

На правах рукописи



**КОЛЕСНИКОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИСТИРАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ  
МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СРЕДСТВ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ  
НЕФТЕПРОДУКТОВ**

Специальность 2.6.11.

Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2024

Работа выполнена на кафедре Химии и технологии полимерных материалов и нанокompозитов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва.

**Научный руководитель:** **Бокова Елена Сергеевна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Химии и технологии полимерных материалов и нанокompозитов ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина)», г. Москва

**Официальные оппоненты:** **Смотрова Светлана Александровна**, доктор технических наук, директор Научного центра неразрушающего контроля ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина», г. Москва

**Савельев Михаил Александрович**, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН «Межведомственный центр аналитических исследований в области физики, химии и биологии при Президиуме РАН», г. Москва

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА), г. Москва

Защита состоится «30» мая 2024 года в 10<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета 24.2.368.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «РГУ имени А.Н. Косыгина» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Малая Калужская, д. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» и на сайте университета [www.rguk.ru](http://www.rguk.ru)

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 года

Врио ученого секретаря  
диссертационного совета  
24.2.368.01, канд. техн. наук, доцент



Черноусова Наталья  
Владимировна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность работы.**

Средства хранения и транспортирования нефтепродуктов на основе полимерных материалов, такие как эластичные резервуары, плосковорачиваемые рукава, гибкие трубопроводы и др. в настоящее время получают все более широкое распространение. По сравнению с металлическими, изделия нефтепродуктообеспечения из полимерных материалов обладают более низкой материалоемкостью и удельной массой, что обеспечивает их мобильность и легкость перемещения. Такие изделия особенно актуальны при эксплуатации на сложных участках местности (горы, болота, пустыни), в условиях экстремального климата, где возведение стационарных средств невозможно или нецелесообразно, а также при устранении чрезвычайных ситуаций, связанных с проливами нефтепродуктов.

Существует противоречие между необходимостью снижения материалоемкости современных средств хранения и транспортирования нефтепродуктов и предъявляемыми к ним требованиями по эксплуатационным характеристикам. Особенно это касается показателя сопротивления истиранию, который зависит от толщины оболочки рукава, которая, в свою очередь, определяет вероятность локального разрушения изделий и возникновения аварийных ситуаций.

Условия эксплуатации средств хранения и транспортирования нефтепродуктов, такие как пульсирующее движение напорных рукавов по поверхности различной твердости, эксплуатация пустых и заполненных резервуаров при складировании, транспортировка и развертывание на местности, определяют зависимость уменьшения толщины изделий от продолжительности истирания, силы трения и твердости поверхности, с которой контактируют изделия, а так же от воздействия факторов окружающей среды. Кроме того, назначение таких изделий должно учитывать зависимость их истирания от контакта с различными нефтепродуктами.

**Степень разработанности темы.** Вопросы истирания полимерных материалов отражены в работах И.В. Крагельского, С.Б. Патнера, K.G. Budinski, A.A. Cenna, N.P. Suh и др. Анализ показывает, что стандартные методики и модели для оценки сопротивления истиранию не учитывают в полной мере условия эксплуатации средств хранения и транспортирования нефтепродуктов.

**Цели и задачи научной работы.** Целью диссертационного исследования является разработка методики оценки сопротивления истиранию полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов, учитывающей различные условия эксплуатации.

В соответствии с поставленной целью в работе необходимо было решить следующие научные задачи:

- провести анализ литературных источников, ранее выполненных теоретических работ и экспериментальных исследований и научно обосновать подходы к выбору прибора и методики оценки истирания полимерных материалов;
- разработать алгоритм обработки экспериментальных результатов испытаний полимерных материалов на истирание и предложить эмпирическую регрессионную

модель истирания полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов;

- обосновать универсальный характер разработанной модели для прогнозирования уменьшения массы ТПУ, ПВХ и нитрильной резины;
- количественно оценить влияние на истирание твердости поверхности, УФ-излучения, соляного тумана и контакта с нефтепродуктами на процесс истирания;
- количественно оценить влияние марочного состава ТПУ на продолжительность эксплуатации рукавов и резервуаров в различных условиях эксплуатации;
- провести апробацию разработанной методики испытания полимерных материалов.

#### **Научная новизна работы:**

- установлены зависимости истирания полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов от их химического состава, твердости поверхности контакта, состава топлив, действия соляного тумана и УФ-излучения;
- разработана методика обработки экспериментальных данных по истиранию эластичных полимерных материалов, предназначенных для хранения и перекачки нефтепродуктов, учитывающая условия их эксплуатации;
- предложена эмпирическая регрессионная модель, устанавливающая зависимость изменения толщины функционального слоя рукава (резервуара) от переменной силы трения и продолжительности ее действия, обеспечивающая сравнение экспериментальных результатов, полученных при различных режимах испытаний, и целенаправленный выбор полимерных материалов в зависимости от назначения и условий эксплуатации готового изделия.

**Теоретическая значимость.** Полученные результаты исследования расширяют представления о возможных методиках испытаний полимерных материалов на истирание, имитирующих условия эксплуатации готовых изделий и дающих возможность оценки этих результатов с использованием методов математического моделирования.

#### **Практическая значимость работы.**

В работе предложен научно-обоснованный подход к выбору полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов в зависимости от назначения и условий эксплуатации. Результаты работы внедрены: в производстве напорных плоскостворачиваемых рукавов и шлангов, гибких трубопроводов и комплектов БЗКР-100Э производства ООО «Балтикфлекс»; в производстве и разработке эластичных резервуаров ПЭР-Н, полевых складов горючего ПСГ и полевых магистральных рукавных трубопроводов ПМРТ производства ООО НПФ «Политехника».

**Методология и методы исследования.** В качестве методологии исследования истирания полимерных материалов использованы эмпирический и феноменологический подходы, системный и структурный анализ, физическое и математическое моделирование, физико-химические методы оценки полимерных материалов и топлив, статистические методы обработки измерений на основе корреляционного и факторного анализа. Исследования процесса истирания полимерных материалов базировались на общепринятых представлениях о структуре и химической природе полимеров и их влиянии на свойства изделий.

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- результаты экспериментальных исследований, подтверждающие целесообразность разработки и апробации методики оценки истирания полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов;
- методика обработки экспериментальных данных по истиранию эластичных полимерных материалов, предназначенных для хранения и перекачки нефтепродуктов;
- эмпирическая регрессионная модель для прогнозирования уменьшения массы (толщины) материалов на основе ТПУ, ПВХ и Резины от переменной силы трения и продолжительности истирания;
- показатели параметров модели, которые зависят от марочного состава полимеров, отражают зависимость износа полиуретанов при контакте с поверхностями различной твердости, действия УФ-излучения, соляного тумана и контакта с различным горючим;
- рекомендации по выбору полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов в зависимости от назначения и условий эксплуатации.

**Личный вклад автора** состоял в проведении экспериментальных исследований, обработке и анализе полученных результатов, формулировании положений и выводов, написании статей и выступлении на конференциях.

**Апробация результатов.** Результаты работы доложены и обсуждены на научных конференциях, таких как: Межведомственная научно-техническая конференция «55 лет химмотологии. Основные итоги и направления развития», 24 ноября 2019 г., Москва, Россия; Научно-техническая конференция молодых ученых ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», 4 декабря 2019 г. Москва, Россия; Всероссийская научно-практическая конференция «Научный и технологический потенциал ЛАРН оборудования. Опыт применения», 16-17 декабря 2021 г., Тверь, Россия. По результатам работы получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ: № 2016614815 от 05.05.2016 г. (заявка № 2016612192 от 15.03.2016 г.) «Программа реализации математической модели процесса заправки летательных аппаратов полевой авиационной комендатуры», № 2017611399 от 02.02.2017 г. (заявка № 2016663046 от 29.11.2016 г.) «Программа реализации математической модели процесса заправки кораблей в условиях необорудованного побережья», № 2018611042 от 23.01.2018 г. (заявка № 2017662093 от 24.11.2017 г.) «Программа прогнозирования технического состояния технических средств службы горючего».

### **Степень достоверности результатов.**

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, изложенных в работе, обеспечены применением современных метрологически аттестованных методов и оборудования для проведения экспериментальных исследований истирания полимерных материалов, а также использованием для обработки экспериментальных результатов специальных компьютерных программ.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 17 печатных работах, 4 из которых – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования

Российской Федерации, 3 публикации включены в международную базу цитирования Web of Science и Scopus. Получено 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Опубликовано 1 статья в материалах научных конференций, 6 статей в прочих изданиях.

**Структура и объем работы диссертации.** По своей структуре диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы и приложений. Работа изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 92 рисунка и 34 таблицы. Список литературы включает 120 библиографических и электронных источников. Приложение представлено на 7-ми страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и решаемые задачи, приведены положения о научной новизне и практической значимости работы.

**В первой главе** представлен обзор научной и патентной литературы, посвященной современным подходам к оценке истирания полимерных материалов для хранения и транспортирования нефтепродуктов. Обозначено противоречие между требованием снижения материалоемкости современных полимерных изделий нефтепродуктообеспечения с одновременным обеспечением их высокого сопротивления износу. Проведен анализ стандартных методик оценки сопротивления истиранию эластичных материалов, описаны приборы и методики испытаний, рассмотрены общие подходы к моделированию оценки процесса истирания. Обосновано применение прибора Табера МТ 192 для оценки истирания полимерных материалов для средств хранения и транспортирования нефтепродуктов в различных условиях эксплуатации

**Во второй главе** дано описание объектов и методов исследования, а также методика испытания полимерных материалов на истирание с применением прибора Табера.

**Объекты исследования** – эластичные резервуары на основе полиуретанов трех марок CoolThane L3290 NESUe (далее – ТПУ 3290), ТПУ EREZ 2037 CP (далее – ТПУ 2037) и ТПУ 2105 (далее – ТПУ 2105), представляющие собой трехслойные композиционные материалы из двух полимерных слоев (внутреннего и внешнего) на основе ТПУ и промежуточного армирующего слоя на основе полиамидного корда; резервуары на основе смеси каучуков СКН-26М и СКН-40М из внутреннего маслостойкого, силового полиамидного и наружного атмосферостойкого слоев, производства ООО «НПФ Политехника» и трехслойные резервуары на основе пластифицированного ПВХ 1336-01 производства ООО «Политекс».

В качестве нефтепродуктов использовали автобензин Нормаль-80 (ГОСТ Р 51105-2020), дизельное топливо ЕВРО сорт С, вид III (ГОСТ Р 52368-2005 (ЕИ 59 2009)), топливо для реактивных двигателей ТС-1 (ГОСТ 10227-86).

**Методы исследования:** атомно-силовая микроскопия (АСМ) (микроскоп Ntegra Solaris); сканирующая электронная микроскопия (растровый электронный микроскоп Tescan VEGA 3 SBH); ИК спектроскопия (спектрометр ИК-Фурье Nicolet iS10 фирмы Thermo Electron Corporation); дифференциальная сканирующая калориметрия (DSC 204 F1 Phoenix); термогравиметрический анализ ТГА (дерииватограф Derivatograph), определение воздействия солнечной радиацией на полимерные материалы (камера солнечной

радиации с системой орошения Solarbox 3000e); определение воздействия соляного тумана на полимерные материалы (камера соляного тумана ASCOTT S120ip); определение морозостойкости (анализатор температуры холодного перегиба RR/CFLEX (RayRan)); определение взаимодействия материалов с нефтепродуктами; методы определения толщины, твердости, топливопроницаемости и истирания по ГОСТ.

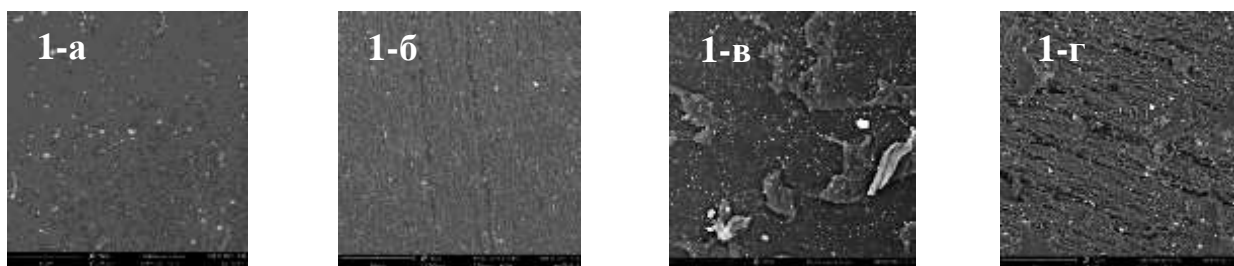
### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ИСТИРАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ**

В условиях непостоянства сырьевого рынка, частой смены поставщиков полимерных материалов, а также возрастающих требований к готовым изделиям возникает необходимость разработки универсальных методик, позволяющих проводить количественное и качественное сравнение одного или нескольких показателей свойств различных материалов между собой и прогнозировать их работу на протяжении всего времени эксплуатации готовых изделий. Для полимерных материалов, предназначенных для транспортирования и хранения нефтепродуктов, таким показателем является сопротивление истиранию, а наиболее объективной стандартизированной методикой его определения, позволяющей учитывать различные условия истирания, методика истирания с использованием прибора Табера.

#### **3.1 Исследование сопротивления истиранию полимерных материалов для средств транспортирования и хранения нефтепродуктов с применением стандартной методики испытания**

Любая методика, в том числе методика оценки сопротивления истиранию полимерных материалов для средств транспортирования и хранения нефтепродуктов, должна быть валидной и отражать реальные условия эксплуатации готовых изделий, включающие одновременное воздействие ряда факторов, таких как сила трения при контакте с поверхностями разной твердости; продолжительность истирания; воздействие окружающей среды; давление и агрессивность перекачиваемых или хранимых нефтепродуктов и т.д.

В работе установлено, что в процессе истирания рукавов и резервуаров в реальных условиях эксплуатации, не зависимо от вида применяемого полимера, характер износа проявляется в появлении на внешнем слое изделия борозд пропахивания (рис. 1), а также включений частиц абразива.



**Рисунок 1 – Микрофотографии внешнего поверхностного слоя резервуара на основе ТПУ 3290 (1) и Резины А-81 (2) до (а) и после истирания (б) (ЭСМ, 1000х)**

Такой визуальный эффект износа может быть симитирован на приборе Табера, снабженного различными сменными абразивами.

Согласно стандартной методике обработки результатов испытаний, полученных на приборе Табера, энергия истирания рассчитывается из выражений:

$$U = \frac{m-m_1}{W}, \quad (1) \quad W=2\pi \times Q \times R \times N, \quad (2) \quad Q=g \times (m_A+m_B+m_C) = 9,8M_0, \quad (3)$$

где:  $U$  – энергия истирания, кг/Дж;  $m$  и  $m_1$  соответственно масса образца до и после истирания, кг;  $W$  – работа силы трения, Дж,  $Q$  – сила трения, Н;  $R$  – расстояние от точки подвешивания груза до оси рычага, м;  $N$  – число оборотов абразива за время испытаний,  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $m_A$  – масса уравнивающего груза, кг;  $m_B$  – масса плеч рычагов, кг;  $m_C$  – масса подвески, на которую подвешен груз, кг;  $M_0$  – общая массы абразива и устройств для крепления абразива.

Результаты применения данной методики для оценки энергии износа ( $U$ ) образцов на основе ТПУ 3290, рассчитанной при различной силе трения ( $Q$ ), постоянном числе оборотов абразива ( $N$ ), равном 1000 и ширине полосы истирания 10 мм представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Энергия истирания образцов на основе ТПУ 3290 при различной силе трения**

№	$M_0$ , кг	$Q$ , Н	$(m-m_1) \times 10^6$ , кг, на 1000 оборотов абразива	$U \cdot 10^8$ , кг/Дж
1	0,50	5,0	8,1	5,40
2	0,75	7,5	12,8	6,08
3	1,00	10,0	23,1	8,00
4	1,25	12,5	40,0	10,04

Данные таблицы 1 свидетельствует о том, что энергия истирания, рассчитанная по стандартной методике (1) при различной силе трения, не является величиной постоянной, а уменьшение массы образца не пропорционально приложенной работе трения. Рассмотренный подход может быть применим только при постоянной силе трения ( $Q$ ) и, соответственно, отражает уменьшение массы образцов только от числа оборотов ( $N$ ). Кроме того, при использовании рассмотренного подхода нельзя провести анализ износа в различных условиях хранения и эксплуатации изделий. Таким образом, стандартная методика не учитывает зависимость уменьшения массы полимерных материалов одновременно от продолжительности процесса истирания и силы трения.

На рис. 2 приведены экспериментальные данные и линии регрессионных зависимостей уменьшения массы полиуретановых образцов от количества оборотов абразива HR-18 при заданной силе трения. Значения  $R^2$  равны квадратам коэффициентов детерминации, характеризующим степень достоверности полученных регрессий.

Видно, что зависимости имеют линейный вид и подчиняются уравнению общего вида:

$$\Delta m = K_m \times N, \quad (4)$$

где:  $\Delta m = m - m_1$ ,  $m$  и  $m_1$  соответственно масса образца до и после истирания, кг;  $K_m$  – коэффициент размерности, кг/(оборот $\times$ 10 мм), или скорость истирания, отражающая уменьшение массы образца за один цикл действия абразива при заданной ширине полосы истирания, равной 10 мм.



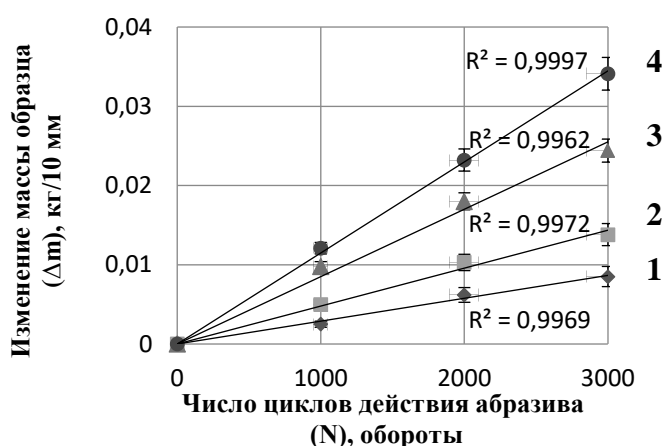
На рис. 3 приведена регрессионная зависимость скорости истирания  $K_m$  от силы трения  $Q$ , которая для образцов ТПУ 3290 имеет экспоненциальный вид и подчиняется уравнению:

$$K_m = K_N \times e^{KQ} \quad (5)$$

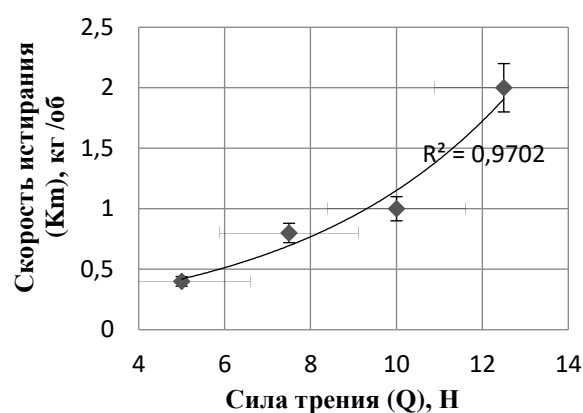
где  $K_N$  и  $K$ -коэффициенты размерности, кг/(об. $\times$ 10 мм) и Н<sup>-1</sup>.

При объединении уравнений 4 и 5 получено уравнение 6, которое позволяет оценить уменьшение массы образцов при одновременном варьировании количества оборотов абразива (или продолжительности истирания) и силы трения:

$$\Delta m \times 10^8 = K_N \times N \times e^{KQ}. \quad (6)$$



**Рисунок 2 – Зависимости уменьшения массы образцов на основе ТПУ 3290 от количества оборотов абразива HR-18 при силе трения: 5,0 (1); 7,5 (2); 10,0 (3) и 12,5 (4) Н**



**Рисунок 3 – Зависимость скорости истирания образцов на основе ТПУ 3290 от силы трения**

Влияние произведения  $K \times Q$  на уменьшение массы образцов определяется значением степенного выражения  $e^{K \times Q}$ . Выполнение условия  $K \times Q < 1$  обусловлено стремлением  $e^{K \times Q}$  к 1, что указывает на незначительное влияние силы трения на уменьшение массы и соответствует условию  $Q \rightarrow 0$ . При условии  $K \times Q > 1$  уменьшение массы образца начинает зависеть не только от продолжительности истирания, но и от величины силы трения. Можно заключить, что коэффициент  $K$  характеризует уменьшение массы изделия для транспортирования и хранения нефтепродуктов в условиях эксплуатации, в котором сила трения является следствием нагрузки, возникающей при заполнении резервуаров и рукавов, увеличении площади контакта с поверхностью или при манипулировании заполненными изделиями.

Из условия  $K \times Q = 1$  можно рассчитать критическое значение силы трения ( $Q_{кр}$ , Н), выше которого уменьшение массы изделия в процессе истирания начинает зависеть не только от продолжительности процесса, но и от величины силы трения:

$$Q_{кр} = \frac{1}{K} \quad (7)$$

Исходя из возможности широкого варьирования числа оборотов абразива в разработанной модели данный показатель выступает в качестве входного параметра для определения уменьшения массы образца от продолжительности действия силы трения и позволяет рассчитать продолжительность износа ( $\tau$ , мин) по формуле:

$$\tau = N/v \quad (8)$$

где  $v$  – скорость вращения абразива, обороты/мин.

Модель (6) также можно использовать для определения уменьшения толщины оболочки рукавов или резервуаров, что можно сделать по известной величине  $\Delta m$ :

$$\Delta d = \frac{\Delta m}{\rho S} \quad (9)$$

где:  $\Delta d$  – уменьшение толщины образца, м;  $\Delta m$  – уменьшение массы, кг;  $\rho$  – плотность полимерного материала (для ТПУ 3290 составляет 940), кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь истирания, м<sup>2</sup>

Таким образом, описанный способ анализа экспериментальных результатов требует выполнения определенных условий: при  $Q = \text{const}$  зависимости  $\Delta m$  от  $N$  должны иметь линейный характер, который по тангенсу угла наклона кривых позволяет определить  $K_N$ ; зависимость  $K_N$  от  $Q$  должна иметь экспоненциальный вид, что позволяет определить коэффициент  $K$ .

На рис. 3 и рис. 4 приведены зависимости  $\Delta m$  от  $N$ , полученные на основе экспериментальных данных истирания образцов на основе ТПУ 3290 при действии абразивов различной твердости (HR-18 и HR-22 с твердостью по Шору А 81 и 100 единиц соответственно)

Видно, что кривые  $\Delta m$  от  $N$  независимо от жесткости абразива имеют линейный вид, а зависимости  $K_N$  от  $Q$  (рис.5) экспоненциальный, что говорит о возможности применения предложенной методики оценки истирания при использовании абразивов разной твердости.

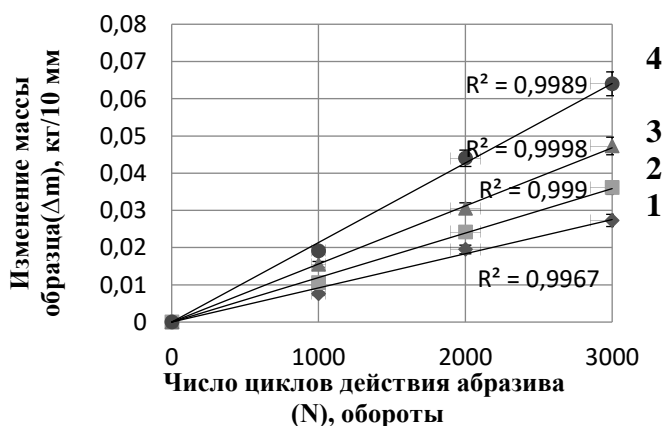


Рисунок 4 – Зависимости уменьшения массы образцов на основе ТПУ 3290 от количества оборотов абразива HR-22 при действии силы трения: 5,0 (1), 7,5 (2), 10,0 (3) и 12,5 (4) Н

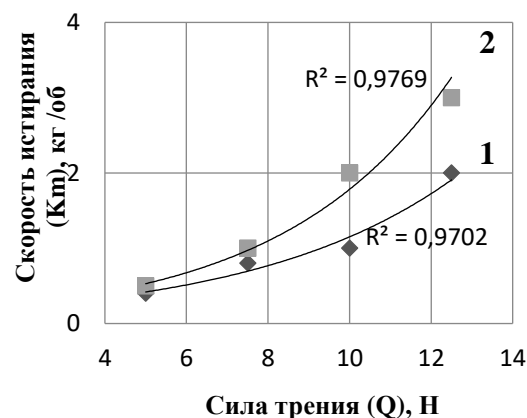


Рисунок 5 – Зависимость скорости истирания образцов на основе ТПУ 3290 от силы трения для абразива HR-18 (1) и HR-22 (2)

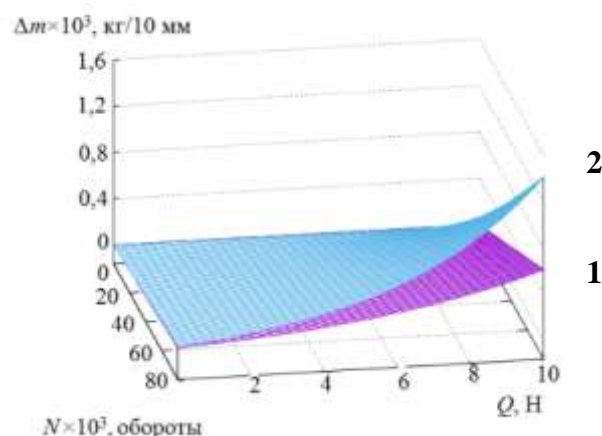
Коэффициенты  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{KP}$ , полученные на основании результатов испытаний образцов из ТПУ 3290 на истирание с использованием абразивов HR-18 и HR-22, представлены в табл. 2.

**Таблица 2 – Коэффициенты модели истирания образцов на основе ТПУ 3290 при использовании абразивов различной твердости**

Абразив	Значения коэффициентов		
	$K_N \times 10^8$ , кг/оборот	$K$ , Н <sup>-1</sup>	$Q_{KP}$ , Н
HR-18	0,14	0,17	5,88
HR-22	0,16	0,24	4,16

Сравнение расчетных результатов оценки истирания показывает, что главным критерием истирания полимерных материалов является критерий  $K_N$ , который определяет уменьшение массы образцов при истирании как при силе трения меньше, так и больше критической величины.

Для того, чтобы оценить влияние твердости поверхности на истирание оболочки в условиях эксплуатации выполнили численное решение модели б при использовании полученных коэффициентов  $K_N$  и  $K$  (табл.2) и заданных значениях  $N$  и  $Q$ . Зависимости  $\Delta m$  от  $Q$  и  $N$  для абразива HR-18 и HR-22 представлены на рис.6.



**Рисунок 6 – Зависимости уменьшения массы ТПУ 3290 от количества оборотов абразива HR-18 (1) и HR-22 (2) и силы трения**

### 3.2 Применение разработанной методики оценки истирания к полимерным материалам на основе разных марок ТПУ, ПВХ и резины

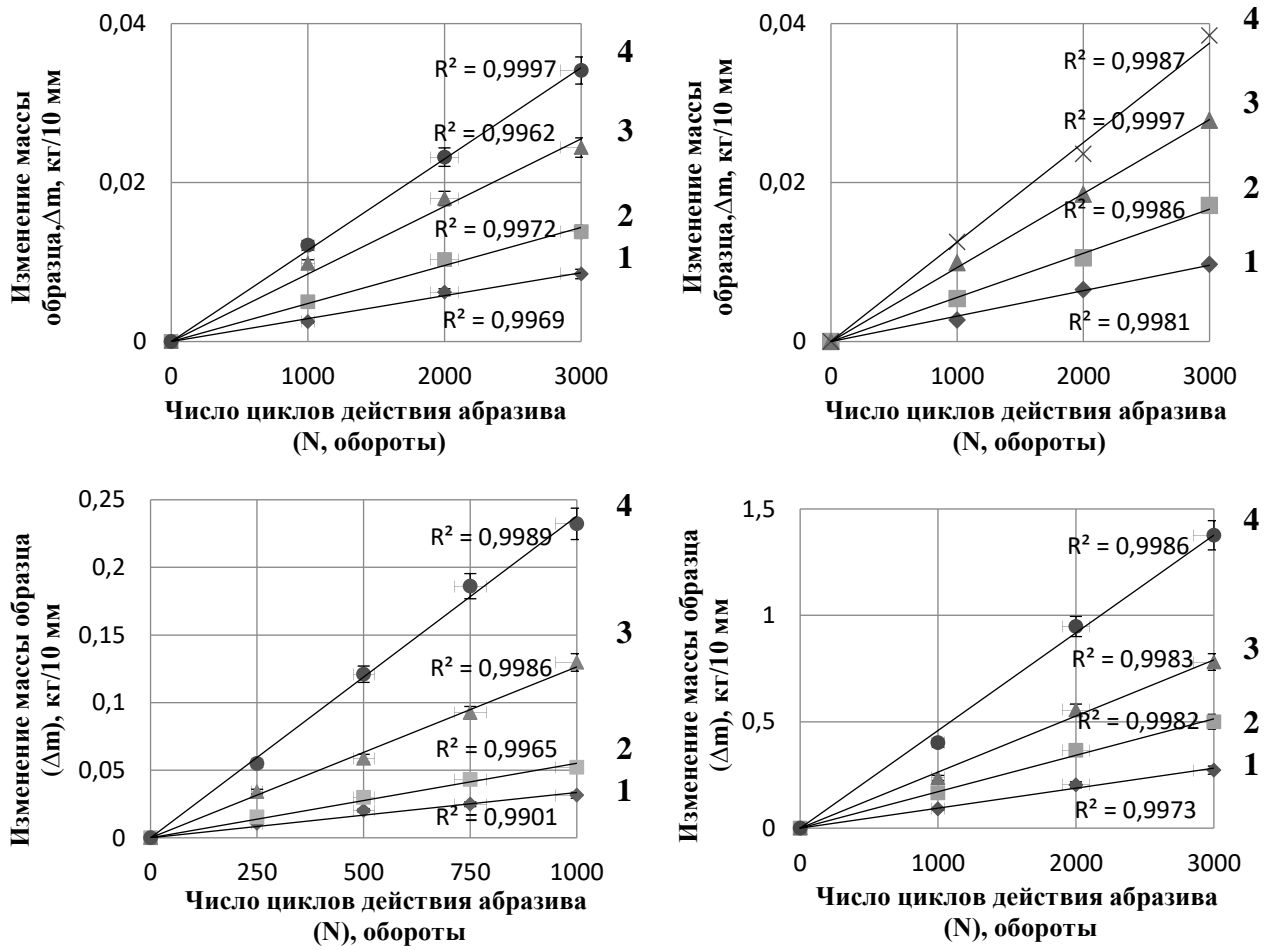
Критерием универсальности разработанной методики является возможность ее применения для широкого ассортимента изделий, изготовленных из полимеров различной химической природы или разного химического состава.

Универсальность разработанной методики оценки истирания оценивали на образцах из ТПУ 3290, ТПУ 2037, ТПУ 2105, пластифицированного ПВХ - С-70 У и резины А-81.

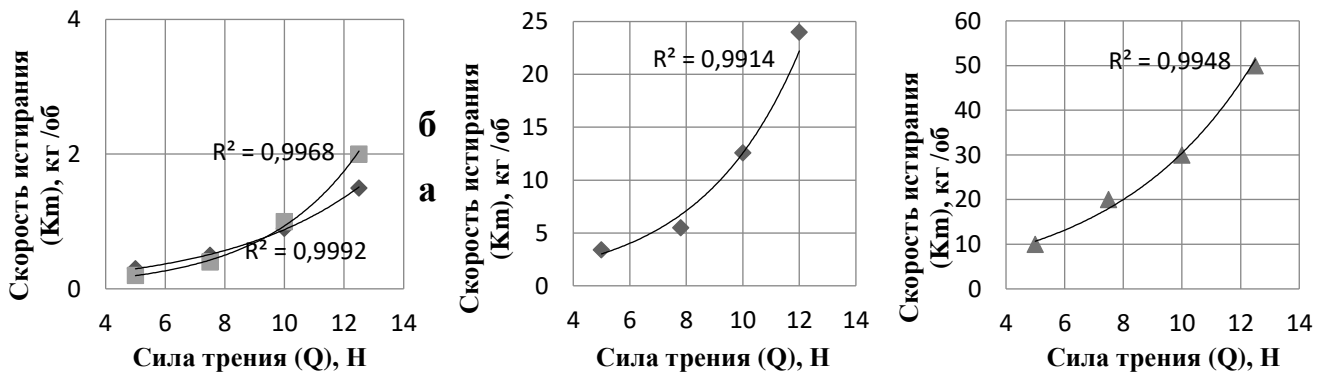
На рис. 7 представлены зависимости  $\Delta m$  от  $N$ , на рис. 8 –  $K_N$  от  $Q$  для образцов ТПУ 2037, ТПУ 2105, ПВХ - С-70 У и Резины А-81.

Из рис. 7 видно, что для всех материалов зависимости  $\Delta m$  от  $N$  имеют линейный вид со степенью корреляции не менее 0,95 и подчиняются выражению (4), а зависимости  $K_N$  от  $Q$  – экспоненциальный со степенью корреляции не менее 0,95 (рис. 8) и подчиняются выражению (5), что свидетельствует о применимости разработанной методики.

Для получения модели (6) и прогнозирования уменьшения массы образцов в различных условиях эксплуатации эластичных резервуаров и рукавов определяли показатели коэффициентов  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{KP}$  (табл. 3).



**Рисунок 7 – Зависимости уменьшения массы образцов на основе ТПУ 2037 (а), ТПУ 2105 (б), ПВХ (в) и Резины А-81 (г) от количества оборотов абразива при силе трения 5,0 (1); 7,5 (2); 10,0 (3) и 12,5 (4) Н**



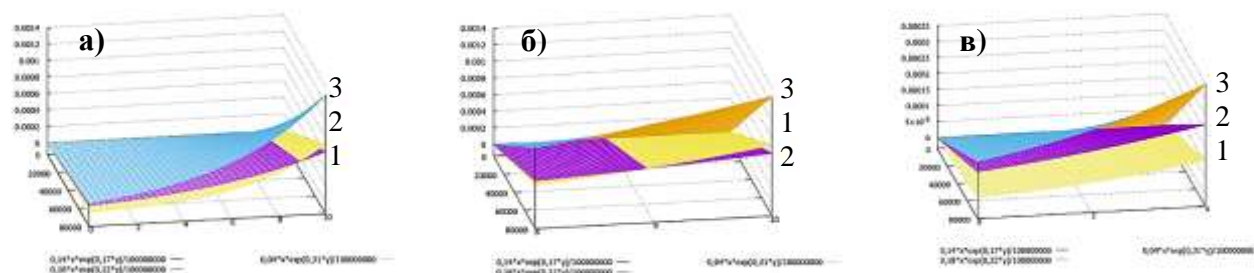
**Рисунок 8 – Зависимости скорости истирания от силы трения для образцов на основе ТПУ 2037 (а), ТПУ 2105 (б), ПВХ (в) и Резины А-81 (г)**

**Таблица 3 – Показатели коэффициентов  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{KP}$  для образцов на основе ТПУ**

Марка материала	$K_N$ , кг×(оборот) <sup>-1</sup>	$K$ , Н <sup>-1</sup>	$Q_{KP}$ , Н
ТПУ 3290	0,14	0,17	5,88
ТПУ 2037	0,18	0,22	4,55
ТПУ 2105	0,41	0,31	3,03
ПВХ - С-70 У	3,80	0,21	4,76
Резина А-81	2,88	0,30	3,33

Скорость истирания образцов на основе Резины А-81 ( $K_N=2,88$ ) в 1,32 раза ниже, чем у образцов ПВХ ( $K_N=3,80$ ), при этом скорость истирания материалов из Резины и ПВХ в 20–30 раз превышает истирание изделий из ТПУ 3290 ( $K_N=0,14$ ), 2037 ( $K_N=0,18$ ) и 2105 ( $K_N=0,41$ ). Поскольку изделия ПВХ имели очень низкое сопротивление истиранию по сравнению с образцами из ТПУ и резины их не целесообразно использовать для производства средств хранения и транспортирования нефтепродуктов.

Графические решения зависимости уменьшения толщины образцов из ТПУ различных марок от продолжительности действия и величины силы трения представлены на рисунке 9. Для наглядности численное решение уравнения 6 выполнено исходя из максимального количества оборотов, равного 80000, что соответствует истиранию поверхностного слоя рукава толщиной 3 мм.



**Рисунок 9 – Зависимости уменьшения массы образцов на основе ТПУ 3290 (1), ТПУ 2037 (2) и ТПУ 2105 (3) от количества оборотов и силы трения: при хранении и эксплуатации (а), эксплуатации при нагрузке больше критической величины (б) и хранении или при нагрузке меньше критической величины (в)**

При хранении эластичных резервуаров из ТПУ, а также при их эксплуатации в условиях, когда сила истирания меньше минимального показателя критической силы трения ( $Q_{KP}$  из табл.3), минимальное уменьшение массы наблюдается для образцов ТПУ 2105 (рис.9 б). В случае, когда главным критерием оценки применения изделий из ТПУ является уменьшение массы при силе трения больше минимальной величины критической силы трения, для производства эластичных резервуаров наиболее приемлемым представляется использование ТПУ 3290 (рис.9 а и в).

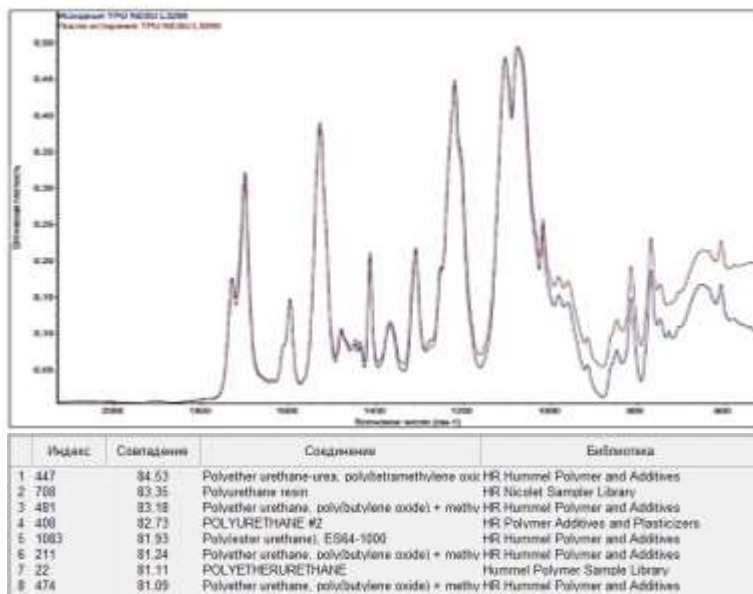
### **3.3 Анализ морфологии и химического состава полимерных материалов для средств транспортирования и хранения нефтепродуктов**

Методами ЭСМ (рис.1), ИК-спектроскопии (рис.10), ДСК и ТГА (рис.11) проанализированы морфология поверхностного слоя и его видоизменения в процессе

истирания для промышленных образцов топливных резервуаров на основе трех промышленных марок ТПУ и маслобензостойкой резины.

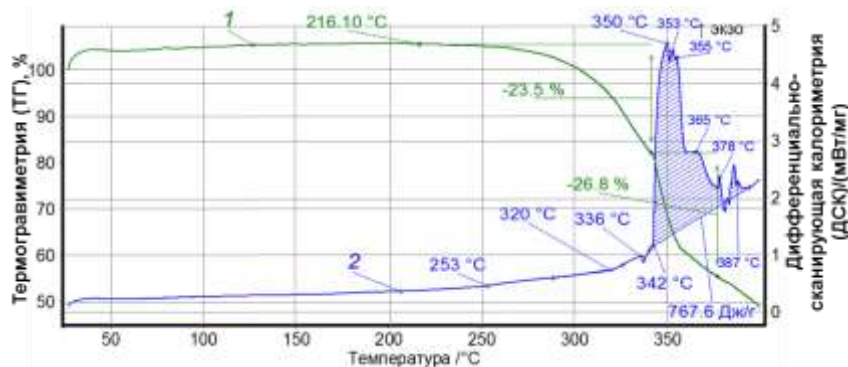
Установлено, что минимальное число дефектов прослеживается для образцов на основе ТПУ 3290, а максимальное – для материалов на основе резины.

Анализ химического состава образцов ТПУ показал, что все они представляют собой полиуретаны на основе полиуретан-мочевины, политетраметиленоксида и 4,4 метиленидифенилдиизоцианата (МДИ), что, в определенной степени, противоречит данным большинства работ, которые показывают большую устойчивость к абразивному износу ТПУ на основе сложных олигоэфиров. Данное противоречие можно объяснить с



**Рисунок 10 – Анализ образца на основе ТПУ 3290 до (синий) и после (красный) истирания олигоэфира затруднительно технологически.**

Из рис.10 видно, что после истирания интенсивность полос поглощения при 1750 и 1600  $\text{см}^{-1}$  уменьшается и появляется новая полоса поглощения при 1640  $\text{см}^{-1}$ , что свидетельствует о разрушении надмолекулярных структур, содержащих упорядоченные С=О-группы в мочевинных фрагментах и, возможно, частичном разрушении жестких блоков.



**Рисунок 11 – Термический анализ образцов на основе ТПУ 3290:1 – ТГА; 2 – ДСК**

проектируемых изделий, температура эксплуатации которых не превышает 100 °С.

позиции корреляции объемного износа с твердостью материала. При средних значениях твердости 50-85 ед. износостойкость лучше выражена для полиуретанмочевин на основе сложного олигоэфира. При твердости более 85 ед. (все исследованные образцы) лучшей износостойкостью обладают полиуретаны на основе простых олигоэфиров. Кроме того, известно, что получение материала с твердостью более 85 единиц на основе сложного

Результаты ДСК и ТГА (рис. 11) показывают, что интенсивная термическая деструкция ТПУ начинается при температуре 340 °С и достигает максимальных значений при температуре 355-360 °С, что не критично для

## ГЛАВА 4. ИСТИРАНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

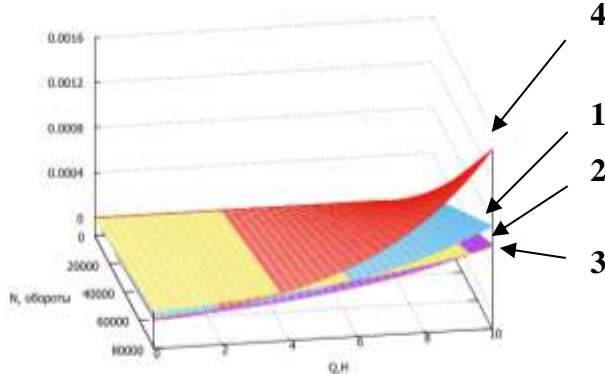
### 4.1 Влияние контакта с топливом на истирание полимерных материалов для средств транспортирования и хранения нефтепродуктов

Разработанную модель (6) использовали для оценки влияния контакта образцов ТПУ 3290, ТПУ 2037, ТПУ 2105 и Резины А-81 с автобензином Нормаль-80, дизельным топливом ЕВРО сорт С, вид III и топливом ТС-1. Установлено, что для всех исследуемых материалов зависимости  $\Delta t$  от  $N$  имеют линейный вид и подчиняться выражению (4), зависимости  $K_N$  от  $Q$  – экспоненциальный (5). Значения коэффициентов модели представлены в табл.4.

**Таблица 4 - Значения параметров  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{кр}$  истирания образцов на основе ТПУ  
различных марок и Резины А-81 до и после контакта с топливами**

Контакт с топливом	Полимерный материал	$K_N \times 10^8$ , кг×(оборот) <sup>-1</sup>	$K$ , Н <sup>-1</sup>	$Q_{кр}$ , Н
Без топлива	ТПУ 3290	0,14	0,17	5,88
	ТПУ 2037	0,18	0,22	4,55
	ТПУ 2105	0,41	0,31	3,22
	Резина А-81	3,80	0,21	4,76
Бензин Нормаль-80	ТПУ 3290	0,12	0,18	5,6
	ТПУ 2037	0,16	0,21	4,76
	ТПУ 2105	0,36	0,30	3,33
	Резина А-81	3,40	0,20	5,0
Дизтопливо ЕВРО	ТПУ 3290	0,21	0,12	8,3
	ТПУ 2037	0,10	0,12	8,3
	ТПУ 2105	0,25	0,13	8,6
	Резина А-81	3,30	0,18	5,6
Топливо ТС-1	ТПУ 3290	0,120	0,27	5,6
	ТПУ 2037	0,120	0,22	5,6
	ТПУ 2105	0,110	0,18	5,8
	Резина А-81	3,15	0,20	5,2

Установлено, что контакт с дизельным топливом ЕВРО приводит к большей, потере массы образца на основе ТПУ 3290 при силе трения меньше 8,3 Н (рис.12, зависимость 4). Контакт с бензином Нормаль-80 приводит к меньшей потере массы образцов при различных комбинациях количества оборотов и силе трения (рис.12 зависимость 2). Контакт рукавов и резервуаров на основе ТПУ 2037 и 2105 с дизельным топливом и топливом ТС-1 значительно повышает их сопротивление истиранию в условиях складирования, а контакт с автобензином практически не влияет на показатель истирания.



**Рисунок 12 – Зависимости уменьшения массы от количества оборотов и силы трения для исходного ТПУ 3290 (1), после его контакта с бензином Нормаль-80 (2), топливом ТС-1 (3) и дизтопливом ЕВРО (4)**

4 Минимальная потеря массы при истирании после контакта с топливом ТС-1 наблюдается для образцов ТПУ 2105, а максимальное снижение массы – для ТПУ 3290. По критерию уменьшения массы образца в процессе истирания промежуточное положение занимают образцы из ТПУ 2037, для которых при максимальном числе оборотов абразива и максимальной силе трения в процессе истирания толщина снижается на 30-50 % от начальной толщины оболочки промышленного резервуара.

Для образцов на основе Резины А-81 контакт с любым из исследуемых топлив приводит к повышению сопротивлению истиранию в условиях складирования.

Полученные значения параметра  $Q_{KP}$  показывают, что контакт полимерных материалов с бензином Нормаль-80 практически не повлиял на силу трения, после которой начинается резкое повышение истирания. Контакт с дизельным топливом ЕВРО повысил показатель критической силы трения для всех исследуемых материалов и в большей степени – для ТПУ. Контакт с топливом ТС-1 повысил критическую силу трения для ТПУ 2037, 2105 и Резины А-81 и практически не повлиял на образцы из ТПУ 3290. Возрастание сопротивления истиранию ТПУ 3290, 2037 и 2105 после выдержки в дизельном топливе может являться следствием пластифицирующего действия топлива, а также релаксационных процессов, происходящих при сорбции дизельного топлива в процессе хранения и его десорбции в процессе выдержки рукавов и резервуаров перед повторным заполнением.

Различие между видами полимерных материалов определяется числом полярных групп и пластифицирующим действием топлив на полимеры. Формирование однородной структуры ТПУ после контакта с дизельным топливом приводит к равномерному распределению нагрузки на поверхности образцов и возрастанию износостойкости.

В целом, можно предположить, что менее сильное снижение прочности и сопротивления истиранию характерно для сегментированных эластомеров в том случае, когда пластификатор в меньшей степени разрушает домены жестких блоков.

#### **4.2 Влияние воздействия ультрафиолетового облучения на истирание полимерных материалов для средств транспортирования и хранения нефтепродуктов**

Применимость методики оценки истирания после воздействия УФ-облучения проверяли на образцах из ТПУ 3290 и резины А-81. Установлено, что зависимости  $\Delta m$  от  $N$  имеют линейный вид и подчиняются уравнению (4), что обеспечивает расчет скорости истирания. Вид зависимостей  $K_m$  от  $Q$  для ТПУ 3290 и резины после воздействия УФ-излучения имеют экспоненциальный вид и подчиняются уравнению (5). Таким образом, разработанная методика оценки истирания полимерных материалов для мягких и



эластичных резервуаров является приемлемой для оценки истирания изделий из ТПУ и резины после воздействия солнечного излучения.

Значения параметров процесса истирания образцов ТПУ 3290 и нитрильной резины  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{KP}$  до и после воздействия УФ-излучения представлены в табл. 5.

**Таблица 5 – Значение параметров истирания образцов на основе ТПУ 3290 и Резины А-81 до и после воздействия УФ-излучения**

Полимерный материал	$K_N \times 10^8$ , кг×(оборот) <sup>-1</sup>	$K, Н^{-1}$	$Q_{KP}$ , Н
ТПУ 3290 исх.	0,14	0,17	5,88
ТПУ 3290 *	0,09	0,31	3,20
Резина А-81 исх.	3,80	0,21	4,76
Резина А-81*	3,70	0,20	5,00

Видно, что непрерывное действие УФ-излучения на образцы ТПУ 3290 (\*) в течение 1000 часов характеризуется уменьшением  $K_N$  при постоянном  $K$  и соответственно  $Q_{KP}$ . Для резины действие УФ-излучения за этот промежуток времени не приводит к значительному изменению показателей  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{KP}$ . Можно предварительно заключить, что, по сравнению с исходным ТПУ 3290, УФ-излучения повышает устойчивость к истиранию при условии  $Q \rightarrow 0$  или при действии минимальной силы трения и практически не оказывает влияние на уменьшение массы при истирании для резины А-81.

Влияние УФ-излучения на полимеры связано с воздействием двух факторов. Первый фактором является непосредственное поглощение полимером УФ-излучения, которое приводит к разрыву макромолекул и образованию активных радикалов, под действием которых происходит химическая сшивка. Вторым фактором воздействия УФ-излучения является образование в атмосфере из кислорода воздуха озона, который вступает в меж- и внутримолекулярные реакции, что в первом случае приводит к непосредственной химической сшивке макромолекул, а во втором – к образованию радикалов с последующей сшивкой. Химическая сшивка макромолекул полимеров увеличивает твердость поверхностного слоя, глубина которого определяется главным образом диффузией озона в объем полимерного материала и вызывает возрастание сопротивления истиранию.

#### **4.3 Влияние воздействия соляного тумана на истирание полимерных материалов для средств транспортирования и хранения нефтепродуктов**

Практическое значение имеет прогнозирование истирания и обоснование параметров износа изделий в условиях эксплуатации при заправке судов и кораблей на побережье или в морской воде, а также при хранении и перекачке нефтепродуктов вдоль морского побережья.

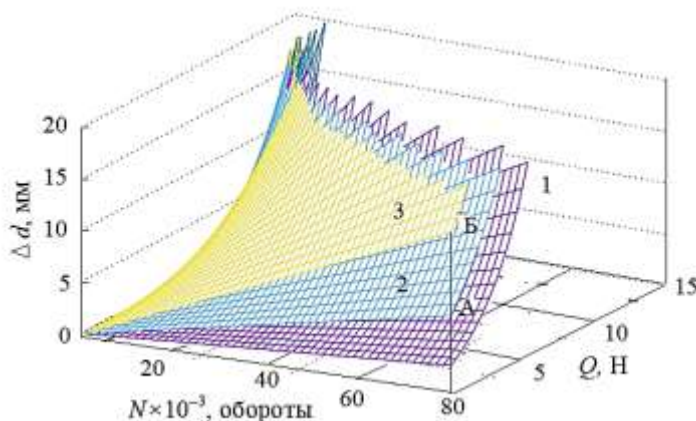
Зависимости  $\Delta m$  от  $N$  для образцов из ТПУ после воздействия соляного тумана имеют линейный вид и со степенью корреляции не менее 0,95 и подчиняются уравнению (4), а зависимости  $K_m$  от  $Q$  имеют экспоненциальный вид и подчиняются уравнению (5). Значения коэффициентов  $K_N$ ,  $K$  и  $Q_{KP}$  для образцов из ТПУ 3290, 2037 и 2105 до и после воздействия соляного тумана представлены в табл. 6.

**Таблица 6 – Значение параметров истирания образцов на основе ТПУ 3290, ТПУ 2037 и 2105 до и после воздействия соляного тумана**

Полимерный материал	$K_N \times 10^8$ , кг×(оборот) <sup>-1</sup>	$K$ , Н <sup>-1</sup>	$Q_{KP}$ , Н
ТПУ 3290	0,14	0,17	5,88
ТПУ 3290*	0,16	0,18	5,55
ТПУ 2037	0,18	0,22	4,55
ТПУ 2037*	0,20	0,24	4,16
ТПУ 2105	0,41	0,31	3,22
ТПУ 2105*	0,44	0,18	3,33

Видно, что по сравнению с исходными материалами действие соляного тумана вызывает незначительное возрастание коэффициентов  $K_N$  и  $K$ , что свидетельствует об увеличении истирания образцов ТПУ. В большей степени увеличение коэффициента  $K_N$  наблюдается при действии на образец минимальной силы трения. В то же время  $Q_{KP}$  изделий из ТПУ различных марок до и после воздействия соляного тумана практически совпадают.

Уменьшение толщины ТПУ различных марок после воздействия соляного тумана зависит от комбинации показателей продолжительности действия и величины силы трения. При определенной комбинации этих параметров, которые на рисунке 13 обозначены линиями пересечения зависимостей 2 и 3 и зависимостей 1 и 2, показатель уменьшения толщины возрастает в ряду материалов на основе ТПУ 3290, ТПУ 2037 и ТПУ 2105. При дальнейшем возрастании показателей продолжительности действия и величины силы трения (рис. 13 - невидимая часть зависимостей 1, 2 и 3) минимальное уменьшение толщины наблюдается для материала на основе ТПУ 2105.



**Рисунок 13 – Зависимости уменьшения толщины ТПУ 3290 (1), ТПУ 2037 (2) и ТПУ 2105 (3) от продолжительности действия и величины силы трения**

изменение полимера в верхних слоях образца при сохранении свойств полимера в объеме.

Особенность диффузии раствора хлорида натрия в образцы на основе ТПУ 2105 объясняет вид зависимостей  $\Delta t$  от  $N$  для этого полимера. Согласно этим зависимостям в начальный момент действия абразива наблюдается значительное уменьшение массы образца, что является следствием удаления поверхностного слоя, с последующим снижением массы образца за равные промежутки времени действия абразива.

Можно предположить, что следствием действия соляного тумана является гидролиз полиуретана при конденсации на поверхности образцов раствора хлорида натрия. Толщина слоя ТПУ, в котором происходит деструкция полимера со снижением молекулярной массы, определяется скоростью диффузии раствора хлорида натрия в полимер. Низкая проницаемость исследуемых ТПУ по раствору хлорида натрия за время испытаний определяет

## ГЛАВА 5. ОЦЕНКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛАСТИЧНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ И НАПОРНЫХ РУКАВОВ ПО КРИТЕРИЮ ИСТИРАНИЯ

Эффективность применения полимерных материалов для производства средств хранения и транспортирования горючего оценивали отношением уменьшения массы образцов из исходного ТПУ 3290 ( $\Delta m_{3290}$ ) к ТПУ различных марок и резины ( $\Delta m_i$ , где  $i$  – соответствует номеру марки ТПУ или для резины индексу «РЗН» до и после контакта с различными топливами, воздействия солнечной радиации и соляного тумана)

Отношение  $(\Delta m_{3290})/(\Delta m_i)$  больше единицы (10) показывает, что уменьшение массы образцов ТПУ 3290 в процессе истирания превышает уменьшение массы образцов ТПУ других марок и резины. Равные значения отношений  $(\Delta m_{3290})/(\Delta m_i)$  равное 1 (11) соответствуют одинаковому уменьшению массы полимерных материалов и материалов на основе ТПУ 3290. При отношении  $(\Delta m_{3290})/(\Delta m_i)$  меньше единицы (12) уменьшение массы полимерного материала превосходит уменьшение массы образцов из ТПУ 3290.

$$\frac{\Delta m_{3290}}{\Delta m_i} > 1, \quad (10); \quad \frac{\Delta m_{3290}}{\Delta m_i} = 1, \quad (11); \quad \frac{\Delta m_{3290}}{\Delta m_i} < 1, \quad (12)$$

Влияние марочного состава ТПУ и Резины А-81 на уменьшение массы образцов при истирании после 1000 оборотов, а также отношение показателей уменьшения массы полимерных материалов представлены в табл. 7.

**Таблица 7 – Отношение показателей уменьшения массы различных полимерных материалов к показателю уменьшения массы образцов на основе ТПУ 3290**

Полимерный материал	Уменьшение массы образцов, кг/10 мм, ( $\Delta m \times 10^5$ ) при силе трения и числе оборотов (времени истирания 16,7 мин и 1,2 суток) равных:		Отношение ( $\Delta m_{3290})/(\Delta m_i)$ при силе трения и числе оборотов	
	2 Н	10 Н	2 Н	10 Н
ТПУ 3290	0,20	0,77	1,00	1,0
ТПУ 2037	0,28	1,62	0,70	0,47
ТПУ 2105	0,76	9,10	0,26	0,08
Резина А-81	5,71	30,6	0,03	0,02

По сравнению с образцами на основе Резины эффективность применения материалов на основе ТПУ 3290 наиболее заметна при условии  $Q < Q_{KP}$ , что особенно очевидно после действия солнечного излучения. По сравнению с резиновыми изделиями при условии  $Q > Q_{KP}$  устойчивость образцов на основе ТПУ 3290 к истиранию снижается и практически не зависит от воздействия солнечного излучения. Однако даже при условии  $Q > Q_{KP}$  устойчивость материалов на основе ТПУ 3290 к истиранию в 23-29 раз превышает устойчивость образцов на основе резины.

На основании выполненных исследований в производственных условиях ООО «Балтифлекс» и ООО НПФ «Политехника» проведена апробация результатов работы, в результате которой была подтверждена эффективность разработанной методики оценки

истирания эластичных полимерных материалов для хранения и транспортировки нефтепродуктов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Экспериментально установлено, что применение стандартного подхода к оценке истирания материалов по показателю уменьшения массы  $\Delta m$  на единицу затраченной работы ( $U$ , кг/Дж) не позволяет установить зависимость этого показателя одновременно от двух переменных – числа оборотов абразива и силы трения и учитывать реальные условия эксплуатации готовых изделий.

2. Впервые предложен алгоритм обработки экспериментальных данных на истирание эластичных материалов на приборе Табера, включающий в себя следующую последовательность: установление линейной зависимости уменьшения массы образца от числа циклов действия абразива при постоянной силе трения и расчет скорости истирания; установление экспоненциальной зависимости скорости истирания от силы трения; определение коэффициентов для прогнозирования истирания полимерных материалов в различных условиях эксплуатации.

3. Разработана эмпирическая регрессионная модель для прогнозирования уменьшения массы (толщины) материалов на основе ТПУ, ПВХ и нитрильной резины от переменной силы трения ( $Q$ ) и продолжительности времени истирания ( $N$ ).

4. Предложено использование в качестве критериев оценки истирания коэффициента  $K_N$ , который отражает потерю массы образца при одном обороте (ед. времени) и при силе трения, которая стремится к нулю, что соответствует истиранию не заполненного рукава или резервуара, и коэффициента  $K$ , который характеризует зависимость уменьшения массы изделия только от величины силы трения. Определена критическая сила трения  $Q_{кр}$ , больше которой истирание зависит от комбинации двух факторов.

5. Определены граничные условия произведения  $K \times Q$ . Установлено, что при  $K \times Q < 0$  на истирание материала влияет только количества оборотов абразива; произведение  $K \times Q = 1$  соответствует критическому значению величины силы трения  $Q_{кр}$ ; при  $K \times Q > 1$  на истирание материала влияет два фактора – сила трения и продолжительность процесса.

6. Установлено, что разработанная математическая модель является универсальной и может быть использована для испытания на истирание изделий на основе ТПУ разных марок 3290, 2037 и 2105, пластифицированного ПВХ и бензостойкой резины, отличающихся по показателям твердости, эластичности, набухания в топливе и морозостойкости; а также позволяет оценить истирание изделий при контакте с поверхностями различной твердости, после воздействия УФ-излучения, соляного тумана и нефтепродуктов.

6. Проанализирована морфология поверхностного слоя и его видоизменения в процессе истирания для промышленных образцов топливных резервуаров на основе трех марок ТПУ и маслостойкой резины. Установлено, что в результате истирания при одинаковых условиях, относительно гладкая исходная поверхность всех образцов претерпевает абразивный износ, выраженный в появлении полос пропахивания, что говорит о преобладании механизма резания, типичного для особо твердых материалов.

Минимальное число дефектов характерно для образцов на основе ТПУ 3290, максимальное - для рукавов на основе резины.

7. Методом ИК-спектроскопии с использованием библиотеки спектров определен химический состав образцов ТПУ различных марок. Установлено, что все они представляют собой полиуретаны на основе полиуретан-мочевины, политетраметиленоксида и 4,4 метилendiфинилдиизоцианата. Предложена взаимосвязь объемного износа с химическим составом и твердостью материала с позиций теоретических данных, согласно которым при средних значениях твердости материалов 50-85 ед. износостойкость лучше выражена для полиуретанмочевин на основе сложного, а при твердости более 85 ед. (все исследованные образцы) на основе простых олигоэфиров.

8. Проанализирован характер взаимодействия рукавов из ТПУ и Резины с бензином Нормаль-80, дизельным топливом ЕВРО и топливом для реактивных двигателей ТС-1. В результате сопоставительного анализа ИК спектров топлива после контакта с полимерными материалами, а также ИК спектров оболочки рукавов значимых отличий не установлено, что свидетельствует о их высокой химической стабильности.

9. Получены результаты, позволяющие качественно и количественно оценить влияние состава топлив на истирание ТПУ различных марок и резины: после контакта с бензином Нормаль-80 максимальное сопротивление истиранию имеет ТПУ 3290; после контакта с дизельным топливом ЕВРО - ТПУ 2037; после контакта с авиационным керосином ТС-1 – ТПУ 2105; для нитрильной резины контакт с дизельным топливом ЕВРО, автобензином и топливом ТС-1 повышает сопротивление истиранию.

10. Установлено, что воздействие ультрафиолетового излучения увеличивает сопротивление истиранию ТПУ 3290 на 55% в условиях эксплуатации незаполненных рукавов и резервуаров или при их хранении, а изменение сопротивления истиранию резиновых изделий практически не происходит. Воздействие соляного тумана на образцы ТПУ всех марок приводит к незначительному увеличению скорости их истирания (для ТПУ 3290 на 14 %, для ТПУ 2037 на 10 % и для ТПУ 2105 на 7 %) и уменьшению критической силы трения (для ТПУ 3290 на 6 %, для ТПУ 2037 на 9 % и для ТПУ 2105 на 3 %).

12. По совокупности проведенных исследований, с учетом граничных условий математической модели, сформулированы рекомендации по использованию эластичных резервуаров и рукавов на основе полимеров различной химической природы при контакте с различными топливами в условиях дополнительного воздействия факторов окружающей среды. Получены свидетельства государственной регистрации программ для ЭВМ, позволяющие прогнозировать эксплуатацию средств хранения и транспортирования нефтепродуктов по показателю истирания.

13. Проведена апробация результатов работы на предприятиях ООО «Балтифлекс» и ООО НПФ «Политехника», подтвержденная актами внедрения. Показано, что изделия на основе ТПУ 3290 являются универсальными, изделия на основе ТПУ 2037 предпочтительны для применения в контакте с дизельным топливом, изделия на основе ТПУ 2105 в контакте с топливом ТС-1.

## ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в изданиях, входящих в «Перечень...» ВАК при Минобрнауки России и входящих в международную базу цитирования Scopus:*

1. **Колесников А.А.**, Бокова Е.С., Дедов А.В. Влияние соляного тумана на истираемость термопластичных полиуретанов // Пластические массы. 2024. №1-2. – С. 37-39. DOI: 10.35164/0554-2901-2024-01-37-39
2. **Колесников А.А.**, Бокова Е.С., Дедов А.В., Назаров В.Г., Абразивный износ материалов на основе пластифицированного поливинилхлорида // Пластические массы. 2023. №1-2. – С. 44-46. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-1-2-44-46
3. **Kolesnikov A.A.**, Dedov A.V., Rybakov Yu.N., Kyunnap R.I., Abrasion of thermoplastic polyurethanes for elastic tanks intended for temporary fuel storage//Polymer Science. 2021. №3. – P37. (Scopus) / **Колесников А.А.**, Рыбаков Ю.Н., Дедов А.В., Кюннап Р.И., Назаров В.Г., Истирание термопластичных полиуретанов для эластичных резервуаров временного хранения//Все материалы. Энциклопедический справочник 2021. №7. – С. 15-21. DOI: 10.1134/S1995421221030126/ DOI: 10.31044/1994-6260-2021-0-3-21-25
4. **Колесников А.А.**, Дедов А.В., Назаров В.Г., Истирание термопластичных полиуретанов после контакта с топливом//Материаловедение. 2021. №9. – С. 25-29. DOI: 10.31044/1684-579X-2021-0-9-25-29
5. **Kolesnikov A.A.**, Dedov A.V., Rybakov Yu.N., Kyunnap R.I. Solar Radiation Effect on Abrasion of Polymer Tanks for the temporary Fuel Storage//Inorganic Materials: Applied Research. 2021. V. 12. №1. P.216 (Web of Science) / **Колесников А.А.**, Дедов А.В., Рыбаков Ю.Н., Кюннап Р.И., Влияние солнечного излучения на истирание полимерных резервуаров склада временного хранения топлива // Материаловедение. 2020. №8.– С. 14-18. DOI: 10.1134/S2075113321010196
6. **Колесников А.А.**, Дедов А.В., Рыбаков Ю.Н., Кюннап Р.И., Истираемость термопластичного полиуретана после контакта с бензином // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2020. №5.–С. 30-34. DOI: 10.31044/1994-6260-2020-0-5-30-34
7. **Kolesnikov A.A.**, Dedov A.V., Sharova L.I., Abradability of thermoplastic polyurethane for flexible fuel storage tanks // Polymer Science. Series D. 2019. T. 12. №3. P. 341-343 (Scopus) / **Колесников А. А.**, Дедов А. В., Шарова Л.И., Истираемость термопластичного полиуретана для эластичных резервуаров хранения топлива // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. №3. – С. 29-32. DOI: 10.1134/S1995421219030080 / DOI: 10.31044/1994-6260-2019-0-3-29-32

### *Статьи в прочих изданиях*

1. **Колесников А.А.**, Дедов А.В., Рыбаков Ю.Н., Оценка износа термопластичных полиуретанов для эластичных резервуаров хранения топлива // 55 лет химмотологии. Основные итоги и направления развития. Тезисы докладов Межведомственной научно-технической конференции (Москва, 24 ноября 2019 г.). 2019. – С. 269-271.
2. **Колесников А.А.**, Дедов А.В., Назаров В.Г., Доронин Ф.А., Кондратов А.П., Моделирование кинетики износа резиновых валов полиграфического оборудования // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2020. №1. – С. 19-22.
3. **Колесников А.А.**, Дедов А.В., Назаров В. Г., Истирание прорезиненных валов полиграфического оборудования после контакта с органическим растворителем // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2020. №2. – С. 41-44.
4. Рыбаков Ю.Н., Корнев В.А., **Колесников А.А.**, Асметков И.Д. Конструкция топливостойких пленочных материалов на основе термопластичных полиуретанов // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. 2016. Вып. 57.– С. 387–391.

5. Корнев В.А., Рыбаков Ю. Н., Волков О.Е., **Колесников А.А.**, Технические требования к напорным рукавам для перекачивания нефтепродуктов // Проблемы современной науки и образования. 2016. № 14 (56). – С. 29-31.

6. Корнев В.А., Рыбаков Ю.Н. **Колесников А.А.**, Асметков И.Д. Конструкция многослойных топливостойких эластичных оболочек // Наука, техника и образование. 2015. № 4 (10). – С. 74-76.

7. Волков О.Е., Корнев В.А., **Колесников А.А.**, Конструкция многослойных топливостойких эластичных оболочек // Наука, техника и образование. 2015. № 7 (13) – С. 8-13.

#### ***Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ***

1. Программа прогнозирования технического состояния технических средств службы горючего. Пирогов Ю.Н., Рыбаков Ю.Н., **Колесников А.А.**, Плохой Д.С., Кюннап Р.И., Чириков С.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611042 от 23.01.2018 г. Заявка № 2017662093 от 24.11.2017 г.

2. Программа реализации математической модели процесса заправки кораблей в условиях необорудованного побережья. Пирогов Ю.Н., Рыбаков Ю.Н., **Колесников А.А.**, Кюннап Р.И., Плохой Д.С., Чириков С.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611399 от 02.02.2017 г. Заявка № 2016663046 от 29.11.2016 г.

3. Программа реализации математической модели процесса заправки летательных аппаратов полевой авиационной комендатуры. Пирогов Ю.Н., Рыбаков Ю.Н., Плохой Д.С., **Колесников А.А.**, Чириков С.И., Кюннап Р.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016614815 от 05.05.2016 г. Заявка № 2016612192 от 15.03.2016 г.