Метод, основанный на многократном сжатии резинокордного образца в виде цилиндра с кордной нитью по диаметру с последующим выдергиванием нити. Недостатком является изнашиваемость резины в процессе испытания образца.

2. Метод, основанный на деформации изгиба и сжатия. Кордная нить расположена вдоль резинового образца в виде длинной трубки с фланцами на концах. Испытания проводят либо до выдергивания кордной нити из образца, либо до утомления образца при определенном числе циклов с последующим выдергиванием нити.



3. Метод, основанный на утомлении образцов в виде Н-блоков при деформации растяжения, направленной перпендикулярно кордным нитям. Утомление образцов производится в течение заданного времени с последующим выдергиванием нити. Преимущество этого метода заключается в том, что результаты испытаний не зависят от модуля резины, поэтому он может быть использован для оценки адгезионных свойств как корда, так и резины.

4. Резинокордным образцам в форме гантелей задается деформация растяжения-сжатия на машине МРС-2 со специальным приспособлением. Испытание проводят до выдергивания нитей из образца. Преимуществом этого метода является возможность проведения испытаний при заданной деформации.

5. Резинокордные образцы для испытания при деформации многократного сдвига могут быть изготовлены из одиночной кордной нити или из ткани. При испытании резиноканевых образцов они изготавливаются из одного слоя кордной ткани. Испытания проводят при дополнительной статической нагрузке и соответствующем поджатии до момента отслоения кордной ткани от резины. Момент отслоения фиксируется визуально.

6. Резинокордные образцы для испытания при многократном изгибе могут быть из одиночной нити или из ткани (ленты). Единичная нить корда располагается вдоль цилиндрического образца, изгиб достигается в результате деформации образца между неподвижным стыком и плунжером. Одновременно образец подвергается деформации сжатия.

В отечественной практике наибольшее распространение получил следующий комплекс методов определения прочности связи корда с резиной: отслоение единичной нити корда от резины при статическом сжатии; Н-метод испытания до и после утомления; расслаивание резиноканевых образцов; многократное сжатие резинокордных образцов с единичной нитью; многократный сдвиг резиноканевых образцов; многократное растяжение-сжатие резинокордных образцов в виде гантелей.

Прочность связи, полученная методом отслоения при статическом сжатии, Н-методом при многократном сжатии резинокордных образцов с единичной нитью, хорошо коррелирует с прочностью связи между резинокордными слоями шин, ходимостью шин на стендах и при эксплуатации.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ СВЯЗИ ЕДИНИЧНОЙ НИТИ КОРДА С РЕЗИНОЙ Н-МЕТОДОМ

*Цель работы:* определить прочность связи единичной нити корда из текстильных волокон, металлической проволоки, стекловолокна и других материалов с резиной Н-методом, основанным на определении силы, необходимой для выдергивания кордной нити из резинового образца, имеющего форму Н.

*Оборудование, материалы:* разрывная машина для испытания, которая должна обеспечивать замер нагрузок с точностью до  $\pm 2\%$ ; скорость подвижного зажима  $(100 \pm 10)$  и  $(150 \pm 10)$  мм/мин. Для закрепления образцов машина должна быть снабжена двумя держателями с шириной прорези для нитей  $(1,6 \pm 0,1)$  и  $(2,0 \pm 0,3)$  мм.

Испытание проводят согласно ГОСТ 14863–69 «Резина. Метод определения прочности связи резина – корд (Н-метод)».

### Порядок проведения работы

*Подготовка к испытанию.* По форме образцы типов I, II и III должны соответствовать указанным на рис. 2.4.

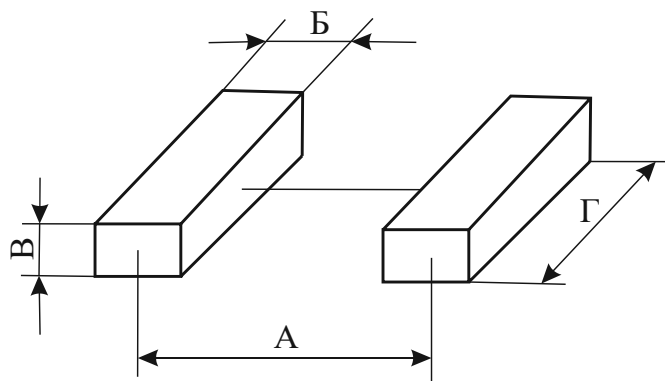


Рис. 2.4. Вид образца:

А – расстояние между центрами блоков; Б – высота резинового блока; В – толщина резинового блока; Г – ширина резинового блока

Показатели образцов определяются размерами пресс-формы, схема одного из вариантов которой и основные размеры для образцов типов I, II, III приведены на рис. 2.5 и в табл. 2.15 соответственно.

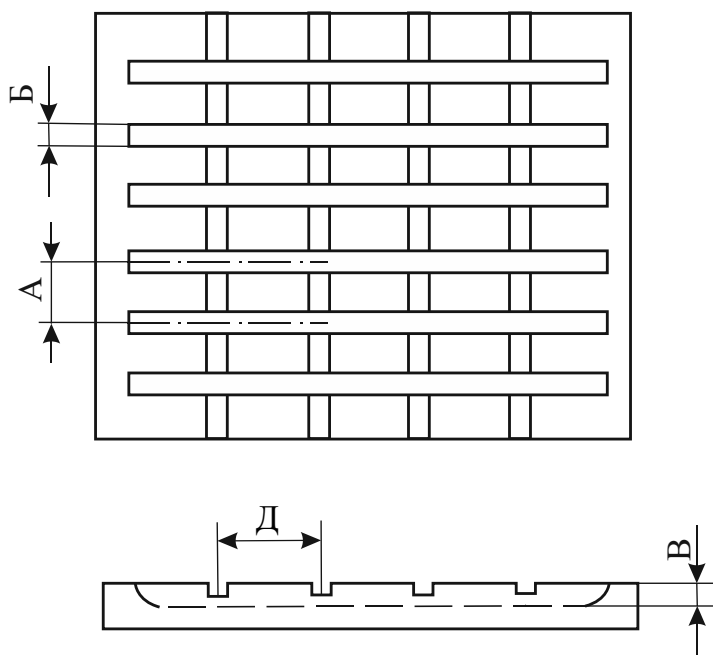


Рис. 2.5. Вид пресс-формы:  
А, Б, В, Д – основные размеры

Допускается размер А для образцов типа I принимать равным  $(26,4 \pm 0,2)$  мм. Образцы типа I применяют для кордов диаметром нити до 1,0 мм, образцы типа II – для кордов диаметром нити от 1,0 до 1,2 мм, образцы типа III – для кордов диаметром нити более 1,2 мм.

Таблица 2.15

**Размеры (мм)**

Тип образца	А	Б	В	Д
I	$16,4 \pm 0,2$	$6,40 \pm 0,05$	$3,20 \pm 0,05$	$25,00 \pm 0,05$
II	$35,0 \pm 0,2$	$10,0 \pm 0,1$	$6,0_{-0,2}$	–
III	$35,0 \pm 0,2$	$10,0 \pm 0,1$	$8,0_{-0,2}$	–

Образцы изготавливают следующим образом. Резиновую смесь снимают с вальцов или каландра в виде листов толщиной  $(2,0 \pm 0,2)$  мм для образцов типа I; 3,5–4,0 мм – для образцов типа II; 4,5–5,0 мм – для образцов типа III. Из листов резиновой смеси ножницами нарезаются 8 полосок размера  $(8-10) \times 360$  мм и прямоугольный лист по шаблону размера  $355 \times 195$  мм. Затем нарезают полоски целлофана размером  $(20-22) \times 370$  мм в количестве 4 шт. Кордные нити в количестве 18 шт. укрепляются на металлической планке, соответствующей размерам формы.

Загрузка формы осуществляется следующим образом. В глубине предварительно нагретой нижней формы закладываются

полоски резиновой смеси. Планка с нитями корда укрепляется на шпильках формы. Нити направляются соответственно через прорези в бортах формы. На свободном конце каждой нити укрепляется для выпрямления груз массой  $(200 \pm 5)$  г. Вдоль выступов формы на нити корда накладываются полоски целлофана, а затем на всю поверхность формы накладывается прямоугольный лист резиновой смеси.

Форма закрывается подогретой крышкой и помещается между плитами вулканизационного пресса. Режим вулканизации определяется рецептурой применяемой резиновой смеси. Давление плит пресса должно обеспечить удельное давление на форму не ниже 3,5 МПа. Свулканизованные резинокордные образцы нарезают на индивидуальные Н-блоки.

*Проведение испытания.* Испытания проводятся на разрывной машине, снабженной специальным держателем, при скорости движения нижнего зажима  $(100 \pm 10)$  или  $(150 \pm 10)$  мм/мин. Образцы могут испытываться при нормальной температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  или при повышенных ее значениях. В последнем случае осуществляют предварительный прогрев в термостате образцов типа I – 10–20 мин, типа II – 15–25 мин, типа III – 20–30 мин. Образец вставляют в держатели так, чтобы кордная нить вошла в прорезь без трения и видимого перегиба. Включают машину и отмечают максимальную силу выдергивания нити из резинового блока.

### Обработка результатов

За показатель прочности связи принимается максимальная сила (в Ньютонах), фиксируемая по шкале разрывной машины в момент выдергивания нити из резинового блока. Число испытываемых образцов должно быть не менее 12. Из полученных результатов подсчитывается среднее арифметическое значение, которое и является величиной прочности связи кордной нити с резиной.

В качестве дополнительного показателя определяют условное сдвиговое напряжение  $\sigma_c$ , МПа:

$$\sigma_c = \frac{f}{\pi \cdot d \cdot l}, \quad (2.10)$$

где  $f$  – разрушающая нагрузка, Н;  $d$  – толщина нити корда, м;  $l$  – длина нити на участке контакта с резиной, м.

Рекомендуется оценивать точность результатов испытания с вероятностью 0,95 по формуле

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{a^2 \cdot \sigma^2}{n^2}}, \quad (2.11)$$

где  $a = 2,0$ ;  $\sigma = \sqrt{\frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$  – средняя квадратичная ошибка;  $X_i$  и  $\bar{X}$  – отдельные и средние значения определяемого показателя соответственно;  $n$  – число образцов.

Результаты испытания записывают в табл. 2.16.

Таблица 2.16

### Результаты испытания

Наименование показателя	Значение показателя											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Шифр резиновой смеси												
Марка корда												
Толщина нити												
Максимальная сила, Н												
Условное сдвиговое напряжение, МПа												
Среднее значение: – прочности связи кордной нити с резиной, Н – условного сдвигового напряжения, МПа												

## Лабораторная работа № 8

### ПРОЧНОСТЬ СВЯЗИ МЕЖДУ СЛОЯМИ ПРИ РАССЛОЕНИИ

*Цель работы:* определить прочность связи между слоями резина – резина, резина – ткань, резина – прорезиненная ткань, прорезиненная ткань – прорезиненная ткань при расслоении образцов.

*Оборудование, материалы:* образцы для испытания; машина для испытания, которая должна обеспечивать надежное крепление образцов в зажимах без перекоса, перемещение подвижного зажима со скоростью  $(100 \pm 10)$  мм/мин, измерение силы с погрешностью не более  $\pm 1\%$  от измеряемой величины.

Машина должна иметь безынерционный силоизмеритель. Допускается проводить испытания на машине с маятниковым силоизмерителем. При этом шкалу выбирают так, чтобы измеряемая сила находилась в пределах от 20 до 85% номинального значения шкалы. Машина должна быть обеспечена для записи диаграммы расслоения самопишущим прибором, погрешность записи которого не должна превышать  $\pm 2\%$  от измеряемой величины.

Испытание проводят согласно ГОСТ 6768–75 «Резина и прорезиненная ткань. Метод определения прочности связи между слоями при расслоении». Сущность метода заключается в расслоении образцов и определении силы, необходимой для отделения двух испытываемых слоев друг от друга.

### Порядок проведения работы

*Подготовка к испытанию.* Образцы для испытания должны иметь форму прямоугольного параллелепипеда шириной  $(25,0 \pm 1,0)$  мм, толщиной не более 12 мм и длиной, обеспечивающей расслоение на участке не менее 100 мм. Для образцов из готовых изделий допускается длина, обеспечивающая расслоение на участке не менее 60 мм. Толщина расслаиваемых слоев образца должна быть не более 6 мм. Если толщина выше, ее доводят до требуемой. При испытании образцов из готовых изделий допускаются другие размеры, предусмотренные нормативно-технической документацией на изделия. Для предотвращения растяжения резины при испытании рекомендуется к ее нераслаиваемой поверхности привулканизовать или приклеивать ткань. Образцы вырезают из многослойных вулканизированных пластин так, чтобы направление каландрования резины и основы ткани совпадали с длиной образца. В зависимости от вида и конструкции изделий образцы, вырезанные из них, могут иметь два или несколько слоев.

Образцы надрезают или расслаивают между двумя слоями на длину, которая обеспечивает надежное закрепление их в зажимах машины.

Допускается применять образцы с фиксированной границей раздела между слоями на участках, закрепляемых в зажимах машины. Для этого между слоями закладывают антиадгезионный материал и получают фиксированную границу раздела при вулканизации пластин.

Образцы заготавливают не ранее чем через 16 ч после вулканизации. Время между вулканизацией и испытанием не должно превышать 30 сут.

*Проведение испытания.* Заготовленные образцы выдерживают не менее 24 ч при  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности 50–70%. Испытания проводят при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Измеряют ширину образца с погрешностью не более  $\pm 0,5$  мм в трех точках участка расслоения; в расчет принимают среднее арифметическое. Ширину образца из готовых изделий других размеров и форм допускается измерять после расслоения. В зажимах машины закрепляют слои образца, между которыми определяется прочность связи. Включают машину и проводят расслоение на участке не менее 100 мм, а для образцов из готовых изделий – на участке не менее 60 мм. При испытании записывается диаграмма «сила – время». При отсутствии самопишущего прибора следят за колебаниями стрелки силоизмерителя и записывают по шкале не менее пяти пар максимальных и минимальных показаний силы. При этом минимальные значения в расчет не принимаются, а записываются для отчетливого выделения максимумов.

При переходе расслоения в другой слой образец надрезают так, чтобы расслоение проходило по первоначально заданному направлению. Результаты, записанные во время надрыва образца, не учитывают.

### Обработка результатов

Прочность связи при расслоении  $\sigma_p$ , Н/м, вычисляют по формуле

$$\sigma_p = \frac{P_{\text{ср}}}{b}, \quad (2.12)$$

где  $P_{\text{ср}}$  – средняя сила расслоения, Н;  $b$  – ширина образца, м.

Среднюю силу расслоения  $P_{\text{ср}}$  определяют как среднее арифметическое не менее чем из трех наименьших максимальных показателей шкалы соизмерителя. За результат испытания принимают среднее арифметическое показателей не менее трех образцов, отличающихся от среднего не более чем на  $\pm 10\%$ .

Результаты испытания записывают в табл. 2.17.

Таблица 2.17

#### Результаты испытания

Наименование показателя	Значение показателя
Шифр резиновой смеси	
Средняя сила расслоения, Н	
Показатель прочности связи при расслоении, Н/м	

## Контрольные вопросы

1. Предложите методы крепления армирующих материалов к резине.
2. Какие существуют методы определения прочности связи резина – армирующий материал?
3. Перечислите факторы, влияющие на прочность связи резина – армирующий материал.
4. Приведите основные дефекты при креплении резины к металлу.
5. Какие Вам известны способы повышения прочности связи резины к армирующему материалу?



# Глава 3

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЦЕПТУР ДЛЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

---

### 3.1. ФОРМОВЫЕ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ

---

Конструктивно формовые изделия подразделяются на неармированные (резиновые) и армированные (резинотканевые и резино-металлические). В зависимости от условий эксплуатации формовые изделия должны обладать стойкостью к высоким или низким температурам, действию агрессивных сред и полностью соответствовать заданным размерам.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации формовые детали изготавливают из соответствующей группы резиновых смесей. Так, существуют смеси специального состава для изготовления:

- деталей, эксплуатируемых на воздухе;
- виброизоляционных деталей – резиновых, резинометаллических и резинотканевых;
- деталей, работающих при высоких (теплостойкие) и низких (морозостойкие) температурах;
- деталей, подвергающихся действию света и озона (свето- и озоностойкие);
- деталей, эксплуатируемых в контакте с топливом, маслом (бензо- и маслостойкие);
- прокладочных деталей;
- деталей, эксплуатируемых в тропических условиях, и др.

В производстве массового ассортимента формовых резиновых изделий применяют очень большое количество марок резиновых смесей, отличающихся типом каучуков, наполнителей, вулканизирующих систем, целевыми компонентами. Вместе с тем к таким изделиям постоянно возрастают требования по температурному диапазону эксплуатации и работоспособности.

С помощью рецептурно-технологических и конструкторских приемов расширен средний диапазон работоспособности изделий от  $-50...+180$  до  $-70...+350^{\circ}\text{C}$ ; количество рабочих сред, в которых работают РТИ, возросло с 50 до 100. Современная промышленность может создавать резины, работающие в диапазоне от  $-100$  до  $+350^{\circ}\text{C}$ , в условиях глубокого вакуума и сверхвысокого давления, стойкие

к действию озона, ультрафиолетовых и ядерных излучений, высокоагрессивных топлив, масел, смазок и других агрессивных сред. На предприятиях отрасли изготавливают резины, которые могут работать в условиях значительных статических и динамических нагрузок, износостойкие и огнестойкие, диэлектрические, электропроводящие и магнитные, мягкие и твердые, монолитные и пористые.

Технико-экономический анализ показывает, что выбор полимерной основы определяет качество РТИ. Прокладка из фторкаучука в несколько раз дороже прокладки из бутадиен-нитрильного, но обеспечивает на порядок большую длительность работы двигателя. В автомобиле с газотурбинным двигателем шланг из силоксанового каучука (рабочая температура до 250°C) не требует замены около 15 лет против 1,5 года для шлангов из углеводородных каучуков. Глубинное бурение и добыча богатой сероводородом нефти требует применения резин с особо труднодостижимым комплексом свойств – стойкостью к высоким температурам, нефти, щелочам буровых растворов и сероводороду. В этих условиях прокладка из перфторированного эластомера, усиленная волокном «кевлар», сохраняет свои свойства после трехлетней службы при температуре 210°C и давлении 10 МПа.

Достижение оптимальных технологических свойств резиновых смесей и технических характеристик вулканизатов часто обеспечивается применением комбинаций каучуков. Используя комбинации каучуков – полихлоропренового с бутадиен-стирольным, полиизопренового с бутадиеновым, бутадиен-нитрильного с полихлоропреновым и др., можно направленно влиять на изменение пластичности свойств резиновых смесей, получать необходимые прочностные и динамические свойства вулканизатов.

Формовые резиновые детали применяют в подвижных и неподвижных соединениях для устранения утечек жидкостей и газов, предохранения проникновения пыли в отдельные узлы машин и агрегатов. Поэтому основным требованием к таким резинам является стойкость к агрессивным средам.

Механические свойства резины зависят от строения молекул каучука и характера химических и физических межмолекулярных связей. Манжеты, изготовленные из фторсодержащих каучуков, обладают хорошими эксплуатационными свойствами. Однако при температуре рабочей среды около 200°C наблюдается их разрушение, что связано со снижением их прочностных свойств и ростом адгезионной составляющей силы трения. Для того чтобы избежать разрушения манжет,

связанного с отрывом и переносом на вал поверхностного слоя резины, в состав резины традиционно вводят антифрикционные наполнители: фторопласты, графиты дисульфид молибдена. Однако для заметного улучшения антифрикционных свойств резин требуется введение значительных количеств этих наполнителей, что приводит к ухудшению прочности, эластических и других свойств изделий.

Для изготовления манжетных уплотнений разработан химически и термически стойкий материал на основе политетрафторэтилена, который работает при очень высоком давлении уплотняемой среды, обладающей плохими смазывающими свойствами.

Термопластичные полиуретаны с линейным строением молекул отличаются высокой технологичностью при переработке, износостойкостью, хорошими физико-механическими характеристиками в сочетании с возможностью регулирования свойств в широких пределах. Уплотнения из полиуретанов стойки к среде озона, противостоят окислительным процессам, существенно меньше разбухают в минеральных маслах, жирах, воде, водомасляных эмульсиях, надежно работают в диапазоне температур от  $-30$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ , в минеральных маслах – до  $100^{\circ}\text{C}$ .

Под влиянием эксплуатационных сред происходит увеличение объема, массы и изменение практически всех свойств. При контакте резин с углеводородными средами одновременно с набуханием протекает процесс вымывания свободных ингредиентов. Следствием такого процесса является уменьшение массы, объема резин, а также ухудшение физико-механических показателей и эксплуатационных характеристик резиновых изделий. Уменьшение объема (массы) в этом случае можно компенсировать добавкой 5–10% каучука, набухающего в рабочей среде. Это позволяет компенсировать вымывание набуханием резин.

Полимерной основой резин для масло-, бензостойких изделий, резинометаллических амортизаторов, уплотнителей, прокладок, используемых в автомобильной, тракторной, нефтяной и других отраслях, являются бутадиен-нитрильные каучуки (БНК), которые по масштабам производства занимают первое место. Разработаны новые типы БНК с повышенным сопротивлением тепловому старению и термостойкостью; каучуки, сополимеризованные с мономерными антиоксидантами; сополимеры с чередующимся расположением звеньев; привитые и гидрированные сополимеры. В производстве РТИ наиболее перспективными являются каучуки типа БНК-ПВХ и гидрированные БНК (ГБНК).

Увеличиваются объемы применения фторкаучуков, обладающих уникальной стойкостью к агрессивным средам и теплостойкостью. Для повышения кислотостойкости резин на основе фторкаучуков их совмещают с фторопластами.

С целью получения топливостойких резин используют фторсилоксановые каучуки, резины на основе которых характеризуются несколько большим набуханием в топливе, чем вулканизаты из фторкаучука. При этом твердость, сопротивление раздиру, относительное удлинение через 25 ч набухания стабилизируются и остаются постоянными.

Топливостойкие РТИ изготавливают также с применением эпихлоргидринового каучука (ЭХГК). Особенностью резин на основе ЭХГК является сохранение эластических свойств практически до их температуры хрупкости. По сравнению с резинами на основе БНК вулканизаты ЭХГК имеют меньшую топливопроницаемость, что позволяет снизить потери топлива, загрязнение окружающей среды, пожароопасность и вредное влияние на обслуживающий персонал.

В производстве РТИ широко используются также каучуки общего назначения. Так, резиновые смеси на основе НК применяют в производстве амортизаторов, работающих под действием установившихся знакопеременных нагрузок.

Специфическими формовыми изделиями являются средства защиты личного состава: респираторы, резиновые маски противогазов, работа которых определяется в большой степени непроницаемостью и эластичностью резины. Изготавливают их из резиновых смесей на основе НК и специальных типов БК, не вызывающих дерматит.

В производстве РТИ применяются практически все имеющиеся вулканизирующие агенты, органические ускорители, активаторы и диспергаторы, замедлители подвулканизации. Однако следует учитывать тенденцию интенсификации производства, заключающейся в использовании быстродействующих вулканизирующих систем, повышении температуры вулканизации, улучшении технических характеристик изделий. Для рецептов РТИ характерна система из двух и более ускорителей вулканизации, отвечающая многоплановым требованиям. Наиболее распространены составы с участием сульфенамида Ц и тетраметилтиурамдисульфида (тиурам Д), т. е. ускорителя с большим индукционным периодом и ускорителя, способного резко увеличить скорость вулканизации. Применяют также эффективные и полужффективные вулканизирующие системы, содержащие N,N'-дитиодиморфолин, который, являясь донором серы,

способен вызывать достаточно быстрое структурирующее действие и без элементарной серы.

Формовые резины обычно имеют повышенную твердость (75–90 усл. ед. по Шору А) при невысоких значениях прочности при растяжении и относительного удлинения. Поэтому резины характеризуются малым каучуко содержанием, высоким наполнением. Повышенное наполнение возможно в результате использования малоактивных типов технического углерода: П-803, Т-900, П-701, П-705 (N650, N660, N772, N774, N990). Особенность выбора и применения технического углерода в формовом производстве связана с требованиями реологии резиновых смесей при переработке и формовании, а также необходимыми свойствами изделий. Используют технический углерод с низким содержанием остатка при просеве через сито во избежание брака в тонкостенных изделиях. Перспективен технический углерод с модифицированной поверхностью. Распространены комбинации активного и малоактивного технического углерода.

Современные высокопроизводительные и энергосберегающие тенденции к применению высоких температур вулканизации требуют особо внимательного подхода к выбору компонентов рецепта как в тщательной отработке составов вулканизирующих систем, так и в применении пластификаторов с низкой летучестью. Увеличение количества летучих веществ в данных условиях вызывает загазованность помещений; конденсируясь на поверхности вентиляторных устройств, они повышают пожароопасность участков.

В табл. 3.1 приведены примерные рецептуры резиновых смесей, предназначенных для изготовления формовых резинотехнических изделий.

Таблица 3.1

**Примерные рецептуры резиновых смесей для производства  
масло-, бензостойких резинотехнических изделий**

Наименование ингредиентов	Массовые части на 100 мас. ч. каучука		
	Для маслобензостойких РТИ		Для резиноармированных манжет
БНКС-18М	100,00	–	–
БНКС-28АМ	–	100,00	–
СКФ-32	–	–	100,00
N,N'-дитиодиморфолин	2,80	–	–
Сера	0,18	2,00	–
Салицилалальмин меди	–	–	5,00

Наименование ингредиентов	Массовые части на 100 мас. ч. каучука		
	Для маслобензостойких РТИ	Для резиноармированных манжет	
Дифенилгуанидин	0,30	–	–
Каптакс	3,00	1,40	–
Белила цинковые	5,00	5,00	5,00
Кислота стеариновая	2,00	1,5	–
Ангидрид фталевый	0,75	–	–
Стеарат кальция	–	–	5,00
IPPD	1,00	1,00	–
Ацетонанил Р	2,00	2,00	–
Пластификатор ДБФ	32,00	65,00	–
Инден-кумароновая смола	1,00	–	–
Техуглерод N772	129,00	103,00	30,00

## Лабораторная работа № 9

### ПОДБОР ПОЛИМЕРА И ИНГРЕДИЕНТОВ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ, СТОЙКИХ К ВОЗДЕЙСТВИЮ РАЗЛИЧНЫХ АГРЕССИВНЫХ ФАКТОРОВ (ТЕМПЕРАТУРЫ, СРЕДЫ)

*Цель работы:* освоить навыки составления рецептур резиновых смесей для производства формовых резинотехнических изделий, эксплуатирующихся в условиях воздействия различных агрессивных факторов; определить специфические свойства резин в условиях воздействия агрессивных факторов.

#### Порядок проведения работы

1. Изучить основные принципы составления рецептур резиновых смесей для производства формовых резинотехнических изделий различного назначения.
2. Ознакомиться с типовыми рецептурами резиновых смесей (табл. 3.1), предназначенных для изготовления формовых резинотехнических изделий.
3. По заданию преподавателя согласно номеру варианта (табл. 3.2) обосновать типовую рецептуру резиновой смеси для производства формовых резинотехнических изделий, предназначенных для

эксплуатации в агрессивных средах и/или при повышенных температурах. Номер варианта выбирается по номеру списка группы. Назначение типовых рецептов приведено в табл. 3.3.

Таблица 3.2

**Типовые рецепты резиновых смесей для производства формовых РТИ  
(мас. ч. на 100 мас. ч. каучука)**

Наименование каучука и ингредиентов	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
СКИ-3	70,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
СКД	30,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
БНКС-18АН	–	–	100,0	–	–	–	–	100,0	50,0	–
БНКС-28АМ	–	100,0	–	–	–	–	–	–	–	–
БНКС-40М	–	–	–	100,0	–	–	–	–	–	–
СКФ	–	–	–	–	100,0	100,0	100,0	–	–	100,0
ХПК	–	–	–	–	–	–	–	–	50,0	–
Сера молотая	1,7	–	0,5	2,0	–	–	–	2,0	0,5	–
Тиурам Д	–	0,6	–	–	–	–	–	–	–	–
Салицилальмин меди	–	–	–	–	5,0	–	–	–	–	–
Бифургин	–	–	–	–	–	–	–	–	–	4,0
N,N'-дитиодиморфолин	–	2,2	2,3	–	–	–	–	–	–	–
Пероксимон	–	–	–	–	–	–	1,0	–	–	–
Триаллилизотиоцианурат	–	–	–	–	–	–	5,0	–	–	–
Сантокур CBS	1,2	2,0	–	1,5	–	–	–	–	–	–
Альтакс	–	–	3,0	–	–	–	–	1,0	–	–
Дифенилгуанидин	–	–	0,3	–	–	–	–	0,2	–	–
Оксид магния	–	–	–	–	–	3,0	–	–	2,5	15,0
Белила цинковые	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	–	–	5,0	5,0	–
Стеариновая кислота	1,5	2,0	2,0	3,0	–	–	–	1,5	1,0	–
Фталевый ангидрид	1,0	–	0,5	0,5	–	–	–	–	–	–
Канифоль сосновая	2,0	3,0	–	5,0	–	–	–	–	–	–
Смола СИС	3,0	–	1,0	–	–	–	–	–	–	–
Дибutilфталат	–	5,0	30,0	8,0	–	–	–	20,0	20,0	–
Ацетонанил Н	2,0	2,0	2,0	–	–	–	–	–	1,5	–
IPPD	1,0	1,0	1,0	1,0	–	–	–	1,0	1,0	–
Защитный воск	2,0	–	–	–	–	–	–	2,0	3,0	–
Стеарат кальция	–	–	–	–	5,0	–	2,0	–	–	–
Гидроксид кальция	–	–	–	–	–	6,0	–	–	–	–
Сульфат бария	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15,0
Фторид кальция	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15,0
Техуглерод N330	60,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Техуглерод N220	–	10,0	–	–	–	–	–	40,0	–	–
Техуглерод N772	–	95,0	125,0	105,0	30,0	30,0	25,0	–	70,0	–
Мел	–	–	–	–	–	–	–	90,0	–	–

Назначение формовых РТИ

Вариант	Назначение
1	Виброизолятор
2	Уплотнительное кольцо
3	Резиновая манжета
4	Уплотнительное кольцо
5	Резиновая манжета
6	Уплотнительное кольцо
7	Уплотнительное кольцо
8	Резиновая манжета
9	Прокладка
10	Уплотнительное кольцо

При обосновании рецепта необходимо отразить следующие пункты:

- назначение и условия эксплуатации изделия;
- требования, предъявляемые к техническим свойствам резин;
- требования, предъявляемые к технологическим свойствам резиновых смесей;
- обоснование выбора каждого компонента и его дозировки.

При обосновании рецепта рекомендуется использовать справочную и учебную литературу.

4. Выполнить лабораторную работу № 10 или 11 по определению влияния состава резиновых смесей для изготовления формовых РТИ на их относительную остаточную деформацию при постоянном сжатии резин или на их стойкость к набуханию в агрессивных средах.

Для выполнения лабораторной работы используются образцы резин, применяемых для изготовления формовых РТИ различного назначения, например:

- образцы уплотнительных резин, различающиеся типом или содержанием каучука, наполнителя, вулканизирующей группы и т. д.;
- образцы резин или резиновых изделий на основе каучуков общего или специального назначения, а также их комбинации, отличающихся плотностью энергии когезии, температурой деформации и др.

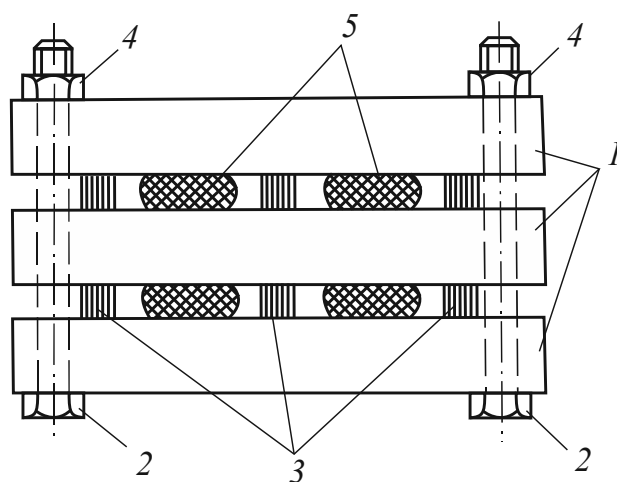


## Лабораторная работа № 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОСТАТОЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПОСТОЯННОМ СЖАТИИ

*Цель работы:* определить остаточное сжатие после выдержки образцов при определенных условиях и последующего их восстановления.

*Оборудование, материалы:* образцы резин; микрометр; струбцина (рисунок); ограничители; термостат.



Струбцина для определения остаточной деформации образцов при постоянном сжатии:

1 – пластины; 2 – болты; 3 – ограничители; 4 – гайки; 5 – образцы

Струбцина представляет собой две металлические прямоугольные пластинки размером 70×40 мм и толщиной 8–9 мм, соединенные болтами. На нижней пластинке по углам на шпильках располагаются металлические ограничители в виде кубиков, длина ребер которых рассчитана на определенную степень сжатия. Рекомендуемое сжатие составляет 20, 30 или 40%. Ограничители являются сменными. Высоты ограничителей одной струбцины могут различаться не более чем на 0,02 мм.

#### Порядок проведения работы

Резина является высокоэластичным материалом, которому свойственны обратимые деформации, приводящие к восстановлению первоначальной формы и размеров образца после снятия нагрузки. Вследствие особенностей строения (наличия совокупности несшитых

участков макромолекул, присутствия добавок сыпучих ингредиентов и мягчителей, разрыва связей, протекания термоокислительных процессов, разрушения сетки при длительной релаксации и др.) наблюдаются остаточные деформации. Поэтому у реальных резин после снятия нагрузки размеры образцов полностью не восстанавливаются. Остаточные деформации необходимо определять после полного завершения медленных процессов восстановления структуры при самопроизвольном восстановлении прежних формы и размеров образцов.

Остаточные деформации проявляются в изнашиваемости изделий, эксплуатирующихся в условиях нагружения. Это отрицательное явление, особенно для цельнорезиновых деталей типа амортизаторов или уплотнителей. Значения остаточных деформаций зависят от состава, строения резины и условий испытания: температуры, относительных деформаций, продолжительности выдержки в деформированном состоянии. Чем больше деформация, тем выше остаточное удлинение. Вследствие влияния продолжительности выдержки образцов в деформированном состоянии на значения остаточной деформации применяются методы определения накопления остаточных деформаций при длительном испытании образцов в сжатом и растянутом состоянии. Методом измерения остаточных удлинений можно изучать различные явления, определяя область кристаллизации вулканизата, кинетику процесса и температуру максимальной скорости кристаллизации.

*Подготовка образцов.* Образцы должны иметь форму цилиндра диаметром и высотой 10 мм. Замеряют первоначальную высоту образца  $h_0$  с точностью до 0,01 мм. Для одной закладки подбирают образцы, различающиеся по высоте не более чем на 0,02 мм.

*Проведение испытания.* Принцип испытания заключается в сжатии образцов на определенное значение относительной деформации и выдержке в заданных условиях с последующим «отдыхом». Устанавливают в струбцине ограничители, соответствующие выбранному значению деформации. Зажимают образцы и помещают в требуемую среду, в которой выдерживают определенное время при заданной температуре. Образцы в сжатом состоянии не должны касаться друг друга. Продолжительность испытания может составлять несколько суток. Режим старения (температура, продолжительность и величина деформации сжатия) выбирается для конкретной резины в соответствии со стандартами или техническими условиями на резины и резиновые изделия.

После старения струбцину вынимают из термостата, образцы в струбцине выдерживают 2–3 ч при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ , после чего их освобождают, выдерживают 30 мин или 1 ч в свободном состоянии и измеряют высоту ( $h$ ). Время «отдыха» определяется типом полимера, на основе которого изготовлен образец.

### Обработка результатов

Определяют значение относительной остаточной деформации  $\epsilon_{\text{ост}}$  по следующей формуле:

$$\epsilon_{\text{ост}} = \frac{h_0 - h}{h_0 - h_s} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где  $h_0$  – высота образца до испытаний, мм;  $h$  – высота образца после «отдыха», мм;  $h_s$  – высота образца после сжатия в струбцине, мм.

Значение  $\epsilon_{\text{ост}}$  вычисляется как среднее арифметическое результатов испытания не менее трех образцов. Допустимые отклонения составляют не более 5%.

Результаты испытания заносятся в табл. 3.4.

Таблица 3.4

**Результаты испытания**

Образец	Высота образца			Относительная остаточная деформация
	первоначальная	после сжатия	после «отдыха»	
1.				
2.				
3.				
Среднее значение				

## Лабораторная работа № 11

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ РЕЗИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФОРМОВЫХ ИЗДЕЛИЙ К НАБУХАНИЮ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

*Цель работы:* определить стойкость резин к набуханию в агрессивных средах весовым методом.

*Оборудование, материалы:* резиновая пластина; жидкая агрессивная среда; жидкость для промывки образцов; бумага фильтровальная;

крючки для закрепления образцов; краска для меток; штанцевый нож; микрометр; термостат; весы аналитические; бюкса стеклянная для взвешивания.

### Порядок проведения работы

Химическая стойкость резин, находящихся в ненапряженном состоянии, к воздействию жидких агрессивных сред определяется по изменению массы и объема образцов, помещенных в толстостенный цилиндр с герметически закрывающейся крышкой.

*Подготовка образцов.* Образцы размером 20×20 мм вырезают из резиновой пластины толщиной  $(2,0 \pm 0,2)$  мм и маркируют. От каждой пробы должно быть не менее трех образцов.

*Проведение испытания.* Маркированные образцы взвешивают, закрепляют с помощью крючков на стержнях и помещают в контейнер с агрессивной жидкостью. На стержень должен прикрепляться ярлык с указанием номера образца, условий испытания, названия среды. Необходимо строго соблюдать условия размещения образцов: они не должны соприкасаться друг с другом, с дном и стенками сосуда; уровень жидкости над образцами должен составлять не менее 1 см, соотношение объемов среды и образцов – не менее 15 : 1.

Если испытания проводят при повышенной температуре, жидкость в контейнере следует предварительно подогреть до температуры испытания. Контейнер с образцами герметизируют, помещают в термостат (муфельную печь) и выдерживают в нем определенное время при заданной температуре. Режим испытания и тип среды устанавливают в соответствии с техническими условиями на резины или резиновые изделия. После окончания испытания контейнер с образцами охлаждают. Образцы извлекают из растворителя и погружают для промывания на 30 с в сосуд с растворяющей средой и легко испаряющейся жидкостью (бензин, если образцы выдерживали в средах нефтяного происхождения; дистиллированная вода – в кислотах, щелочах). После испытания в легколетучих средах образцы промывке не подвергаются. Далее образцы высушивают, для чего их помещают на фильтровальную бумагу и выдерживают в течение 3–4 с на каждой стороне.

Определяют массу образцов взвешиванием в тарированных бюксах, помещают в термостат при 70°C и удаляют из них поглощенную жидкость путем доведения до постоянной массы. Разность в массе образца между предыдущим и последующим (через 1 сут) взвешиванием не должна превышать 1 мг.

## Обработка результатов

Характеристикой стойкости резин к агрессивной среде являются степень набухания  $Q$  и степень вымывания  $B$ , %, которые рассчитываются по следующим формулам:

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100; \quad B = \frac{m_0 - m_2}{m_0} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где  $m_1$  – масса образца после выдержки в агрессивной среде, г;  $m_2$  – масса образца после воздействия среды и последующего ее удаления (доведенная до постоянного значения), г;  $m_0$  – исходная масса образца (до воздействия среды), г.

Результаты испытания заносятся в табл. 3.5.

Таблица 3.5

### Результаты испытания

Показатель	Образцы			Среднее значение
	1	2	3	
Масса образца, г: – до воздействия среды $m_0$ – непосредственно после выдержки в среде $m_1$ – после воздействия среды и последующего ее удаления $m_2$				
Степень набухания, %				
Степень вымывания, %				

### Контрольные вопросы

1. Опишите принципы разработки рецептур резиновых смесей для формовых резинотехнических изделий.
2. Обоснуйте выбор каучука и ингредиентов для масло-, бензостойких формовых резинотехнических изделий.
3. В чем состоят особенности состава рецептур резиновых смесей для производства изделий, работающих в условиях многократных циклических деформаций?
4. Предложите каучуки для изготовления формовых РТИ, эксплуатирующихся в среде масла при температуре 150°C.
5. Предложите каучуки, подходящие для изготовления формовых РТИ, эксплуатирующихся при температуре –50°C.

## 3.2. НЕФОРМОВЫЕ РЕЗИНОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ

---

Неформовые РТИ в зависимости от их назначения изготавливают из тепло-, морозо-, масло-, бензостойких, пищевых резин, стойких к действию растворов кислот, щелочей и др. Для их изготовления используют резины: мягкую, средней и повышенной твердости.

При выборе сырья и составлении рецептов резиновых смесей для неформовых резиновых изделий должны учитываться следующие требования:

- полимеры или их комбинации должны быть термостойкими и не реагировать с вулканизационной средой;

- резиновая смесь должна быть каркасной, т. е. сохранять профиль полуфабрикатов, не изменять форму в процессе вулканизации; иметь более узкий диапазон разбросов по пластичности (не более 0,05) в целях получения изделий со стабильными размерами;

- вулканизирующая группа должна обеспечивать равномерную вулканизацию и определять необходимую степень вулканизации резины за короткое время; смесям обеспечивать достаточную стойкость к преждевременной вулканизации (индукционный период вулканизации при 120°C – не менее 5 мин) в процессе обработки на червячных машинах с удлиненным червяком при повышенных температурах;

- шприцованные резиновые изделия производятся преимущественно непрерывным методом и вулканизируются в жестких условиях при температурах 170–250°C в течение 0,5–3,0 мин, поэтому резиновые смеси должны иметь минимальное количество ингредиентов, содержащих влагу, летучих веществ и веществ, способных разлагаться или реагировать друг с другом с выделением кипящих жидкостей и газов в процессе шприцевания и вулканизации (за исключением порообразователей, вводимых в пористые резины);

- применение всех видов регенерата в количестве более 5,0 мас. ч. нежелательно ввиду большой склонности смесей с повышенным содержанием регенерата к порообразованию;

- рецепты резиновых смесей должны разрабатываться с учетом требований непрерывного производства и эксплуатационных свойств готовых изделий.

### 3.2.1. Монолитные неформовые изделия

Для производства неформовых монолитных шприцованных изделий, вулканизуемых непрерывной вулканизацией, применяются каучуки, мало изменяемые при воздействии высоких температур, такие как хлоропреновые, этиленпропиленовые, силоксановые, фторкаучуки и др. Использование каучуков с пластичностью, не изменяющейся при механических обработках, предпочтительнее, так как из них получают изделия с меньшим колебанием в размерах.

Профилированные изделия изготавливают из резин с высокой стойкостью к атмосферному старению на основе этиленпропиленовых (двойных (СКЭП), тройных (СКЭПТ, ЭПДК)), хлоропреновых каучуков (ХПК), их комбинаций с сополимерами бутадиена и стирола (БСК) с введением антиоксидантов и антиозонантов. В резиновых смесях, применяемых в производстве уплотнителей, предпочтительнее использовать этиленпропиленовые каучуки, при механической обработке которых пластичность не изменяется или изменяется незначительно, что обеспечивает получение изделий с малыми отклонениями от заданных размеров. Полимерная цепь таких каучуков насыщена, поэтому резины на их основе обладают исключительной стойкостью к окислению, высокой озоно- и теплостойкостью, а также устойчивостью к ряду агрессивных сред.

Применение каучуков БСК, СКД и СКИ-3 в рецептурах для неформовых резинотехнических изделий возможно при условии, что вулканизация при высоких температурах (выше 180°C) длится не более 2,5 мин. С увеличением продолжительности вулканизации ухудшаются свойства резин на основе этих каучуков. При выборе каучука учитывают возможность его деструкции или структурирования в процессе экструзии.

Для неформовых шприцованных изделий рекомендуются также комбинации сшитых каучуков (модифицированных ХПК или БНК) с другими каучуками.

При выборе каучуков необходимо учитывать возможность деструкции или структурирования каучука в процессе шприцевания, так как эти явления оказывают влияние на свойства изделий.

При невысоких температурах происходит преимущественно механическая деструкция каучука. При повышении температуры в каучуке протекают физико-химические процессы, приводящие к структурированию и деструкции. Структурирование может положительно

влиять на свойства готовых изделий в том случае, когда требуется повышенная жесткость и прочность изделия.

При шприцевании резиновых смесей в МЧХВ преобладают процессы структурирования, поскольку обработка резиновой смеси проходит при недостатке кислорода. Изделия, шприцованные в МЧХВ, имеют высокую монолитность, что также повышает прочностные свойства. Кроме того, они должны иметь высокую активность и обладать как можно меньшим индукционным периодом, т. е. оптимум вулканизации должен достигаться за короткое время, а плато должно быть широким.

При выборе рецептов резиновых смесей необходимо учитывать особенности процесса вулканизации в зависимости от аппаратного оформления. Например, в СВЧ-линиях основным требованием к резиновой смеси на основе СКЭПТ является необходимый уровень полярности, обеспечивающий повышение ее температуры при прохождении через микроволновый поток. При нормальных условиях шприцевания экструдат попадает в вулканизатор микроволновой вулканизации при температуре 80–100°C, а профиль должен выйти из микроволнового потока при температуре 150–180°C, т. е. необходимо повысить температуру примерно на 80–100°C, что достигается в большинстве случаев путем добавления техуглерода и/или полярных активаторов вулканизации. Установлено, что резиновые смеси можно вулканизовать в поле токов СВЧ, если в процессе вулканизации их температура повышается за 180 с не менее чем на 130°C. Скорость поглощения энергии СВЧ и превращения ее в тепло зависит от строения полимера и возрастает с увеличением его полярности.

Несмотря на отсутствие полярности для смесей на основе СКЭПТ, при правильно выбранной рецептуре смеси и режиме вулканизации может быть использован метод микроволновой вулканизации (токи высокой частоты). Для увеличения скорости нагрева резиновых смесей на основе СКЭПТ в них рекомендуется добавлять до 25,0 мас. ч. хлоропренового каучука, полярные мягчители, технический углерод, триэтанолламин (2,0–3,0 мас. ч.), диэтиленгликоль (2,0–3,0 мас. ч.). Целесообразно также увеличить до 10 мас. ч. содержание оксида цинка.

При составлении рецептуры светлоокрашенных профилей необходимо добавление полиэтиленгликоля, являющегося активатором вулканизации, диспергатором светлых наполнителей, полярным



агентом, обеспечивающим повышение температуры в микроволновом потоке.

В случае применения смесей с техническим углеродом восприимчивость микроволновой вулканизации зависит от его концентрации. Для любой данной мощности установки уровень подъема температуры будет около 20–25% объемной концентрации техуглерода.

Вулканизирующая группа должна быть такой, чтобы резиновые смеси не подвулканизовывались при обработке на оборудовании. В качестве ускорителей вулканизации для неформовых изделий применяют ускорители с высокой активностью: для хлоропреновых каучуков – тиомочевину и ее производные в комбинации с оксидом цинка и магния; для тройного сополимера СКЭПТ можно применять тиурам, каптакс, цимат, которые также используются для вулканизации смесей на основе БНК, СКД, БСК.

При составлении рецептов следует учитывать особенности процесса вулканизации. Так, в смесях, вулканизуемых в расплаве солей, вулканизирующая группа должна содержать ускорителей на 10–15% меньше, чем в смесях, вулканизуемых в псевдоожигенном слое.

Пероксидная вулканизация предпочтительнее серной, так как обеспечивает повышенную стойкость к подвулканизации и более высокий уровень физико-механических свойств. Пероксидная вулканизация способствует образованию наиболее стабильных углерод-углеродных термостойких поперечных химических связей. Однако дозировку пероксидов следует выбирать такой, чтобы они были израсходованы в процессе вулканизации. В противном случае остатки пероксидов при высокотемпературной эксплуатации будут разлагаться, вызывать дополнительное поперечное сшивание.

Содержание жирных кислот должно быть крайне ограничено, так как при взаимодействии их при высоких температурах с оксидом цинка или мелом выделяется вода. При этом целесообразно применять стеарат цинка.

Особое внимание при разработке рецептов монолитных шприцуемых изделий уделяют подбору ингредиентов в целях предупреждения или исключения образования пор во время вулканизации, а также для обеспечения эффективной вакуум-экструзионной дегазации смесей в процессе обработки в вакуум-червячных машинах. Резиновая смесь, вулканизуемая без давления, должна содержать как можно меньше веществ, способных разлагаться или реагировать друг с другом с выделением паров или газов при шприцевании

и вулканизации. Поэтому содержание летучих веществ в мягчителе не должно превышать 25% для резиновых смесей, вулканизуемых в поле токов СВЧ, и 35–40% – для вулканизуемых в расплаве солей. Следует учитывать резкое увеличение летучих веществ с повышением температуры вулканизации. Поэтому в таких резинах лучше использовать хлорпарафины, стабилпласт-62, жидкие каучуки. Не рекомендуется вводить дибутилфталат, вазелиновое масло, которые выделяют большое количество летучих веществ при температурах вулканизации.

В резиновые смеси рекомендуется вводить вещества, поглощающие пары и газы: обезвоженные цеолиты, обезвоженную маслonaполненную пасту оксида кальция (калоксол), кальцийнафт (дисперсия, состоящая из 3 мас. ч. свежeproкаленного оксида кальция в 1 мас. ч. масла). Необходимо отметить, что введение поглотителей не всегда положительно влияет на качество изделий. Так, введение калоксола может вызвать ускоренное старение резин.

В резиновые смеси на основе полихлоропренов, а также содержащих значительные количества регенерата или летучих веществ целесообразно вводить в рецептуру адсорбенты (цеолиты CaX, NaX, NaA, природные цеолиты) и применять эффективные процессы вакуум-экструзионной дегазации. Цеолиты типа CaX в резиновых смесях на основе полихлоропренов являются ингредиентами полифункционального действия, так как выполняют тройную функцию – эффективного антискорчинга, вулканизирующего агента и активного сорбента антипора.

Длительное хранение дегазированных резиновых смесей нежелательно, так как многие из них имеют способность к поглощению влаги из окружающей среды.

Для облегчения шприцевания и улучшения каркасности заготовок в резиновые смеси иногда вводят фактисы до 15,0 мас. ч. Они улучшают внешний вид заготовок, повышают диспергирование минеральных наполнителей, технического углерода и других компонентов, уменьшают теплообразование и расход энергии при смешении, в ряде случаев повышают физико-механические показатели резин. При введении фактисов заметно изменяются вулканизационные характеристики резиновых смесей. Все это предопределяет широкое применение фактисов при изготовлении различных изделий неформовой техники.

При составлении рецептов резиновых смесей для неформовых профильных изделий нежелательно использование наполнителей,

поглощающих влагу в процессе их обработки, развески и смешения (каолин, мел и др.). Резины с минеральными наполнителями характеризуются пониженной степенью сшивания, следовательно, более низкими показателями модуля эластичности, сопротивления раздиру и повышенными значениями остаточной деформации.

Особенностью СКЭПТ является их способность воспринимать в 2–3 раза большие количества наполнителей и мягчителей по сравнению с другими типами каучуков. Следует иметь в виду, что наполнители, имеющие кислотный характер поверхности частиц, взаимодействуют с пероксидным вулканизирующим агентом, поэтому необходимо вводить нейтрализующие вещества – оксиды щелочных металлов (оксиды магния, цинка) или ароматические амины.

В табл. 3.6 приведены примерные рецептуры резиновых смесей для производства неформовых резинотехнических изделий.

Таблица 3.6

**Примерные рецептуры резиновых смесей для производства монолитных неформовых РТИ**

Наименование ингредиентов	Назначение резиновой смеси (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука)			
	Для уплотнителей ветрового стекла автомобилей	Для оконных уплотнителей автомобилей	Длинномерный профиль	
СКМС-30	50,00	–	–	–
Наирит	50,00	–	–	–
СКЭПТ-50ЭНБ	–	100,00	–	–
СКЭПТ-60ДЦПД	–	–	77,80	100,00
СКЭПТ-60НБ	–	–	22,20	–
Сера	0,50	2,00	1,55	1,75
Альтакс	0,50	–	–	–
Тиурам Д	–	1,50	1,55	1,75
Каптакс	–	1,00	0,75	0,75
Цимат	–	–	1,55	1,50
Белила цинковые	5,00	5,00	5,85	4,00
Стеариновая кислота	2,00	–	1,15	1,20
Кальцийнафт	–	–	–	10,00
Техуглерод N772	106,00	100,00	66,15	66,00
Техуглерод N550	–	–	58,40	66,00
Каолин	30,00	–	–	–
Масло И-20	40,00	–	27,25	24,00
Рубракс	10,00	–	15,00	15,00
Парафин	3,00	–	1,15	1,20
Масло вазелиновое	–	40,00	–	–
Полиэтиленгликоль	–	–	2,70	3,00
Известь	–	–	5,85	–

### 3.2.2. Пористые (губчатые) неформовые изделия

Резиновая смесь для изготовления пористых изделий непрерывным способом должна быть достаточно пластичной, чтобы обеспечить равномерное порообразование по всей массе изделия. Кроме того, резиновые смеси должны обладать высокой каркасностью, чтобы не изменялась форма изделия до вулканизации. Поэтому при изготовлении пористых резин каучуки предварительно подвергаются пластицированию либо необходимо применять каучуки с определенной пластичностью.

На образование пористой структуры в резине большое влияние оказывает свойство каучука растворять выделяющиеся при разложении порообразователя газы и способствовать миграции их в резиновой смеси. Газонепроницаемость резиновой смеси зависит в основном от типа и строения каучука, а также от структуры вулканизата. Пористая структура образуется тем легче, чем больше сорбционная способность полимера и меньше проницаемость его для газов. Поэтому, например, для получения пористых резин с большим числом замкнутых пор рекомендуется применять каучуки с малой газопроницаемостью: бутил- и хлорбутилкаучук, хлоропреновый, бутадиен-нитрильный.

Для повышения свето-, озоно- и теплостойкости изделий используют этиленпропиленовые и хлоропреновые каучуки. Резиновые смеси на основе каучука СКМС-30АРП, содержащие 20–30 мас. ч. СКЭПТ-60, обладают каркасностью, исключаящей обрыв и искажение профиля при вулканизации в расплаве солей.

Получение пористых резин основано на употреблении в них порообразователей (порофоров). Применяются неорганические и органические порообразователи. Например, неорганические порообразователи – карбонат аммония, органические – диазоаминобензол – хорошо диспергируются в резиновых смесях и способствуют получению изделий с равномерным распределением пор. Дозировка порообразователя – 2–8 мас. ч.

В отличие от монолитных резин при получении пористых необходимо согласование двух процессов: вулканизации и порообразования. И если выбор основных компонентов для обеспечения работоспособности изделия аналогичен для резин обоих типов, то для пористых необходимо знать их влияние на разложение порофора и, в свою очередь, влияние порофора на протекание реакции вулканизации.

На характер образующейся пористой структуры, кроме способа получения, вида и количества применяемого порообразователя, в наибольшей степени влияют природа эластомера, тип и количество наполнителей, состав и дозировка вулканизирующей группы.

Обычно используют те же ускорители вулканизации, что и для монолитных резин в зависимости от типа каучука. Однако при выборе порообразователей и компонентов вулканизирующих систем пористых резин следует учитывать, что скорость порообразования и вулканизации должны быть согласованными. Это подбирается типом вулканизирующей группы и дозировкой ускорителей и порообразователей. Поскольку если скорость порообразования отстает от скорости вулканизации, изделие получается мелкопористым, с толстой наружной пленкой, большой плотностью, жесткостью и остаточной деформацией. В противном случае образуются неравномерные крупные поры, очень тонкая наружная пленка. Поэтому желательно, чтобы порообразование происходило в начальный период вулканизации, а вулканизация заканчивалась после образования пор так быстро, чтобы стенки пор не успели осесть. Это достигается правильным выбором ускорителей вулканизации, но нужно учитывать, что некоторые из них увеличивают, а другие замедляют разложение порообразователей. Например, дифенилгуанидин, каптакс и сера увеличивают скорость разложения порофора ЧХЗ-5, цинковые белила ускоряют процесс разложения порофора ЧХЗ-21 и замедляют разложение порофора ЧХЗ-5.

Самое сильное влияние на склонность резиновых смесей к подвулканизации оказывают монопроизводные бензолсульфоногидразида и диазоаминобензол. Диазоаминобензол вызывает наибольшую подвулканизацию в комбинации с ускорителями, которые образуют систему взаимной активации с аминами. Бензолсульфоногидразиды в комбинации с сульфенамидными ускорителями и тиурамом более активны в отношении к подвулканизации резиновых смесей. Порофоры ЧХЗ-21 и ЧХЗ-18 при температуре до 100°C не влияют на подвулканизацию резиновых смесей.

В отсутствие ускорителей вулканизации бензолсульфоногидразиды (ЧХЗ-5, ЧХЗ-6, ЧХЗ-9, ДФ-9), 4,4'-оксидибензолсульфоногидразид, азосоединения (ЧХЗ-21, ЧХЗ-23), диазоаминобензол и N N'-динитрозопентаметилентетрамин (ЧХЗ-18) способствуют увеличению присоединения серы. Наибольшее влияние на скорость присоединения серы оказывают монопроизводные сульфоногидразидов

(ЧХЗ-5, ЧХЗ-6, ЧХЗ-9), порофоры (ЧХЗ-18, 4ХЗ-23) и диазоаминобензол (ДАБ). Таким образом, введение порофора в резиновую смесь весьма существенно сказывается на изменении времени оптимума вулканизации, соотношения скоростей порообразования и вспенивания.

Весьма важен для пористых резин выбор типа и количества наполнителей, которые уменьшают пластичность, повышают вязкость резиновых смесей, что затрудняет процесс порообразования. Поэтому во вспениваемых резиновых смесях, как правило, используют неактивные и малоактивные наполнители. Чем активнее используемые наполнители, тем ниже порообразование. Введение больших дозировок наполнителей приводит к большим потерям газа, образующегося при разложении порообразователя.

Применяются все виды пластификаторов. Однако пластификаторы, вызывающие повышенную липкость (канифоль, смола), должны использоваться в незначительных количествах.

Для неформовых изделий, вулканизуемых в поле токов СВЧ, используются полярные резиновые смеси, в которых микроволновое излучение вызывает быстрый прогрев.

В табл. 3.7 приведена примерная рецептура резиновой смеси для производства пористых неформовых резинотехнических изделий.

Таблица 3.7

**Примерная рецептура резиновой смеси для производства пористых неформовых РТИ**

Наименование каучуков и ингредиентов	Мас. ч. на 100 мас. ч. каучука
СКЭПТ	100,00
Сера молотая	1,80
Каптакс	0,50
Альтакс	1,30
Цимат	2,00
Белила цинковые	6,00
Стеариновая кислота	0,50
Парафиновое масло	40,00
Порофор	5,00
Оксид кальция	4,00
Мел	40,00
Технический углерод N550	60,00

## Лабораторная работа № 12

### РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕФОРМОВЫХ РЕЗИНОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

*Цель работы:* освоить навыки составления рецептур резиновых смесей для производства неформовых резиновых изделий; оценить влияние состава резиновой смеси на скорость шприцевания, усадку и качество заготовок.

#### Порядок проведения работы

1. Изучить основные принципы составления рецептур резиновых смесей для производства монолитных и пористых неформовых резиновых изделий.

2. Ознакомиться с примерными рецептурами резиновых смесей (табл. 3.6 и 3.7), предназначенных для изготовления монолитных и пористых неформовых резиновых изделий.

3. Найти несоответствия в рецептурах резиновых смесей для неформовых изделий (табл. 3.8). Ответ пояснить (письменно).

Таблица 3.8

**Типовые рецепты резиновых смесей для монолитных и пористых изделий (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука)**

Наименование каучуков и ингредиентов для монолитных изделий	Вариант		Наименование каучуков и ингредиентов для пористых изделий	Вариант	
	1	2		3	4
НК	70,00	–	СКЭПТ	100,00	100,00
СКЭП	30,00	100,00	Сера молотая	2,90	1,80
Сера молотая	1,50	1,80	Каптакс	0,50	3,00
Сантокур CBS	2,00	–	Альтакс	1,10	1,10
Тиурам Д	1,60	1,60	Цимат	2,50	1,00
Альтакс	–	5,00	Белила цинковые	7,00	7,00
Цимат	–	1,80	Стеариновая кислота	2,00	0,50
Белила цинковые	3,00	5,00	Сантогард РVI	0,15	0,15
Стеариновая кислота	0,50	2,00	Канифоль сосновая	4,00	4,00
Парафин	3,00	1,00	Парафиновое масло	60,00	60,00
Масло ПН-6	20,00	20,00	Порофор	6,00	10,00
Битум нефтяной	8,00	8,00	IPPD	0,80	0,80
Известь	5,00	1,00	Оксид кальция	4,00	4,00
6PPD	3,00	3,00	Мел	35,00	–
Техуглерод N772	45,50	50,00	Техуглерод N550	65,00	65,00
Техуглерод N220	50,00	50,00	Техуглерод N220	–	45,00

4. Выполнить индивидуальное задание. Составить рецепт (качественный и количественный состав) резиновой смеси для неформовых резиновых изделий. Выбор варианта задания производится в соответствии с табл. 3.9.

При обосновании рецепта необходимо отразить следующие пункты:

- назначение и условия эксплуатации изделия;
- требования, предъявляемые к техническим свойствам резин;
- требования, предъявляемые к технологическим свойствам резиновых смесей;
- обоснование выбора каждого компонента и его дозировки.

Таблица 3.9

**Вариант индивидуального задания**

Номер по списку группы	Назначение изделия
1	Резиновый уплотнитель для оконных профилей
2	Резиновый уплотнитель для двери холодильной камеры
3	Резиновый уплотнитель для теплообрудования
4	Резиновый шнур для защиты полостей от пыли, грязи
5	Резиновый шнур, эксплуатирующийся при температуре 150°C
6	Резиновый маслостойкий шнур
7	Резиновый маслостойкий шнур, эксплуатирующийся при температуре 150°C
8	Резиновый уплотнитель для дверных профилей
9	Резиновый уплотнитель для автоклавов
10	Резиновый атмосферостойкий уплотнитель

Разработанный рецепт оформить в соответствии с предлагаемой формой (табл. 3.10).

Таблица 3.10

**Рецепт резиновой смеси для изготовления ... (наименование изделия)**

Наименование компонентов	Массовые части компонентов	Назначение компонентов

При обосновании рецепта рекомендуется использовать справочную и учебную литературу.

5. Выполнить лабораторную работу № 13 по определению влияния состава резиновой смеси на скорость шприцевания, усадку и качество заготовок.



6. Для выполнения лабораторной работы используются резиновые смеси различного состава, например:

- резиновые смеси, содержащие технический углерод различных типов при одинаковой дозировке;
- резиновые смеси с разным содержанием технического углерода одного и того же типа;
- резиновые смеси одинакового состава, различающиеся типом каучука;
- резиновые смеси на основе одного и того же типа каучука, но различающиеся вязкостью каучука;
- резиновые смеси одинакового состава на основе комбинаций каучуков, различающиеся соотношением каучуков в комбинации;
- резиновые смеси с разным содержанием пластификатора (мягчителя) и др.

## Лабораторная работа № 13

---

### ВЛИЯНИЕ СОСТАВА РЕЗИНОВОЙ СМЕСИ НА СКОРОСТЬ ШПРИЦЕВАНИЯ, УСАДКУ И КАЧЕСТВО ШПРИЦУЕМЫХ ЗАГОТОВОК

*Цель работы:* изучить влияние состава резиновой смеси на скорость шприцевания, усадку и качество заготовок.

*Оборудование, материалы:* червячная машина; часы режимные; секундомер; термопары лучковая и игольчатая; штангенциркуль; металлическая линейка; детали профилирующие; набор гаечных ключей; нож вальцовочный; ножницы; металлические противни; лопатка для чистки машины; щетка волосяная; резиновые смеси; мел кусковой; тальк; мыльный раствор; силиконовая эмульсия; целлофан.

#### Порядок проведения работы

*Подготовка к испытанию.* Предварительно резиновую смесь разогревают на вальцах до температуры, равной температуре цилиндра, и снимают в виде полосы шириной 25–30 мм, которую затем равномерно подают в загрузочную воронку червячной машины.

Шприцеванию подвергают последовательно три резиновые смеси различного состава.

*Проведение испытания.* Устанавливают температуру цилиндра и головки червячной машины. Рекомендуются следующие температурные режимы шприцевания резиновых смесей на основе различных каучуков (табл. 3.11).

Таблица 3.11

**Режимы шприцевания резиновых смесей**

Тип каучука-основы резиновой смеси	Температура, °С	
	цилиндра	головки
НК	65–70	90–95
СКИ-3	55–60	70–75
СКС	60–65	70–75
БК	65–70	110–115
БНКС	50–60	90–95
ХПК	40–45	55–60
СКЭПТ	65–70	95–100

Устанавливают мундштук в головке машины и с помощью конусообразного цилиндра шайбы и упорной гайки закрепляют его. При минимальной частоте вращения червяка в загрузочную воронку подают резиновую смесь.

Определяют массовую производительность машины, взвешивая шприцованную заготовку резиновой смеси, полученную за 1 мин работы машины. При установившемся режиме делается не менее трех взвешиваний для каждой частоты вращения червяка.

На шприцуемой заготовке, выходящей из мундштука, через каждые 5–10 с (в зависимости от скорости шприцевания) мелом ставят метки и замеряют расстояние между ними. Метки ставят на участке поверхности заготовки длиной около 1 м. Полученный профиль принимают на прямоугольный противень, дно которого предварительно промазывают мыльным раствором (или силиконовой эмульсией). Из полученных заготовок вырезают пять образцов длиной 150–200 мм. После 24 ч вылежки на воздухе или 3 ч охлаждения водой из них вырезают образцы длиной 100 мм, измеряют с точностью до 0,5 мм и взвешивают. По окончании работы останавливают машину, перекрывают вентили на трубопроводах, отвинчивают упорную гайку и при включенном прессе выталкивают из головки профилирующие детали смесью. Затем чистят пресс и профилирующие детали.

## Обработка результатов

Среднюю скорость шприцевания  $V_{\text{ср}}$ , м/с, рассчитывают по следующей формуле:

$$V_{\text{ср}} = \frac{G}{\rho \cdot S}, \quad (3.3)$$

где  $G$  – массовая производительность машины, кг/с;  $\rho$  – плотность смеси, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь профилирующего отверстия, м<sup>2</sup>.

Средняя скорость шприцевания, м/с, на выходе из головки:

$$V_{\text{ср1}} = \frac{L}{\tau}, \quad (3.4)$$

где  $L$  – длина участка шприцуемой заготовки между метками, м;  $\tau$  – продолжительность движения участка заготовки, с.

Теоретическую длину  $L_{\text{T}}$ , м, каждого образца рассчитывают по следующей формуле:

$$L_{\text{T}} = \frac{P}{\rho \cdot S}, \quad (3.5)$$

где  $P$  – масса участка заготовки длиной 0,1 м, кг.

Усадку по Гарвею, %, определяют по следующей формуле:

$$U = \frac{L_{\text{T}} - L_{\text{изм}}}{L_{\text{T}}} \cdot 100, \quad (3.6)$$

при  $L_{\text{изм}} = 0,1$  м.

Среднюю скорость шприцевания  $V_{\text{ср2}}$ , м/с, с учетом усадки находят по следующей формуле:

$$V_{\text{ср2}} = \frac{V_{\text{ср}} \cdot 100}{U + 100}. \quad (3.7)$$

Качество шприцуемых заготовок оценивают:

а) по внешнему виду (в баллах), используя шкалу шероховатости:

6 – очень гладкая блестящая поверхность;

5 – очень гладкая поверхность;

4 – гладкая поверхность;

3 – слегка шероховатая поверхность;

2 – шероховатая поверхность;

1 – очень шероховатая поверхность.

б) по остроте граней и наличию разрывов по краям (в баллах), используя шкалу пригодности:

- 6 – острые углы, нет разрывов по краям;
  - 5 – острые углы, очень незначительные разрывы;
  - 4 – острые углы, незначительные разрывы;
  - 3 – острые углы, значительные разрывы по краям;
  - 2 – углы плохо зафиксированы, значительные разрывы;
  - 1 – углы не зафиксированы, значительные разрывы.
- Результаты испытаний заносят в табл. 3.12.

Таблица 3.12

### Результаты испытаний

Наименование показателя	Образец		
	1	2	3
Тип отличительного ингредиента резиновой смеси			
Дозировка отличительного ингредиента, мас. ч.			
Средняя скорость шприцевания, м/с			
Средняя скорость шприцевания на выходе из головки, м/с			
Средняя теоретическая длина образца, м			
Усадка по Гарвею, %			
Средняя скорость шприцевания с учетом усадки, м/с			
Оценка качества заготовки, баллы: – по шкале шероховатости – по шкале пригодности			

### Контрольные вопросы

1. Укажите общие требования при составлении рецептов резиновых смесей для неформовых резиновых изделий.
2. Подберите каучуки и ингредиенты для изготовления неформовых резинотехнических изделий в зависимости от способа их производства.
3. Предложите каучуки для монолитных атмосферостойких неформовых резинотехнических изделий.
4. Предложите вулканизирующую систему для неформовых изделий, получаемых с помощью микроволнового излучения.
5. Перечислите особенности разработки рецептур для производства пористых неформовых изделий.
6. Приведите технологические и рецептурные факторы, влияющие на усадку и качество шприцуемых заготовок.
7. Как происходит усадка в сложных профилях? Каковы причины ее возникновения и методы устранения?

## Глава 4

# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

---

1. Основные принципы разработки рецептур покровных резин.
2. Основные требования к покровным резинам.
3. Виды износа протекторных резин.
4. Взаимосвязь износостойкости протекторных резин с прочностными и гистерезисными характеристиками резин.
5. Приоритетные свойства протекторных резин для шин различного назначения.
6. Каучуки, применяемые в рецептурах протекторных резин для шин различного назначения.
7. Тип и дозировка наполнителя и пластификатора в покровных смесях шин различного назначения.
8. Особенности вулканизирующей системы для покровных смесей шин различного назначения.
9. Тип и дозировка противостарителей в покровной смеси.
10. Основные требования, предъявляемые к обкладочным резиновым смесям.
11. Основные требования, предъявляемые к обкладочным резинам.
12. Каучуки, применяемые в рецептурах обкладочных резин.
13. Промоторы адгезии для резинокордных систем.
14. Качественный и количественный состав вулканизирующей системы для обкладочных резиновых смесей.
15. Тип и дозировка наполнителя и пластификатора в рецептурах обкладочных резиновых смесей.
16. Основные требования к резиновым смесям и резинам, предназначенным для изоляции бортовой проволоки.
17. Основные требования к резиновым смесям и резинам, предназначенным для наполнительного шнура.
18. Основные требования к резиновым смесям и резинам, предназначенным для промазки тканей при изготовлении оберточной ленты, усилительных лент борта, крыльевой и бортовой лент.
19. Особенности построения рецептур эластомерных композиций для изоляции бортовой проволоки.

20. Особенности построения рецептур эластомерных композиций для наполнительного шнура.

21. Основные требования к резиновым смесям и резинам, предназначенным для гермослоя.

22. Особенности построения рецептур эластомерных композиций для гермослоя.

23. Основные требования к резиновым смесям и резинам для плоских приводных ремней и конвейерных лент.

24. Особенности рецептур резиновых смесей для обкладки конвейерных лент.

25. Каучуки и ингредиенты, применяемые в рецептурах промазочных смесей для сердечников конвейерных лент.

26. Материалы и ингредиенты для рецептур смесей для слоев сжатия и растяжения клиновых ремней.

27. Особенности построения рецептур резиновых смесей для эластичного слоя и обкладки кордов клиновых ремней.

28. Выбор каучука и ингредиентов для формовых резинотехнических изделий, эксплуатирующихся в условиях воздействия различных агрессивных сред.

29. Подбор каучука и ингредиентов для неформовых резинотехнических изделий в зависимости от условий их эксплуатации и способа производства.

30. Особенности рецептуростроения монолитных и пористых неформовых резиновых изделий.

31. Вулканизирующие системы для неформовых резиновых изделий в зависимости от способа их производства.

32. Каучуки и ингредиенты для рецептуры резиновых смесей, предназначенных для внутреннего слоя рукавов (камерные резины).

33. Особенности построения рецептур резиновых смесей для промежуточных слоев и наружного слоя рукавов.

34. Группы резиновых смесей, применяемых для изготовления технических пластин.

35. Особенности состава рецептур резиновых смесей для производства технических пластин, работающих в различных условиях.

36. Каучуки и ингредиенты для рецептур резиновых смесей эбонитовых изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

---

1. Технология резиновых изделий / Ю. А. Аверко-Антонович [и др.]. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
2. Бергштейн, Л. А. Лабораторный практикум по технологии резины / Л. А. Бергштейн. – 2-е изд., перераб. – Л.: Химия, 1989. – 248 с.
3. Основы технологии шинного производства: учеб. пособие / Г. Я. Власов [и др.]; под ред. Г. Я. Власова, Ю. Ф. Шутилина. – Воронеж: ВГТА, 2002. – 460 с.
4. Принципы составления и оптимизации рецептур резиновых смесей / В. М. Гончаров [и др.]. – Красноярск: СибГТУ, 2002. – 84 с.
5. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных): в 2 ч. / Б. С. Гришин. – Казань: КГТУ, 2010. – Ч. 1. – 506 с.
6. Дик, Дж. С. Технология резины: рецептуростроение и испытания / Дж. С. Дик; под ред. Дж. С. Дика. – СПб.: Научные основы и технологии, 2010. – 620 с.
7. Захаров, Н. Д. Лабораторный практикум по технологии резины / Н. Д. Захаров. – М.: Химия, 1988. – 256 с.
8. Лабораторный практикум по технологии резины. Основные свойства резин и методы их определения / Н. Д. Захаров [и др.]. – М.: Химия, 1976. – 240 с.
9. Иванова, В. Н. Технология резиновых технических изделий / В. Н. Иванова, Л. А. Алешунина. – Л.: Химия, 1988. – 288 с.
10. Каблов, В. Ф. Материалы и создание рецептур резиновых смесей для шинной и резинотехнической промышленности: учеб. пособие / В. Ф. Каблов, О. М. Новопольцева, М. А. Кракшин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2008. – 321 с.
11. Касперович, А. В. Технология производства шин: учеб.-метод. пособие / А. В. Касперович, Ж. С. Шашок, В. В. Мозгалев. – Минск: БГТУ, 2011. – 147 с.
12. Касперович, А. В. Технология производства резинотехнических изделий: учеб.-метод. пособие / А. В. Касперович, Ж. С. Шашок, К. В. Вишневский. – Минск: БГТУ, 2014. – 108 с.
13. Левченко, С. И. Основные принципы построения рецептур резин для РТИ / С. И. Левченко, В. М. Гончаров, Л. А. Гончарова. – Красноярск: СибГТУ, 2002. – 39 с.

14. Технология резиновых изделий: учеб. пособие / Т. Б. Минигалиев, В. П. Дорожкин. – Казань: КГТУ, 2009. – 236 с.
15. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / В. И. Овчаров [и др.]. – М.: САНТ-ТМ, 2001. – 400 с.
16. Осошник, И. А. Практикум по технологии резиновых изделий / И. А. Осошник, В. С. Шейн. – Л.: Химия, 1989. – 224 с.
17. Сырье и рецептуростроение в производстве эластомеров: учеб. пособие / И. А. Осошник [и др.]. – Воронеж: ВГТА, 2011. – 332 с.
18. Осошник, И. А. Производство резиновых технических изделий / И. А. Осошник, Ю. Ф. Шутилин, О. В. Карманова. – Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 2007. – 972 с.
19. Пичугин, А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин. – М.: Типография ОАО «ВПК НПО «Машиностроение», 2008. – 383 с.
20. Резниченко, С. В. Большой справочник резинщика: в 2 т. / С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозов. – М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. – Т. 1. – 744 с.; Т. 2. – 648 с.
21. Технология резинотехнических изделий: лаб. практикум / Н. Ф. Ушмарин [и др.]. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. – 56 с.
22. Шашок, Ж. С. Основы рецептуростроения эластомерных композиций: учеб.-метод. пособие / Ж. С. Шашок, К. В. Вишнеvский. – Минск: БГТУ, 2015. – 73 с.
23. Шашок, Ж. С. Основы рецептуростроения эластомерных композиций: учеб.-метод. пособие / Ж. С. Шашок, А. В. Касперович, Е. П. Усс. – Минск: БГТУ, 2013. – 98 с.



# ОГЛАВЛЕНИЕ

---

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ .....	4
Глава 1. ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ РЕЦЕПТУР РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ .....	6
Лабораторная работа № 1. Определение основных принципов расчета рецептур резиновых смесей для производства изделий различного назначения .....	9
Глава 2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЦЕПТУР ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ШИН.....	16
2.1. Покровные резиновые смеси.....	16
2.1.1. Резиновые смеси бегового слоя (протекторные смеси) .....	17
2.1.1.1. Выбор типа полимера .....	18
2.1.1.2. Выбор компонентов резиновой смеси .....	21
2.1.1.3. Протекторные резиновые смеси «зеленых» шин .....	23
2.1.2. Резиновые смеси подканавочного слоя.....	24
2.1.3. Резиновые смеси для боковины .....	25
Лабораторная работа № 2. Разработка рецептур покровных резин и сравнительная оценка их свойств.....	28
2.1.4. Испытания протекторных резин на истирание.....	33
Лабораторная работа № 3. Определение сопротивления резин истиранию при скольжении на машине МИ-2.....	37
2.1.5. Оценка прочностных свойств покровных резин при многократных деформациях .....	40
Лабораторная работа № 4. Испытание резин на многократное растяжение.....	44
Лабораторная работа № 5. Определение сопротивления резин образованию и разрастанию трещин при изгибе .....	46
2.2. Обкладочные резиновые смеси .....	50
2.2.1. Каркасные резиновые смеси .....	51
2.2.2. Брекерные резиновые смеси.....	53

2.2.3. Промоторы адгезии для крепления резин к текстильному корду и металлокорду .....	56
Лабораторная работа № 6. Разработка рецептур обкладочных резиновых смесей (брекер, каркас) и определение адгезионных свойств резинокордных систем .....	60
2.2.4. Методы определения прочности связи в резинокордных системах .....	63
Лабораторная работа № 7. Определение прочности связи единичной нити корда с резиной Н-методом .....	66
Лабораторная работа № 8. Прочность связи между слоями при расслоении .....	69
Глава 3. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕЦЕПТУР ДЛЯ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ.....	73
3.1. Формовые резинотехнические изделия.....	73
Лабораторная работа № 9. Подбор полимера и ингредиентов резиновых смесей для производства изделий, стойких к воздействию различных агрессивных факторов (температуры, среды) .....	78
Лабораторная работа № 10. Определение относительной остаточной деформации при постоянном сжатии.....	81
Лабораторная работа № 11. Определение стойкости резин для производства формовых изделий к набуханию в агрессивных средах .....	83
3.2. Неформовые резиновые изделия.....	86
3.2.1. Монолитные неформовые изделия.....	87
3.2.2. Пористые (губчатые) неформовые изделия.....	92
Лабораторная работа № 12. Разработка рецептур резиновых смесей для изготовления неформовых резиновых изделий .....	95
Лабораторная работа № 13. Влияние состава резиновой смеси на скорость шприцевания, усадку и качество шприцуемых заготовок.....	97
Глава 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	101
ЛИТЕРАТУРА .....	103

Учебное издание

Шашок Жанна Станиславовна  
Усс Елена Петровна  
Кротова Ольга Александровна  
Лешкевич Анастасия Владимировна

**ОСНОВЫ РЕЦЕПТУРОСТРОЕНИЯ  
ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ**  
Лабораторный практикум

Учебно-методическое пособие

Редактор *О. П. Приходько*  
Компьютерная верстка *Е. В. Ильченко*  
Дизайн обложки *П. М. Никитина*  
Корректор *О. П. Приходько*

Подписано в печать 21.04.2023. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 6,2. Уч.-изд. л. 6,4.  
Тираж 50 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.