

На правах рукописи

**ШУТОВ НИКОЛАЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЦЕПТУР  
РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
РАБОТОСПОСОБНОСТИ УПЛОТНЕНИЙ**

**Специальность 05.02.01 – «Материаловедение»**  
(Машиностроение в нефтегазовой отрасли)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Уфа 2002

Работа в Уфимском государственном нефтяном техническом университете (УГНТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Хафизов А. Р.

Консультант: доктор технических наук  
Закирничная М.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Загорский В. К.

кандидат технических наук  
Ахмадишин Р.З.

Ведущая организация: Нефтегазодобывающее управление  
«Уфанефть»

Защита состоится 03 июля 2002 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.289.05 в Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УГНТУ

Автореферат разослан 31 мая 2002 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор

И. Г. Ибрагимов

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность работы**

Повышение работоспособности машин и оборудования - важнейшая задача отраслевого машиностроения. Один из подходов для ее решения - обеспечение продолжительной безотказной работы наименее надежных в эксплуатации узлов, лимитирующих работу всего оборудования. К таким узлам относятся и уплотнения, в которых широко используются детали из резины. Эти детали работают в жестких условиях эксплуатации, при этом доступ к уплотнениям ограничен, а срок их службы в должен быть не менее, чем срок эксплуатации базовых элементов.

Повышение надежности уплотнительных узлов – актуальная задача, решение которой осложнено отсутствием инженерной методики прогнозирования, базирующейся на закономерностях изнашивания резин, трудностью правильного выбора для конкретных условий эксплуатации.

Для увеличения безотказности уплотнений необходимо изыскать возможности повышения работоспособности уплотнений путем, например, совершенствования рецептур резиновых смесей. При этом недопустимо значительное удорожание быстроизнашивающихся деталей и существенное изменение технологии производства.

### **Цель работы**

Повышение безотказности резиновых уплотнений путем корректировки рецептуры резин введением дополнительных ингредиентов в промышленные резиновые смеси.

### **Решаемые задачи**

1. Подбор рецептуры резиновых смесей (типов каучуков и ингредиентов) для резиновых уплотнений, обладающих оптимальным сочетанием показателей надежности, назначения, технологичности, стоимости на основе комплексной оценки.
2. Исследование сорбционно – диффузионных свойств резин в воде и масле, аналитические расчеты сроков сохранности герметичности неподвижных соединений с резиновыми уплотнителями в условиях старения при контакте с жидкими средами.

3. Исследование влияния армирования резин волокнистыми наполнителями на стойкость материалов пар трения к гидроабразивному износу. Определение типа и количества волокнистого наполнителя в резиновой смеси.
4. Исследование влияния трибополимеробразующих ингредиентов (ТПИ) в составе резиновых уплотнений на безотказность герметизируемых соединений.
5. Разработка технологии неориентированного армирования волокнистыми наполнителями и введения ТПИ. Организация производства опытно – промышленных партий РТИ для уплотнений и авторский надзор на предприятиях.

#### **Научная новизна**

1. Обоснован принцип повышения износостойкости резинового уплотнителя и контртела за счет обеспечения благоприятного сочетания физико – механических и триботехнических свойств пар трения. Показано, что для условий суммарного минимального износа резинометаллической пары трения резиновый элемент изготавливается на основе каучуков СКН-40, СКМС-30 РП с введением антиоксидантов включающих ацетонанил, диафен ФП, амид тиафосфоновой кислоты
2. Разработан научно обоснованный метод оптимизации режимов изготовления РТИ на основании комплексной оценки служебных свойств готовых изделий. Предложено одновременное неориентированное армирование резиновых смесей волокнистым наполнителем и введение ТПИ, что приводит к образованию на металлической поверхности трения полимерной пленки с сетчатой структурой.

#### **Практическая ценность**

1. На основе промышленных резин разработаны рецептуры новых резиновых смесей и технические условия ТУ 2512.30.354.16-01 «Смеси резиновые для уплотнительных деталей».
2. Создан и внедрен в АНК «Башнефть», ОАО «Белкамнефть» технологический процесс изготовления резинотехнических изделий (РТИ) с неориентированным армированием и введением ТПИ. По данной технологии Инжиниринговой компанией «Инкомп-нефть» организовано производство уплотнений. В период 1999-2002 годы выпущено более 70 тыс. шт. деталей на сумму 1,8 млн. руб.

### **Апробация работы**

Основное содержание работы докладывалось и обсуждалось на научно - техническом семинаре седьмой международной выставки «Газ. Нефть-99» (г. Уфа, 1999г.); на научно – практической конференции «Энергоресурсосбережение в Республике Башкортостан (г. Уфа, 2001 г.); Всероссийской научно – практической конференции «Проблемы Нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности (г. Когалым, 2002 г.); Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Ижевского государственного университета (г. Ижевск, 2002 г.); научно-практической конференции «Нефтепереработка и нефтехимия 2002» (г. Уфа, 2002 г. ).

### **Публикации**

По результатам выполненных исследований опубликовано десять печатных работ, в том числе два учебных пособия, четыре статьи, четыре тезиса докладов.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы из 121 наименований, содержит 129 страниц машинописного текста, 20 рисунков, 29 таблиц.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, сформулированы цель и задачи исследования.

**В первой главе** выполнено аналитическое исследование литературных источников по проблеме эффективного использования РТИ в узлах технологического оборудования и конструкций. Наличие абразивных частиц (песка) в рабочих средах вызывает в зонах трения повышенный износ. Твердые частицы под действием контртела практически полностью внедряются в резину. Внедренный абразив воздействует на контртело и изнашивает его, что ведет к снижению уплотнительных характеристик соединений.

Рассмотрены характеристики и основные особенности резин как конструк-

ционных материалов оборудования нефтегазовой отрасли. Приведена сравнительная характеристика резин на основе различных каучуков. Выполнен анализ методов оценки эксплуатационных свойств резин. Рассмотрены проблемы повышения износостойкости, теплостойкости и морозостойкости, сорбционно - диффузионных свойств каучуков и резин, стойкости к старению под действием внешних условий. В зависимости от типа уплотнений и назначения изделий определены основные показатели, требующие улучшения (таблица 1).

Таблица 1 - Показатели безотказности соединений и задачи исследований

Распространенные типы герметизируемых соединений	Характер рабочих сред	Основные показатели, лимитирующие безотказность соединений	Задачи исследований
Неподвижные	Вода, нефть, нефтепродукт	Контактное давление	Повышение долговечности при старении в воде и нефтепродукте (масле)
Подвижные вращательного и возвратно - поступательного движения	Вода, нефть, нефтепродукт, абразивные частицы	Скорость гидроабразивного износа	Повышение наработки до отказа

Из результатов выполненного аналитического обзора сделан вывод, что существуют широкие возможности в направлении создания новых композиций на базе эластомеров, совершенствования технологии и конструкций с целью повышения безотказности нефтегазового оборудования.

**Во второй главе** приводятся результаты исследований, направленных на повышение безотказности резин в уплотнительных узлах оборудования. Выполнен поиск типа каучука с оптимальным сочетанием показателей. Изучена возможность использования бутадиен-стирольного, бутадиен-нитрильного, уретанового, акрилатного, фтор - силоксанового, этиленпропиленового и фтористого каучуков. С использованием квалитетического метода оценки выбран тип каучука в качестве базового компонента резиновых смесей для изготовления уплотнений, наиболее полно отвечающего условиям эксплуатации.

При анализе каучуков была проведена оценка их комплексных показателей физико-механических свойств, влияния внешней среды, стоимости и технологичности. Для расчетов этих показателей использованы данные по прочности, эластичности, относительному удлинению, износостойкости с абразивом и

при его отсутствии, стойкости в воде и нефтепродуктах, термостойкости и морозостойкости. В качестве обобщенного показателя использовался коэффициент ранговой корреляции. По анализируемым показателям лучшим каучуком для изготовления многих ответственных резиновых деталей нефтегазового оборудования оказался бутадиеннитрильный каучук, так как его обобщенный показатель (коэффициент ранговой корреляции) имеет наибольшее значение (таблица 2).

Выбор основных ингредиентов и рецептур резиновых смесей проведен с учетом их влияния на основные эксплуатационные свойства резин. Изучение свойств резин осуществлялось непосредственно в ходе подбора компонентов и корректировке рецептуры резиновых смесей. В качестве основы резиновых смесей использовались каучуки марок СКН-26, СКН-40, СКМС-30РП, БАК-12 и их сочетания.

Таблица 2 - Матрица ранжирования и определения обобщенных показателей резин из различных каучуков

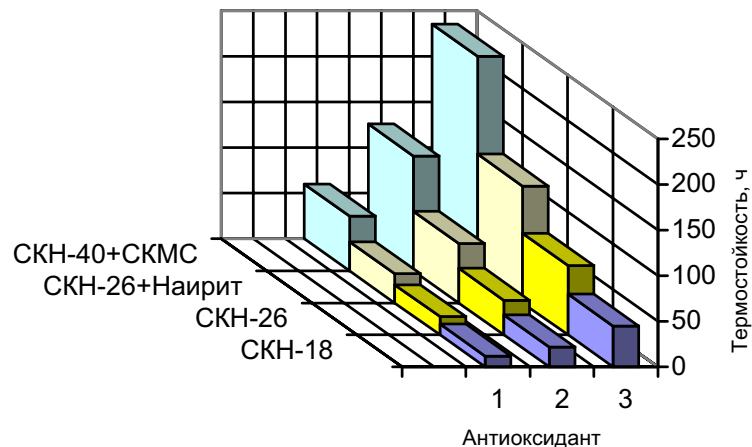
Комплексные показатели	Каучук						
	бутадиен-стирольный	бутадиеннитрильный	акрилатный	уретановый	Фтор каучук	Фторсилоксановый	Этиленпропиленовый
Стоимость	1	2	3	5	7	6	4
Технологичность	1	1	1	3	5	4	2
Упруго-прочностные свойства	3	2	5	1	4	6	2
Воздействие внешних факторов	4	3	6	1	2	2	5
Коэффициент ранговой корреляции	0,76	0,81	0,48	0,71	0,33	0,33	0,57

При разработке рецептур резиновых композиций принимали во внимание, что износостойкость резин возрастает при повышении активности (дисперсности) технического углерода, а также при введении фторопласта, угольной ткани.

Наилучшая совместимость бутадиеннитрильного и бутадиенстирольного каучуков получена при добавке гексахлорсилола и использовании в качестве активного наполнителя высокодисперсного технического углерода ПМ-100.

Морозостойкость каучуков оценивалась по величине остаточной деформации после сжатия при пониженной температуре. Для предотвращения снижения морозостойкости каучуков при увеличении концентрации в них акрилонитрила вводили дибутилсебацинат и бутадиенстирольный каучук, вместе с тем увеличивали содержание технического углерода.

Что касается теплостойкости, то выбранные нами каучуки сами по себе достаточно теплостойкие. Исследования позволили обеспечить дополнительное повышение теплостойкости каучука путем усиления ингибирующей группы. Термогравиметрическим методом установлено, что смесь антиоксидантов амидтиофосфоновой кислоты (Б-25), диафена ФП и ацетонанила с массовыми долями соответственно 0,5 : 1,0 : 0,5 проявляет синергетический эффект (рисунок 1).



1 - ацетонанил (1,0) + диафен ФП (0,5); 2 - амид тиофосфоновой кислоты (0,5);  
3 - ацетонанил (1,0) + диафен ФП (0,5) + амид тиофосфоновой кислоты (0,5)

Рисунок 1 - Влияние массовых долей антиоксидантов на термостойкость каучуков

Полученные новые образцы резин были подвергнуты испытаниям в парах трения резина - металл при действии гидроабразивной среды, а также по ГОСТ 426 - 77 трением по абразивной шкурке.

В результате сравнения физико – механических свойств серии опытно-промышленных партий резин (которым даны обозначения С-1...С-9), стандартной марки В-14, имеющей широкое распространение в нефтегазовой отрасли, и новых пробных рецептур, обозначенных Т-1...Т-5, лучшие результаты показала резина Т-2 на основе комбинации каучуков СКН-40 (50 масс. ч.) и СКМС-ЗОРП (50 масс. ч) по всем основным параметрам (износостойкости, тепло- и морозостойкости, маслостойкости, водостойкости).

Так как для резиновых уплотнений важными параметрами являются проницаемость эластомеров по отношению к органическим средам и степень набухания в них, были проведены исследования сорбционно - диффузионных свойств каучуков и резин.

Изменение массы определялось в соответствии с зависимостью, установленной и подтвержденной для различных полимерных материалов Канавец И. Ф., Козловым П. М., Тихомировой Н. С.

$$\Delta m_{\tau_i} = \Delta m_{\infty} (1 - e^{-K T_i}) \quad (1)$$

или, выразив через степени набухания (по массе)  $\alpha_m$

$$\alpha_m = \alpha_{\infty} (1 - e^{-\beta \tau}) , \quad (2)$$

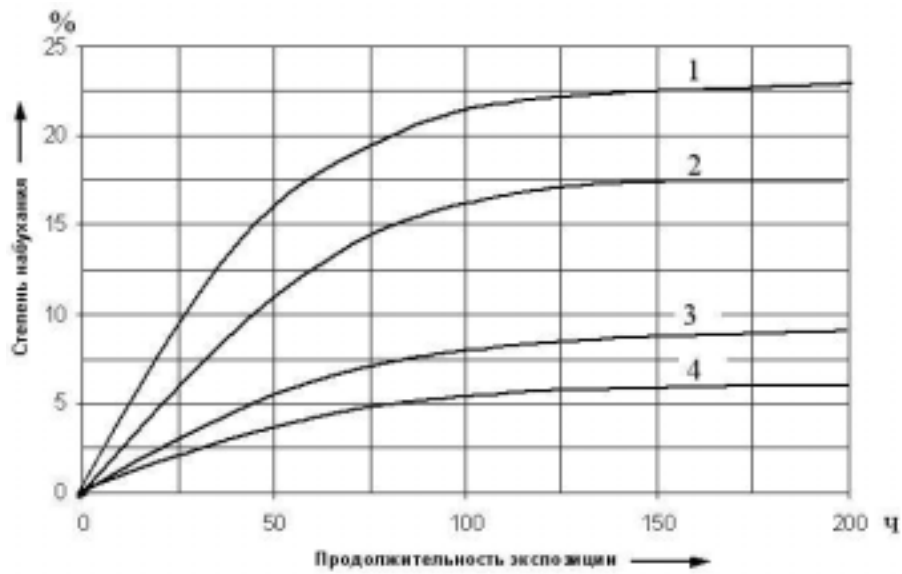
где  $\alpha_m$  – приращение массы по истечении времени  $\tau$ ;

$\alpha_{\infty}$  – максимальное приращение массы;

$\beta$  – коэффициент, зависящий от природы материала и температуры;

$\tau$  – продолжительность экспозиции образца в рабочей среде

После статистической обработки результатов измерений построены графики кинетических и температурных зависимостей этих свойств (рисунки 2, 3).



1 – В-14 в трансформаторном масле, 2 – В-14 в воде  
 3 – Т-2 в трансформаторном масле, 4 – Т-2 в воде)  
 Рисунок 2 - Кинетика набухания резины

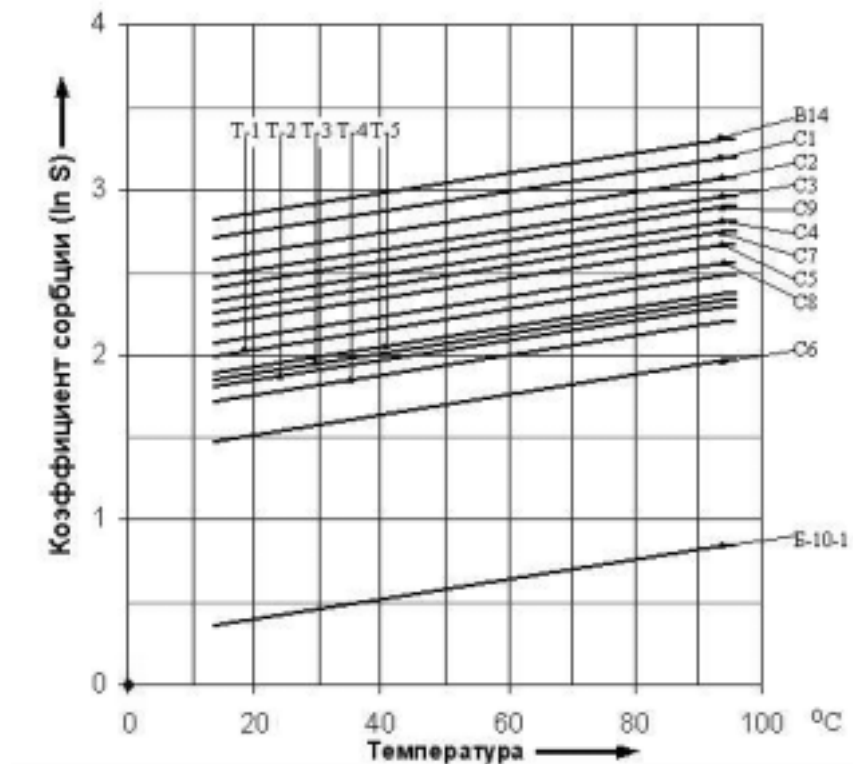


Рисунок 3 - Температурная зависимость изменения массы образцов в трансформаторном масле

По экспериментальным данным путем решения систем уравнений

$$\Delta m_{\tau_i} = f(\tau_i) \text{ определены значения } \alpha_{\infty} \text{ и } \beta.$$

Выполнены расчеты по прогнозированию герметичности резин уплотнительных узлов неподвижных соединений. В качестве основного параметра, определяющего негерметичность уплотнений, было принято контактное давление  $p_k$ , которое после установки уплотнений  $p_{ko}$  вследствие обратимого физического процесса релаксации напряжений в резине (при нормальной температуре за несколько десятков часов) сначала быстро, а затем медленно уменьшается из-за старения материала (при нормальной температуре за несколько лет).

Как известно из работ Л. А. Кондакова, А. И. Голубева, В. Б. Овандера с сотрудниками, уменьшение контактного давления в процессе старения может быть описано уравнением

$$p_k = p_{ko}^m e^{-k\tau} . \quad (3)$$

Так как экспериментальное определение  $p_k$  сопряжено со значительными трудностями, в работе вместо  $p_{ko}/p_k$  были использованы данные по накопленной относительной остаточной деформации  $\Delta h = (h_o - h_2) / (h_o - h_1)$ , где  $h_o$  - размер до деформации;  $h_1$  - размер при деформации под нагрузкой;  $h_2$  - размер после разгрузки и выдержки в течение 3 мин.

При расчетах старения использовалась безразмерная величина  $\Psi$ , названная «коэффициентом старения», которая определялась по формулам, аналогичным предложенной Бокшицким М. Н.:

$$\begin{aligned} \psi &= p_{k\tau} / p_{ko} , \\ \text{или } \psi &= \Delta h_{\tau} / \Delta h_o , \end{aligned} \quad (4)$$

где  $p_{k\tau}$  - контактное давление в уплотнительном соединении после экспозиции в рабочей среде в течение времени  $\tau$ , МПа;

$p_{ko}$  - контактное давление в уплотнительном соединении до экспозиции в рабочей среде, МПа.

Работоспособность уплотнения определяли по формуле

$$\tau = \frac{-\ln \psi_k}{C} \cdot e^{\frac{E_0}{R \cdot T}} , \quad (5)$$

где  $\tau$  - отрезок времени, в течение которого сохраняется герметичность соединения, с;

$\psi_K$  – критическое значение коэффициента старения. Для условий старения резин в уплотнениях  $\psi_K$  принимается равным 0,8.

$C$  - частотный параметр, зависящий от природы среды, определяемый из выражения

$$\psi_i = e^{-c\tau_i} ; \quad (6)$$

$E_0$  – энергия активации процесса старения, Дж/моль,

$$E_0 = k \cdot R , \quad (7)$$

где  $k$  – эмпирическая константа;

$R$  – газовая постоянная, равна 8,3143 Дж/(моль·К);

$T$  - температура, К.

Результаты расчетов работоспособности резин в неподвижных соединениях приведены в таблице 3.

У резины Т-2 (отличается от других марок серии Т повышенным содержанием дибутилсебацината и инденкумароновой смолы) коэффициент ранговой корреляции имеет наибольшее значение.

**В третьей главе** представлены результаты исследований по неориентированному армированию резин, введению в них ТПИ.

Многообразие эластомеров и волокнистых наполнителей открывает широкие возможности направленного регулирования свойств резин. Благодаря усилению волокнами в резинах сочетаются эластические свойства эластомеров с упругостью и высокой прочностью волокна. Применение волокон позволяет также добиться значительного повышения работоспособности РТИ, особенно в условиях гидроабразивного износа.

Таблица 3 - Расчетные коэффициенты и сроки сохранности герметичности уплотнений в неподвижных соединениях при  $\Psi_{кр} = 0,8$

Шифр резины	$E_o, Дж/(моль \cdot град)$	Температура, °C	$\tau_{кр}, годы$
С-1	7085,7	20	5,8
		70	3,8
С-2	5314,3	20	6,2
		70	4,5
С-3	8990,8	20	6,0
		70	3,5
С-4	5832,3	20	7,5
		70	5,3
С-5	5932,6	20	8,0
		70	5,6
С-6	5798,9	20	6,8
		70	4,8
С-7	5180,6	20	7,5
		70	5,5
С-8	10428,0	20	5,6
		70	3,0
С-9	7202,7	20	10,0
		70	6,5
В-14	7620,5	20	6,0
		70	3,8
Т-1	5030,2	20	8,5
		70	6,3
Т-2	7520,2	20	9,0
		70	6,0
Т-3	7085,7	20	8,4
		70	5,5
Т-4	7202,7	20	8,0
		70	5,2
Т-5	7453,4	20	7,5
		70	4,8

Проанализирована возможность использования хлопковых, шерстяных, вязкозных, полиамидных, полиэфирных, поливинилспиртовых, полиакрилонитрильных, арамидных, целлюлозных, углеродных, стеклянных волокон. На основании анализа исследований других авторов и экспериментальных данных, а также сопоставления различных показателей квалитетическим методом был обоснован выбор: в качестве армирующих - полиамидные волокна.

Данные о влиянии степени наполнения на механические свойства стандартной резины (В – 14) и исследуемой (Т-2) приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Механические свойства резины В-14 с различным содержанием волокнистого наполнителя

Марка резины	Предел прочности при разрыве, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Твердость по ТМ-2
В-14 (без наполнения)	14,3	160	77
В-14 (1 % волокна)	15,1	160	80
В-14 (2,5% волокна)	14,1	178	82
В-14 (5% волокна)	13,2	172	85
Т-2(без наполнения)	23,6	500	79
Т-2 (1 % волокна)	25,2	490	81
Т-2(2,5% волокна)	23,0	530	84
Т-2(5% волокна)	21,5	522	87

Из представленных данных видно, что прочность при разрыве с увеличением степени наполнения несколько снижается, относительное удлинение имеет оптимум при 2,5% волокна, а твердость равномерно повышается.

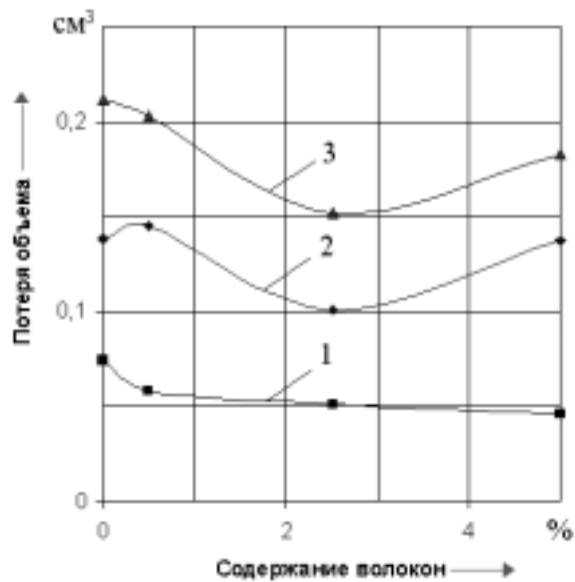
Образцы резин были подвергнуты лабораторным исследованиям для определения интенсивности гидроабразивного износа. Методика испытаний заключалась в истирании образца резины с контробразцом, прижатых друг к другу с заданной силой, создающей контактное давление  $45 \text{ Н/см}^2$ . Скорость скольжения составляла  $0,7 \text{ м/с}$ . Образцы истирались в технической воде с кварцевым песком. Массовая доля песка составляла 10%. Размер частиц абразива находился в пределах  $0,063 \dots 0,500 \text{ мм}$ .

Металлические кольца изготавливались из стали 40 ГОСТ 1050-88 (40 HRC<sub>9</sub>), ответные детали - из резин с добавлением различных количеств волокнистого наполнителя. Износ деталей пар трения под действием гидроабразивного изнашивания оценивали по потере объема образцов резин с различной степенью наполнения и контрола из стали марки 45 ГОСТ 1050-88. Результаты испытаний приведены в таблице 5.

Из таблицы 5 видно, что в парах трения с резиной Т-2 в вышеуказанных условиях эксперимента износ протекает медленнее, чем в случае использования резины В-14. Характер зависимостей интенсивности истирания от содержания различных волокон проиллюстрирован на рисунках 4 и 5.

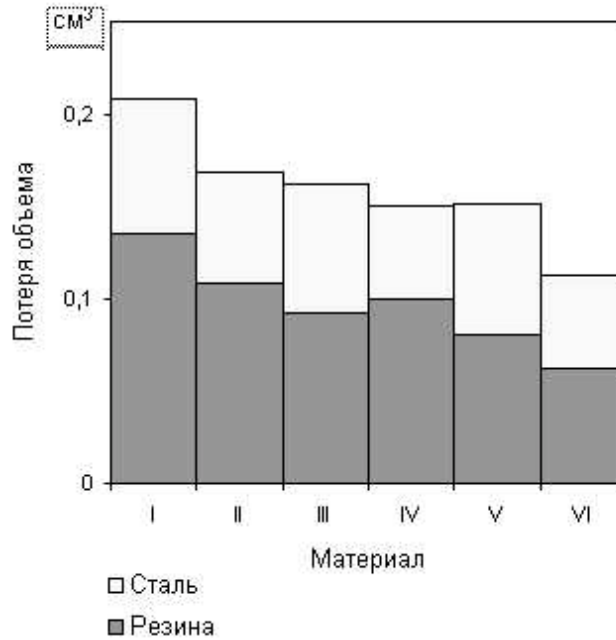
Таблица 5 - Потеря объема образцов в парах трения под действием гидроабразивной среды

Марка резины	Потеря объема, $см^3$		
	резины	стали	общая
В-14 (без наполнения)	0,135	0,073	0,208
В-14 (1 % волокна)	0,145	0,056	0,201
В-14 (2,5% волокна)	0,100	0,050	0,150
В-14 (5% волокна)	0,134	0,044	0,178
Т-2 (без наполнения)	0,080	0,071	0,151
Т-2 (1 % волокна)	0,087	0,054	0,141
Т-2 (2,5% волокна)	0,062	0,051	0,113
Т-2 (5% волокна)	0,081	0,045	0,126



- 1 – кривая износа стального образца (контр - тела);  
 2 - кривая износа резинового (В-14) образца;  
 3 – кривая суммарного износа элементов пары трения

Рисунок 4 - Износ деталей пары трения



**I – B-14, II – B-14 + С. В.; III – B-14 + У. В.; IV – B-14 + П. В.; V – T-2, VI – T-2 + П. В.**  
 Обозначения: П. В. – полиамидное волокно, С. В. – стекловолокно, У. В. – углеродистое волокно

Рисунок 5 - Износ пар трения сталь – резина

Из анализа полученных зависимостей на рисунке 5 вытекает, что армирование резин стеклянными и углеродистыми волокнами не менее эффективно с точки зрения износа резин, чем полиамидными волокнами. Однако при этом наблюдается более значительный износ контртела (стали) и суммарный износ поверхностей пар трения в зоне контакта. Данные экспериментальных исследований свидетельствуют о предпочтительности использования полиамидных волокон для армирования резин.

По результатам проведенных исследований гидроабразивного износа пар трения резина-сталь установлено:

- наилучшие показатели по износостойкости имеют резины, армированные полиамидным волокном с массовой долей 2,5%;
- при идентичной степени армирования резина под шифром Т-2 проявляет более высокую устойчивость к гидроабразивному износу по сравнению со стандартной резиной марки В-14;
- скорости износа деталей пар трения при различных линейных скоростях гидроабразивного потока имеют степенную зависимость, показатели которой могут быть использованы при оценочных расчетах;

- замена одной резины (В-14) на другую (Т-2) при одинаковых концентрациях в них волокнистого наполнителя практически не влияет на скорость износа контртела (стали 40).

В работе обоснованы направления поисков по дальнейшему увеличению ресурса уплотнений.

Одним из перспективных направлений по уменьшению износа трущихся поверхностей является введение в состав полимеров ТПИ. Данное направление разработано впервые Заславским Ю. С. с сотрудниками. Применение трибополимеробразующих добавок в состав полимерных покрытий основано на идее создания ими на трущихся поверхностях материалов пленок полимеров, обеспечивающих противоизносное, противозадирное и антифрикционное действие. Предполагается, что такие пленки должны образовываться на локальных участках трущихся поверхностей, испытывающих максимальное контактное взаимодействие при взаимном перемещении.

Эффективность действия ТПИ обеспечивается при их низких концентрациях, поскольку в начальный момент работы узла трения добавка расходуется на образование трибополимерной пленки, которая предотвращает износ. В дальнейшем присадка расходуется лишь на восстановление трибополимерной пленки на отдельных участках по мере ее истирания. Таким образом, применение ТПИ должно сопровождаться наличием периодов безизносного режима работы узла трения.

Для реализации эффекта безизносного трения в работе было подвергнуто экспериментальной оценке введение ТПИ в состав резиновых смесей.

В качестве ТПИ наполнителя был использован алифатический диизоцианат, известный своей склонностью к полимеризации. Трехкомпонентный ТПИ был сформирован на основе гексаметилендиизоцианата (ТПИ-наполнитель), поливинилового спирта (связующее) и дибутилфталата (пластификатор), взятых в определенном соотношении.

В связи с большой трудностью изучения новых образующихся полиуретановых пленок на поверхности резин из бутадиеновых каучуков проводился анализ фрактограмм, полученных с помощью растрового электронного микроскопа (РЭМ). Из анализа микрофотографий видно, что в зоне трения образуются фибрилльные структуры, которые ориентируются в направлении вектора скорости трения скольжения и сшиваются, создавая пленки трибополимеров,

также ориентированные в направлении вектора скорости трения. Наличие таких ориентированных пленок достаточно четко просматривалось при исследовании топографии поверхности резины после испытаний. Приведенные исследования фрактограмм трущихся поверхностей свидетельствуют о качественных изменениях в структуре контактирующих материалов в зоне трения. Для оценки эффективности новых технических решений необходимы их количественные характеристики. Однако использование прямых методов их оценки не представляется возможным. Поэтому в качестве косвенной количественной оценки этих характеристик в работе был использован объемный показатель стойкости к гидроабразивному износу, методика определения которого была приведена выше.

Исследуемые резиновые композиции содержали, массовых долей:

базовую резиновую смесь В-14 или Т-2.....95,0...97,5  
 полиамидные волокна.....2,5  
 трибополимеробразующую добавку .....до 2,5

Введение волокон осуществлялось размещением нетканых полотен из полиамидного волокна, предварительно обработанных в растворе ТПИ, в виде прослоек между листами резины, после чего производили их пропускание через вальцы. Результаты испытаний пробных партий резиновых образцов на стойкость к гидроабразивному износу приведены в таблице 6.

Таблица 6 - Скорость гидроабразивного износа деталей пар трения

№ образца	Массовая доля содержания ТПИ	Потеря объема, $см^3$		
		резинового	стального	суммарн.
1 (Т-2)	0	0,062	0,051	0,113
2 (Т-2)	1,0	0,060	0,050	0,110
3 (Т-2)	1,5	0,050	0,044	0,094
4 (Т-2)	2,0	0,048	0,045	0,093
5 (Т-2)	2,5	0,047	0,045	0,092
6 (В-14)	0	0,100	0,050	0,150
7 (В-14)	1,0	0,093	0,050	0,143
8 (В-14)	1,5	0,080	0,047	0,127
9 (В-14)	2,0	0,079	0,047	0,126
10 (В-14)	2,5	0,081	0,046	0,127

Полученные данные показывают, что введение в состав резиновых смесей ТПИ массовой долей 1,5...2 % повышает износостойкость на 18...20 %. Дальнейшее увеличение содержания ТПИ, по-видимому, не целесообразно. При экспериментах массовая доля ТПИ в рецептуре резиновой смеси Т-2АМ

составляла 2,0%.

Было отмечено, что относительно небольшие корректировки компонентного состава приводят к заметному улучшению физико – механических и эксплуатационных характеристик резин, что делает привлекательной перспективу их использования в наиболее ответственных узлах бурового и нефтепромыслового оборудования.

Основные характеристики предложенных к производству резиновых смесей В-14А (армированная полиамидными волокнами), Т-2, Т-2А (армированная полиамидными волокнами) и Т-2АМ (армированная полиамидными волокнами с трибополимеробразующими добавками), определенные по стандартным методикам, приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Прочностные характеристики резин.

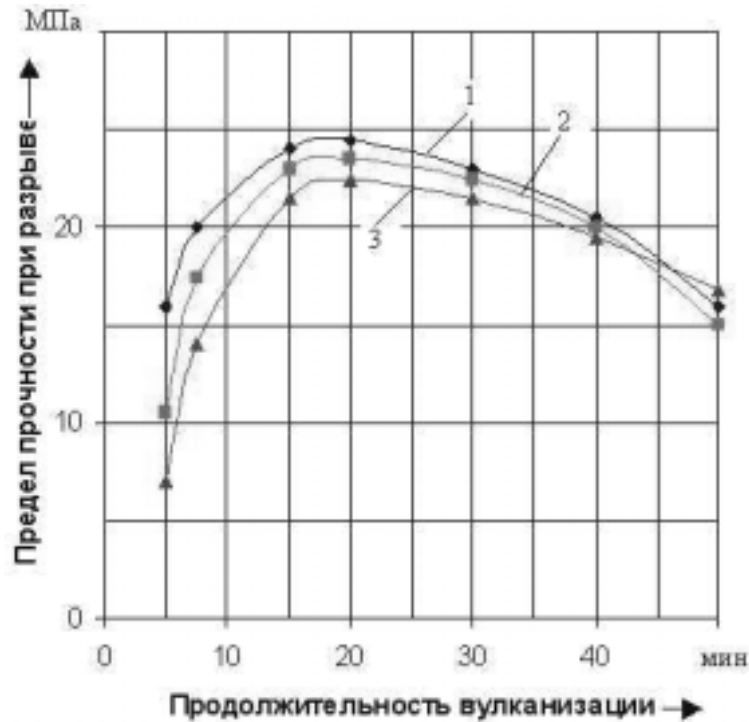
Шифр смеси	Усталостная прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Остаточное удлинение, %	Твердость, Шор А	Истираемость, см <sup>3</sup> /(квт· ч)
В-14	12,0	160	6	77	210,0
В-14А	18,4	180	8	79	154,0
Т-2	23,6	500	10	79	136,0
Т-2А	24,1	460	8	82	78,0
Т-2АМ	22,2	480	9	80	62,0

Результаты исследований армированных резин показывают, что их стойкость к истиранию, определенная по стандартной методике, повышается на 70%, а к гидроабразивному износу в парах трения со сталью – на 55% по сравнению с базовым вариантом.

**В четвертой главе** приведены результаты промышленной апробации разработок диссертационной работы.

Выполнены исследования влияния параметров вулканизации на свойства резин и определение оптимального режима вулканизации. Получены зависимости сопротивления разрыву, напряжения при 300% - ном удлинении и относительного удлинения от продолжительности вулканизации (кинетические кривые) исследуемых резин. Зависимость предела прочности при разрыве от продолжительности вулканизации приведена на рисунке 6. Установлено, что с увеличением продолжительности вулканизации значения прочностных свойств

достигают экстремума, а других свойств (степени набухания, удлинения при разрыве) – минимума. С использованием метода Дэвиса определен оптимум вулканизации для резин Т-2, Т-2А, Т-2АМ (рисунок 7).



1 - Т-2; 2 - Т-2А; 3 - Т-2АМ

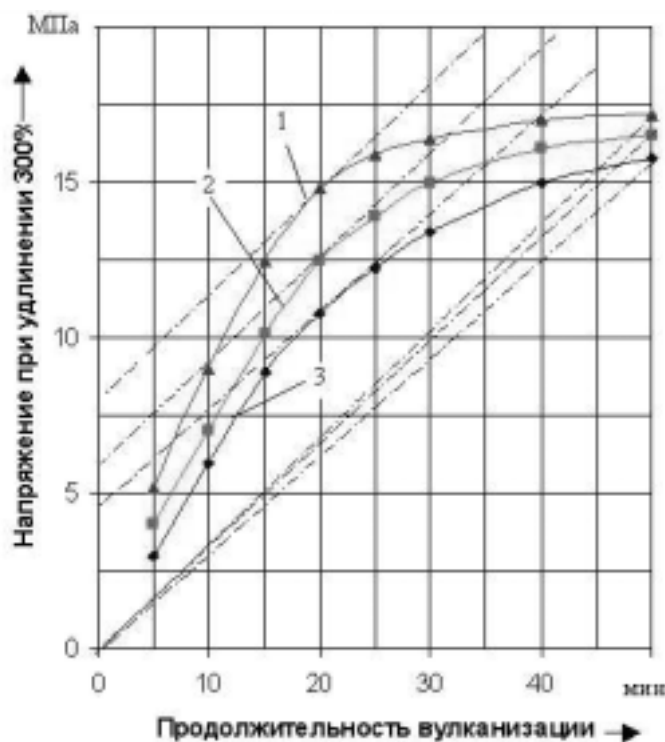
Рисунок 6 – Зависимость сопротивления разрыву от продолжительности вулканизации резиновых смесей

На основании проведенных экспериментов установлены режимы вулканизации резиновых смесей для изделий, работающих в конкретных условиях эксплуатации (таблица 8).

В главе приведена оценка усадочных деформаций при переработке резиновых смесей. Степень усадки резин учитывалась при конструировании прессформ. Проведены расчеты и экспериментальное определение (дилатометрическим методом) коэффициентов термического расширения исследуемых резин.

Рассмотрены особенности технологии изготовления и переработки резиновых смесей, наполненных волокнами. Равномерность распределения наполнителей в смесях является не только характеристикой технологических свойств получаемых композиций, но и тем показателем, от которого зависят эксплуатационные свойства изделий. В частности, улучшение качества смешения

наполнителей оказывает благоприятное влияние на эластичность и способствует повышению условной прочности вулканизатов.



1 - Т-2; 2 - Т-2А; 3 - Т-2АМ

Рисунок 7 - Определение оптимума вулканизации для резин Т-2, Т-2А, Т-2АМ по методу Дэвиса

Таблица 8 - Режимы вулканизации резиновых смесей

Назначение резин	Шифры резин	Режим вулканизации		
		температура, °С	время достижения оптимума, мин	скорость вулканизации, мин
Для изделий, работающих в условиях эрозионного износа, теплового старения	Т-2	143...158	20	3
	Т-2А	143...158	22	3
	Т-2АМ	143...158	22	3
Для изделий, работающих в условиях концентраторов напряжений, возможных надрезов, растрескивания	Т-2	143...150	18	3
	Т-2А	143...150	20	4
	Т-2АМ	143...150	20	4
Для изделий, работающих в условиях динамических нагрузок, набухания, воздействия озона	Т-2	150...158	25	3
	Т-2А	150...158	28	4
	Т-2АМ	150...158	28	4

С целью обеспечения равномерного распределения полиамидных волокон в резиновой массе в диссертационной работе предложена технология неориентированного армирования, исключая предварительное измельчение волокнистого наполнителя. Согласно этой технологии сначала на поверхности листов из сырой резиновой смеси укладываются слои нетканого полиамидного полотна. Затем проводится многократное вальцевание. Это позволяет получать вулканизаты с более высокой изотропностью свойств.

Изготовление опытных партий резиновых уплотнительных элементов проводилось по традиционной для заводов РТИ технологии с учетом корректировок параметров технологического режима, связанных со спецификой свойств исследуемых резин и ингредиентов.

Промышленная апробация и внедрение результатов диссертационных исследований были осуществлены на предприятиях нефтегазового и горно-металлургического комплексов.

Типовая технология изготовления РТИ с неориентированным армированием и введением трибополимеризующихся добавок по ТУ 2512.30.354.16-01 внедрена Инжиниринговой компанией «Инкомп-нефть». По данной технологии в период с 1999 по 2002 год изготовлено запчастей, преимущественно уплотнений, в количестве 71106 *шт.* на сумму 1,797 млн. руб.

В перечень номенклатуры поставляемых изделий входили манжеты уплотнительные сальников станков-качалок, уплотнения штоков и поршни буровых насосов У8-6МА2, подпятники и радиальные опоры турбобуров ТПВ-105, уплотнительные детали торцовых уплотнений центробежных насосов ЦНС-180, поршни водяных насосов котельных установок и др. Потребителями продукции были: Компания «Западно - Сибирский нефтекомплекс», Нижневартовское УБР, Васюганское УБР, Мамонтовское УБР (г. Нижневартовск), «Удмуртгеология» (г.Ижевск), «Башнефтемаш», Мостоотряд № 30, АО «ГУР» (г. Уфа), «Сахалинморнефтегаз», «Арктикморнефтегазразведка» (г. Мурманск), СП «Ватойл», фирма «Бурмаш» (г. Когалым), ОАО «Нижнетагильский металлургический комбинат», «Актюбинскнефть» (Казахстан), «Пурнефтегаз».

## **ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ**

- 1 Исследованы и предложены рецептуры резиновых смесей на базе каучуков СКН-26, СКН-40 и СКМС-30РП. Подобраны ингредиенты этих смесей исходя из условий прочности, стойкости к эрозионному износу, действию масел, высоких и низких температур, технологических свойств. Использование квалиметрического метода оценки показало, что разработанные составы обладают благоприятным сочетанием физико – механических, триботехнических, технологических и эксплуатационных свойств.
- 2 Проведены исследования сорбционно – диффузионных свойств серийных и пробных партий резин в воде и масле, выполнены расчеты по прогнозированию герметичности неподвижных соединений с резиновыми уплотнителями

в условиях старения. Установлено, что по совокупности свойств лучшей резиной из числа исследованных является резина с шифром Т-2 на основе смеси каучуков СКН-40 и СКМС-30РП.

- 3 С целью получения более высоких показателей прочности и износостойкости резин проведено исследование влияния армирования их волокнистыми наполнителями. В результате аналитического и экспериментального изучения свойств были выбраны полиамидные волокна. Проведены стендовые испытания резин с волокнистым наполнителем на стойкость к гидроабразивному износу, определена массовая доля волокнистого наполнителя в составе резиновой смеси – 2,5%. Износ резины при этом снижается на 22,5%, а суммарный износ деталей пары трения резина – сталь – на 25%.
- 4 Исследовано влияние трибополимеробразующих ингредиентов (ТПИ) на основе гексаметилендиизоцианата и поливинилового спирта в составе резиновой смеси на безотказность герметизируемых соединений. Установлено, что массовая доля содержания ТПИ в пределах 2...2,5% снижает скорость гидроабразивного износа деталей пар трения резина – сталь – на 18...23%. Проведен анализ фрактограмм поверхности трения, подтверждающий наличие новообразований из полимерных пленок на участках наибольшего износа.
- 5 Создан научно обоснованный технологический процесс производства РТИ с введением ингредиентов, обеспечивающих целенаправленное улучшение технологических и служебных свойств и, как следствие, повышение долговечности и безотказности уплотнений машин. Исследованы и оптимизированы основные параметры технологического процесса. Разработаны ТУ 2512.30.354.16-01 «Смеси резиновые для уплотнительных деталей» и типовая технология изготовления резинотехнических изделий (РТИ) с неориентированным армированием и введением ТПИ. По данной технологии Инжиниринговой компанией «Инкомп-нефть» организовано производство уплотнений для бурового, нефтегазопромыслового и химико-технологического оборудования. Промышленные партии РТИ прошли широкую апробацию на нефтегазовых предприятиях. Достигнуто повышение ресурса уплотнений на 26...110% по отношению к базовому варианту.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

- 1 Абдрахманов Н.Х., Шутов Н.В. Войсковой тыл. Основы тылового обеспечения в мирное время: Учеб. пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – 62 с.
- 2 Абдрахманов Н.Х., Жегалов В.В., Шутов Н.В. Обеспечение войск горючим в мирное время: Учеб. пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2000. – 155 с.
- 3 Хафизов А. Р., Шайдаков В. В., Шутов Н. В., Кравцов В. В. Исследование и повышение ресурса работы уплотнительных устройств машин и агрегатов. //Материалы международной научно-технической конференции посвященной 50-летию ИжГТУ: В 5 ч.- Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. - Ч.4 - С.83-89.
- 4 Хафизов А.Р., Шайдаков В.В., Шутов Н. В., Кравцов В.В. Исследование интенсивности гидроабразивного износа деталей пар трения. //Материалы ме-

- ждународной научно-технической конференции посвященной 50-летию ИжГТУ: В 5 ч. - Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2002. - Ч.4.- С. 79-83.
- 5 Хафизов А. Р., Шайдаков В. В., Шутов Н. В., Кравцов В. В. К вопросу о выборе каучуков для резинотехнических изделий бурового и нефтепромыслового оборудования // «Проблемы Нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности»: Тез. докл. конф. - Когалым: Изд-во КогалымНИПИнефть, 2002. – с. 135
  - 6 Хафизов А. Р., Шутов Н. В., Шайдаков В. В., Кравцов В. В. Разработка составов резин с повышенной износостойкостью // «Проблемы Нефтегазового комплекса Западной Сибири и пути повышения его эффективности»: Тез. докл. конф. - Когалым: Изд-во КогалымНИПИнефть, 2002. – с. 137
  - 7 Шутов Н. В. Повышение износостойкости резин для деталей пар трения нефтегазового оборудования // «Нефтегазовое дело» [www.ogbus.net/autors/Shutov\\_1.pdf](http://www.ogbus.net/autors/Shutov_1.pdf), 2002 – 8 с.
  - 8 Шутов Н. В. Исследование сорбционно-диффузионных свойств резин// «Нефтегазовое дело» [www.ogbus.net/autors/Shutov\\_2.pdf](http://www.ogbus.net/autors/Shutov_2.pdf), 2002 – 8 с.
  - 9 Шайдаков В. В., Шутов Н. В., Кравцов В. В. К вопросу об исследовании резин с добавками ингредиентов, повышающих износостойкость резин в узлах трения. // «Нефтепереработка и нефтехимия 2002»: Тез. докл. науч.-практич. конф. - Уфа: Изд-во Института нефтехимической переработки, 2002. – с.180
  - 10 Хафизов А. Р., Шайдаков В. В., Шутов Н. В., Кравцов В. В. Прогнозирование долговечности резин при старении в условиях эксплуатации. // «Нефтепереработка и нефтехимия 2002»: Тез. докл. науч.-практич. конф. - Уфа: Изд-во Института нефтехимической переработки, 2002. – с.182

Соискатель

Н. В. Шутов