

## ОТЗЫВ

официального оппонента Корнеевой Натальи Витальевны о диссертационной работе Фариды Равиленовны Сагитовой на тему: «Научно-технологические основы создания и регулирования характеристик нового поколения полимерных композиционных материалов, армированных модифицированными потоком низкоэнергетических ионов волокнистыми наполнителями органической и неорганической природы», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение

### 1. Актуальность исследования

В наши дни «четвёртая технологическая революция» приводит к активному замещению металлов и сплавов на композиционные материалы (КМ) нового поколения на основе волокон, нитей, нетканых материалов, технических тканей и текстиля из-за их высокой удельной прочности, что существенно снижает вес изделий при сохранении показателей прочности. При этом уменьшается экологическая нагрузка, понижаются выбросы в атмосферу и сокращается потребление топлива, что важно для авиационной, космической, беспилотной, оборонной, текстильной, автомобильной, судостроительной, лёгкой и других отраслей промышленности.

Работа Фариды Равиленовны Сагитовой направлена на решение задач по созданию научно-технологических основ разработки инновационных полимерных композиционных материалов (ПКМ) с оптимальным соотношением матрицы и армирующего наполнителя, с регулируемыми улучшенными свойствами, упрочнённых волокнистыми наполнителями органической и неорганической природы, модифицированными потоком низкоэнергетических ионов (ПНЭИ), генерируемых из плазмы высокочастотного ёмкостного (ВЧЕ) разряда пониженного давления с продувом газа.

Для решения этих задач автор применял в качестве армирующего элемента волокна и ткани различной химической природы: углеродные волокна (УВ) и ткани (УТ), волокна из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ), стеклянные из аморфной двуокиси кремния в виде волокон (АДКВ), а также аморфную двуокись кремния в виде тканей (АДКТ) с эпоксидными, полиуретановыми и полиамидными матрицами.

Свойства современных КМ часто превосходят характеристики металлов и определяются не только прочностью и пластичностью матрицы вместе с жёсткостью и прочностью армирующего наполнителя, а к тому же хорошим качеством межфазного взаимодействия (МФВ) между армирующим субстратом и связующей матрицей, благодаря которому происходит передача напряжений и деформаций через поверхность раздела компонентов. В КМ удаётся сочетать высокую прочность волокнистых наполнителей с упругостью полимеров с помощью регулирования физико-химического взаимодействия между упрочняющими элементами и матрицей на межфазной границе.

При создании КМ на основе вышеуказанных волокнистых наполнителей возникли проблемы с образованием прочной связи между армирующими элементами и разными полимерными матрицами (ПМ). В настоящее время для усиления межфазного взаимодействия компонентов в КМ применяются «высокие» технологии низкотемпературной плазмы газовых разрядов с целью активации поверхности армирующих волокнистых наполнителей ради прочной связи на границе раздела, полноты пропитки и максимально возможной объёмной доли упрочняющего элемента в композитах. Плазменная обработка волокнообразующего материала с помощью ПНЭИ, создаваемых в плазме ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом газа, позволяет изменять морфологию поверхности волокнистого наполнителя, повышать его смачиваемость, капиллярность и адгезию к полимерам. Поэтому работа, представленная к защите, выполненная с применением плазменных технологий, безусловно, актуальна для развития отечественной промышленности и материаловедения.

## **2. Научная новизна диссертационного исследования**

К научной новизне работы, несомненно, относятся следующие результаты:

1. Автором впервые созданы научно-технологические основы получения ПКМ с улучшенными физическими и механическими характеристиками и оптимальным содержанием матрицы с армирующими элементами из неорганических и синтетических волокнистых материалов за счёт обработки их ПНЭИ, генерируемых из плазмы ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом газа. Азы базируются на физико-математической модели взаимодействия потока низкоэнергетических ионов с неорганическими и синтетическими волокнистыми материалами, такими как СВМПЭ-волокна, углеродные волокна (УВ), аморфная двуокись кремния в виде волокон (АДКВ), аморфная двуокись кремния в виде ткани (АДКТ). Представления учитывают конформационные процессы, происходящие при таком виде плазменной обработки, которые приводят к высокой степени упорядочивания структуры, включая наноструктуру СВМПЭ-волокон, и увеличению их удельной поверхности, а также формированию захороненных слоёв частиц из плазмы, обеспечивающие создание активных радикалов и функциональных групп, без каких-либо деструктивных процессов (п.1 паспорта специальности 2.6.17).
2. Впервые установлен единый механизм обработки волокнистых материалов независимо от их физической и химической природы, заключающийся в воздействии на поверхность ПНЭИ, генерируемых из плазмы ВЧ-разряда пониженного давления с продувом газа (70-100эВ), в объёме волокнистой структуры происходящий за счёт процессов рекомбинации заряженных частиц в несамостоятельных разрядах, формируемых в порах и межволоконных пространствах (п.4 паспорта специальности 2.6.17).
3. Впервые за счёт плазменной объёмной модификации волокнистых материалов реализован процесс оптимизации содержания массы матрицы и армирующего наполнителя при создании ПКМ с оптимальной удельной плотностью. Это позволяет обеспечить создаваемому материалу наибольшую прочность, благодаря максимальной адгезионной прочности волокнистого наполнителя к полимерным матрицам и улучшению физических, механических характеристик, структуры и неизменности эффекта модификации во времени (п.5 паспорта специальности 2.6.17).
4. Установлено, что для модификации волокнистых материалов неорганической и органической природы применяются одни и те же плазмообразующие газы – аргон, воздух, а прочность соединения существенно возрастает, для синтетических волокон, как с эпоксидной, так и с полиуретановой матрицами, а для АДКВ материалов с полиамидной и эпоксидной матрицами, при этом повышается температура начала термодеструкции для всех исследуемых волокнистых материалов не менее чем на 40% (п.1 паспорта специальности 2.6.17).
5. Экспериментально установлено, что модификация волокнистых наполнителей ПНЭИ, генерируемых из плазмы ВЧ-разрядов пониженного давления с продувом газа, повышает показатели межслоевой сдвиговой прочности и предела прочности при изгибе для полиэтиленпластика из СВМПЭ-волокон не менее чем в 2 раза; а для углепластиков увеличивает эти характеристики до 30%; это происходит за счёт увеличения смачиваемости синтетических и неорганических волокнистых материалов не менее чем на 70% и увеличения удельной площади поверхности более чем на 4,4%, при этом разрушение ПКМ происходит монолитно, как единый материал, то есть адгезия между армирующим элементом и матрицей носит когезионный характер (п.2 паспорта специальности 2.6.17).
6. Установлено, что повторная обработка готовых элементов армирующих волокнистых материалов непосредственно перед процессом пропитки материалом матрицы, которая подвергает модификации торцевые части, до этого подвергнутые лишь объёмной плазменной обработке, позволяет повысить прочность КМ на 20% по сравнению с материалами с первичной обработкой плазмой (п.5 паспорта специальности 2.6.17).

7. Автором разработаны экологически чистые высокоэффективные технологические методы получения облегченных высокопрочных ПКМ с улучшенными физическими и механическими характеристиками, путём модификации синтетических и неорганических волокнистых материалов ПНЭИ, генерируемых из плазмы ВЧ-разряда пониженного давления с продувом газа, для производства медицинских инструментов, КМ, композитных панелей, применяемых в автомобильной технике (п.15 паспорта специальности 2.6.17).

Результаты работы обладают несомненной научной новизной и имеют научно-практическое значение для развития науки и техники в области материаловедения.

### **3. Теоретическая и практическая значимость работы**

Теоретическая и практическая значимость работы не вызывает сомнения, и заключается в развитии понимания механизма модификации волокнистых материалов органической и неорганической природы, при их обработке ПНЭИ, генерируемых в плазме высокочастотных разрядов (ВЧР) пониженного давления применяемых для создания ПКМ с улучшенными прочностными характеристиками. Развиваемые представления об обработке волокнистых материалов различной химической природы с помощью ПНЭИ из ВЧ-плазмы позволили определить конкретные оптимальные условия обработки объектов исследования. Установлены параметры воздействия ПНЭИ, при которых происходит наиболее существенное изменение физических и механических характеристик волокнистых материалов:

1.1 Для синтетических волокнистых материалов (СВМПЭ-волокон и тканей, УВ и тканей) энергия ионов  $W_i = 77,5$  эВ, (мощность разряда  $W_p = 1,8$  кВт), при плотности ионного тока на поверхности  $j_i = 0,83$  А/м<sup>2</sup>; для СВМПЭ материалов давление  $P = 26,6$  Па, расход плазмообразующего газа  $G_{Ar} = 0,04$  г/с, время обработки  $t = 3$  мин, для углеродных материалов (УВ) давление  $P = 50$  Па, расход газа  $G_{воздух} = 0,04$  г/с, время обработки  $t = 20$  мин.

1.2 Для неорганических волокнистых материалов аморфной двуокиси кремния в виде волокон и ткани соответственно (АДКВ и АДКТ):

1.2.1 АДКВ -  $W_i = 80$  эВ,  $W_p = 2,15$  кВт,  $j_i = 0,835$  А/м<sup>2</sup>,  $P = 26,6$  Па,  $G_{Ar} = 0,04$  г/с,  $t = 2,5$  мин.

1.2.2 АДКТ -  $W_i = 75$  эВ,  $W_p = 1,45$  кВт,  $j_i = 0,83$  А/м<sup>2</sup>,  $P = 26,6$  Па,  $G_{Ar+воздух} = 0,04$  г/с (Ar – 70%, воздух – 30%),  $t = 6$  мин.

2. Установленные параметры воздействия ПНЭИ позволили увеличить следующие характеристики армирующих наполнителей: развитость поверхности (увеличение до 4,4% для СВМПЭ-волокон) при неизменном объеме позволяет увеличить удельную площадь поверхности  $S_{уд}$ ; для УВ марок Кулон-500/007 до 19,5% и Т300 до 124,0%, а для АДКВ – на 16,5%, для АДКТ рельефный профиль увеличивается на 7%. При этом смачиваемость для УВ возрастает на 70%, угол смачивания - до 40%; смачиваемость СВМПЭ-волокон повышается до 86%, а угол смачивания после воздействия ПНЭИ не удается измерить, так как капля воды мгновенно поглощается тканью, что связано с возникновением существенной гидрофильности, для АДКТ – на 70%. Разрывная нагрузка для УВ возрастает до 20%, для СВМПЭ-волокон практически не меняется. Однако существенно повышается область упругой деформации с повышением термостойкости, для АДКВ и АДКТ – в 2 раза и на 27% соответственно.

3. Разработаны КМ с модифицированными армирующими наполнителями ПНЭИ за счёт максимального межфазового взаимодействия, имеющие оптимальное содержание матрицы и уникальные регулируемые физические и механические характеристики:

3.1 ПКМ с армирующими материалами из УВ и СВМПЭ-волокон имеют повышенный предел прочности при изгибе  $\sigma_{изг}$  и межслоевую сдвиговую прочность  $\tau_{сдв}$  до двух раз выше исходных для СВМПЭ материалов и до 30% углеродных; при этом ударная прочность КМ с СВМПЭ-тканью достигает 90 Дж. Предел прочности при растяжении  $\sigma_p$  для СВМПЭ-материалов в 1,3 раза, для углеродных материалов на 15% выше исходных, а модуль упругости  $E$  возрастает до 20%, для армирующих СВМПЭ материалов, а модуль упругости при сжатии для УМ возрастает до 16% по сравнению с исходным;

3.2 ПКМ с полиамидной матрицей после воздействия ПНЭИ на армирующее из АДКВ имеет предел прочности при разрыве  $\sigma_p$  до 25% и ударную вязкость на 75% выше по сравнению с исходным. ПКМ армированный АДКТ, после её обработки имеет  $\sigma_p$  на 40% выше исходного.

4. Значительное повышение механических характеристик ПКМ, в которых армирующее имеет замасливатель, при его удалении при использовании ПНЭИ играет существенную роль обработка торцевых окончаний, что в традиционной технологии невозможно, поскольку эти необработанные торцевые окончания служат первопричиной разрушения ПКМ.

5. Разработаны технологические рекомендации для создания КМ с синтетическими и неорганическими армирующими наполнителями, имеющие оптимальное соотношением матрицы и наполнителя и повышенные регулируемые физические и механические свойства, позволяющие значительно улучшить их эксплуатационные характеристики.

Заслугой автора является внедрение результатов исследований в технологии производств ООО «ПТО «Медтехника» (г. Казань) и ООО «Ирис-НН» (г. Нижний Новгород) с суммарным экономическим эффектом 8,49 млн. руб. в год, что подтверждает практическую значимость работы.

#### **4. Степень обоснованности и достоверности научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Обоснованность и достоверность научных положений, результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений. Это подтверждается экспериментально и документально, как использованием стандартных и апробированных методик испытаний согласно ГОСТам, так и специализированных методов исследований свойств ПКМ, согласованием полученных данных между собой и с опубликованными результатами теоретических и экспериментальных исследований других авторов.

При выполнении работы автор применял следующие методы исследования: комплекс диагностической аппаратуры и приборов для определения параметров и их контроля в ВЧ-разрядах и плазменной струе, а также в слое положительного заряда (СПЗ). Для исследования характеристик волокнистых материалов и ПКМ на их основе диссертант использовал как эталонные, так и разработанные в работе методы, а также такие высокотехнологичные методы как: инфракрасная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, рентгеновская компьютерная томография, многоэлементный анализ проводимый методом масс-спектрометрии с индукционно-связанной плазмой (ИСП-МС) по методике НСАМ 499-АЭС/МС и экстрагирования, дифференциальная сканирующая колориметрия (ДСК) и термогравиметрия (ТГА); механические характеристики КМ исследованы на «Instron 3382», Shimadzu AGS-X Auto graph, Shimadzu AGS-shux, Instron 5882 с навесным экстензиомером, Epsilon 3542-050M-100-ST и Epsilon 3575-AVG-HT2, а также с помощью рентгеноструктурного анализа, термомеханического анализа (ТМА) и малоугловой рентгеноסקопии (NanoStar). Прочность соединения волокнистого материала с матрицей определена автором методом wet-pull-out (W-P-O). Для оптимизации режимов воздействия ПНЭИ он применял метод многофакторного планирования эксперимента и статистический метод обработки результатов экспериментов с использованием пакета программ Statistica. При создании молекулярно-динамической модели воздействия ПНЭИ на СВМПЭ-волокнистые материалы автор использовал программу LAMMPS, а для волокнистых материалов с замасливателем – метод Монте-Карло.

Личный вклад автора не подлежит сомнению и заключается в формулировке проблемы, определении направления и способов исследования, а также в достижении, анализе, обобщении и объяснении полученных результатов. Основные эксперименты были проведены при непосредственном участии автора на новейшем оборудовании современными методами, в соответствии с имеющейся научной литературой. Представленные в диссертации результаты являются личными исследованиями автора и опубликованы им лично, а также в соавторстве. Вклад автора является решающим на всех стадиях работы.

#### **5. Содержание диссертации, степень её завершенности и качество оформления**

Содержание диссертации полностью раскрывает её цель, посвященную разработке научно-технологических основ создания ПКМ с улучшенными свойствами и оптимальным соотношением матрицы и армирующего наполнителя путём направленного регулирования характеристик волокнистых материалов неорганической и органической природы с помощью обработки ПНЭИ, генерируемых из плазмы ВЧЕ-разряда пониженного давления с продувом

газа. Диссертация является вполне завершённой научно - квалификационной работой.

Содержание работы изложено на 307 страницах машинописного текста. Диссертация включает в себя: введение, 6 глав с чёткими выводами по главам, заключение, список используемой литературы из 405 наименований, 82 таблицы, 123 рисунка, одно приложение.

Текст диссертации изложен хорошим техническим языком. Таблицы и рисунки адекватны тексту, наглядны и подтверждают научные результаты. Качество оформления – хорошее. Аббревиатуры, формулы и единицы измерения соответствуют принятым стандартам.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи её достижения, показана научная новизна, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту, изложена общая структура диссертации.

В первой главе дан обзор современных методов модификации волокнистых армирующих материалов. Приведен анализ рынка и его развития, и областей применения новых ПКМ с модифицированными плазмой органическими и неорганическими волокнами и техническими тканями на их основе. Благодаря этому анализу, сделано обоснование выбора направления исследований и вывод о перспективности и актуальности этого направления, определены цель и задачи.

Во второй главе приведены аргументы выбора объектов исследования и дано их описание. Автором выбраны СВМПЭ-волокна торговой марки ПЭ-1 от отечественного производителя (АО «ВНИИСВ», г. Тверь, РФ) и для сопоставления результатов отобран бренд D800 от китайского производителя (Pegasus Materials Co., China). В качестве углеродных волокон (УВ) предпочтение отдано волокнам торговых марок Umatex UMT 42 (ООО «Алабуга-Волокно») и НТА40 («Тоho Терах»), а также углеродным лентам (УЛ) из УВ марок КУЛОН-500/0,07 и ЛУ - П/0,2 (фирмы «Аргон») и углеродным тканям (УТ) марок СС-245 и СС-201, Т300 («Тогау») с саржевым и полотняным переплетением соответственно. Из стекловолокон (АДКВ) отобраны марки ЕС11-2320 (фирмы «П-Д Татнефть-Алабуга Стекловолокно» (ТАС) и ЕС13-600Т-Т-76 («Новгородский завод стекловолокна» (НЗС), а также АДКТ торгового знака ЛЭС-200 и полотно марки СС-60 из ПП. Матрицами были эпоксидная ЭД-20, полиуретановая и полиамидная смолы, отверждённые в оптимальных режимах. Описано ВЧ плазменное оборудование для модификации материалов. Рассмотрены методы изучения состава, структуры, физических и механических свойств исследуемых материалов и методики математической обработки результатов экспериментов.

В третьей главе представлены основные результаты получения ПКМ нового поколения с оптимальным соотношением «армирующий наполнитель – полимерная матрица» на основе волокнистых материалов органического и неорганического происхождения. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния плазмы ВЧЕ-разряда пониженного давления на физические и механические характеристики, состав и структуру синтетических волокон: СВМПЭ-волокна и УВ, а также тканей из них и композитных материалов с полимерными матрицами (ЭД-20, полиуретановая смола). Исследована устойчивость эффектов ВЧЕ плазменной модификации органических волокнистых материалов во времени. Полученные результаты устанавливают чёткую взаимосвязь между технологическими режимами обработки ПНЭИ волокнистых наполнителей, их структурой и конечными улучшенными свойствами композитов, что составляет научную основу для целенаправленного создания материалов с заданными улучшенными характеристиками.

В четвертой главе приведены данные по влиянию ПНЭИ, сформированного в двух видах разрядов пониженного давления, ВЧИ-разряда и ВЧЕ-разряда, на состав, структуру, физические и механические характеристики АДКВ и АДКТ и данные по созданию КМ на их основе. Плазмообразующей средой служили: аргон, воздух и смеси аргона с азотом или пропан-бутаном (70/30). Воздействие ПНЭИ регулировали такими параметрами как  $W_p$ ,  $P$ ,  $G$  и  $t$ , в качестве базовых режимов использовали  $W_p = 1,9 - 2,2$  кВт,  $t = 1 - 5$  мин,  $G = 0,04$  г/с,  $P = 26,6$  Па. Наилучшие результаты по модификации АДКВ были достигнуты в индукционной плазме, а по АДКТ – в плазме ёмкостного разряда. Созданы КМ на основе плазмообработанных АДКВ и АДКТ с оптимальным соотношением «полимерная матрица – армирующий наполнитель» с улучшенными техническими характеристиками.

В пятой главе представлены результаты разработки математических моделей процессов

модификации синтетических и неорганических волокон в плазме ВЧЕ разряда пониженного давления методом молекулярной динамики и методом Монте-Карло в плазме ВЧЕ и ВЧИ разрядов пониженного давления. Установлено, что воздействие ПНЭИ на волокнистые материалы имеет единую природу и общие принципы.

Физическая модель воздействия ПНЭИ на армирующие наполнители различной физической и химической природы заключается в бомбардировке ионами плазмообразующего газа поверхностного слоя волокнистых материалов. Математическая модель создается в предположениях, что ионы плазмы и атомы армирующего могут быть представлены в виде шаров с определённым радиусом  $r$ . Численное моделирование показало, что обработка СВМПЭ-волокон ПНЭИ приводит к разрыву межмолекулярных и межатомных связей.

Для волокнистых УВ и АДКВ материалов автор учитывал такую особенность как замасливание на поверхности. Построены модели воздействия ПНЭИ на основные компоненты замасливателей для АДКВ, АДКТ и УВ. Результаты расчетов показали, что после обработки ПНЭИ распределение компонентов замасливателя изменяется. Обработка УВ и АДКВ/АДКТ с помощью ПНЭИ позволяет удалить значительную часть замасливателя.

**В шестой главе** разработаны рекомендации по созданию технологического процесса воздействия ПНЭИ на СВМПЭ-материалы и углеродные материалы (УМ), позволяющие повышать адгезию к полимерной матрице не менее, чем в 2,1 раза, эффект воздействия ПНЭИ сохраняется длительное время без изменения: для УМ – более трех месяцев, для СВМПЭ материалов – более пяти лет. Подтвержден единый механизм обработки органических и неорганических волокнистых армирующих – обработка ПНЭИ поверхности и объёмная обработка в порах и филаментах волокнистых армирующих.

Разработаны рекомендации по созданию технологии получения полимерных композитных материалов (АДКМ) из армирующих АДКВ, АДКТ, УВ, УТ с оптимальным соотношением «полимерная матрица – армирующий наполнитель» и повышенными физическими и механическими характеристиками, благодаря регулированию армирующих обработкой ПНЭИ. Внедрение этих разработанных материалов на промышленных предприятиях показало значительный хозяйственный эффект.

**В заключении** осуществлена систематизация полученных научных результатов, содержатся основные выводы по результатам исследований и рекомендации по использованию результатов. Выводы соответствуют цели и задачам диссертационной работы.

**В приложениях** содержатся дополнительные материалы к работе: акты внедрения и расчёты экономической эффективности от внедрения плазменной обработки СВМПЭ-тканей при изготовлении упрочняющих панелей для кузовов автомобилей марки «IVECO», и от внедрения ПКМ для выпуска медицинских инструментов с улучшенными эксплуатационными свойствами за счёт наполнения полимера плазмообработанным стекловолокном.

Таким образом, структура диссертации логична, главы взаимосвязаны и засвидетельствованы выводами, сделано обоснованное заключение. Заглавие диссертации соответствует её содержанию. В целом, диссертация представляет собой завершённый труд, оформленный в соответствии с требованиями ВАК РФ. Поставлена цель и научно-исследовательские и практические задачи, получены существенные экспериментальные результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Основные результаты работы, отражающие содержание диссертации опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ, а также в изданиях, индексируемых в международных базах данных WoS и Scopus. Результаты апробированы на конференциях различного уровня, и внедрены в промышленность, что развивает сферу их применения. Работа выполнена на высоком научном уровне, представляет значительную ценность для науки и практики и будет интересна научной общественности.

## **6. Соответствие диссертации паспорту научной специальности 2.6.17 - Материаловедение**

Содержание работы показывает, что диссертация соответствует паспорту научной специальности 2.6.17 - Материаловедение (технические науки) согласно ВАК Минобрнауки РФ по следующим подпунктам 1, 2, 4, 5, 15:

п.1 – Разработка новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, в том числе капиллярно-пористых, с заданным комплексом свойств путем

установления фундаментальных закономерностей влияния дисперсности, состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и иных факторов на функциональные свойства материалов. Теоретические и экспериментальные исследования фундаментальных связей состава и структуры металлических, неметаллических материалов и композитов с комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств с целью обеспечения надежности и долговечности деталей, изделий, машин и конструкций (химической, нефтехимической);

п.2 – Установление закономерностей физико-химических и физико-механических процессов, происходящих в гетерогенных и композиционных структурах;

п.4 – Разработка физико-химических и физико-механических процессов формирования новых металлических, неметаллических и композиционных материалов, обладающих уникальными функциональными, физико-механическими, биомедицинскими, эксплуатационными и технологическими свойствами, оптимальной себестоимостью и экологической чистотой;

п.5 – Установление закономерностей и критериев оценки разрушения металлических, неметаллических и композиционных материалов и функциональных покрытий от действия механических нагрузок и внешней среды;

п.15 – Разработка процессов получения новых металлических, неметаллических и композиционных материалов биомедицинского назначения, установление закономерностей влияния состава, структуры, технологии получения, а также эксплуатационных и других факторов на свойства биомедицинских изделий.

## **7. Подтверждение опубликования результатов диссертации в научных изданиях**

Основные результаты работы опубликованы в 46 научных изданиях, в том числе, из них: 12 статей в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ; 5 статей в научных журналах, входящих в международные базы Scopus и WoS; 5 статей в иных научных журналах, входящих в ядро РИНЦ; а также в материалах многочисленных научных конференций различного уровня, в том числе с международным участием.

## **8. Соответствие автореферата содержанию и заключению диссертации**

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации, раскрывает её цель, основные задачи, идеи, методы исследований, научную и практическую значимость, результаты и их достоверность, выводы, рекомендации и заключение. Диссертация и автореферат соответствуют современному состоянию изучаемого вопроса.

## **9. Замечания и вопросы по диссертационному исследованию**

1. В работе в качестве плазмообразующей среды для всех объектов исследования использовали следующие газы: аргон, воздух и смеси газов пропан-бутан, аргон-воздух. Интересно узнать, целесообразно ли влияние других газов или их смесей на модификацию поверхности волокнистых материалов органической и неорганической природы?
2. Автор пишет (гл. 3.1., стр. 112 диссертации) об исследовании влияния ПНЭИ на геометрические формы синтетических волокнистых материалов, такие как УВ и УЛ, включая как поверхностные размеры, так и объёмные. Он утверждает (гл. 3.1., стр. 116), что выбранный образец обладает более развитой поверхностью при неизменном объёме. Как автор доказывал неизменность объёма образца до и после обработки? Чем можно объяснить увеличение площади удельной поверхности  $S_{уд}$  у УВ с большим содержанием углерода, т.е. у графитированных, когда  $S_{уд}$  повышается на 19,5% (автореферат, стр.12), а у УВ с меньшим содержанием углерода на 163-184% (диссертация, гл.3.1., стр. 117), а у УЛ всего на 19,5-76,6%?
3. При воздействии ПНЭИ на армирующие элементы АДКВ-ТАС (гл. 4.3., стр. 180) достигается модификация всей поверхности АДКВ как с замасливателем, так и без него. Это исключает возможность создания концентраторов разрушений ПКМ в окрестности поверхности АДКВ без замасливателя. Почему и за счёт чего при режиме воздействия ПНЭИ:  $W_p = 2,15$  кВт,  $t = 2,5$  мин,  $P = 26,6$  Па,  $G_{Ar} = 0,04$  г/с

- (ВЧИ-разряд пониженного давления) была достигнута более высокая нагрузка при разрыве  $F = 2,4$  кг, чем при  $W_p = 1,9$  кВт (рис. 4.22.)?
4. Автор утверждает (гл. 5, стр. 191), что волокнистые материалы из УВ и АДКВ имеют на их поверхности замасливатели. Известно, что эти аплеты, наносимые на поверхность УВ и АДКВ, необходимы для обеспечения гибкости, повышения эластичности и снижения трения. Как данные особенности автор учитывал при создании физической и математической моделей воздействия ПНЭИ на материалы?
  5. Как автор обосновывает выбор именно ВЧИ и ВЧИ разрядов пониженного давления с продувом газа для генерации потока низкоэнергетических ионов, и были ли проведены сравнительные эксперименты с другими типами плазмы?
  6. В работе автор утверждает, что механизм модификации един для синтетических и неорганических материалов, и включает как воздействие ПНЭИ на их поверхностные слои, так и активацию за счёт энергии рекомбинации ионов плазмообразующего газа в объёме волокнистых материалов, выделяющейся при зажигании несамостоятельных разрядов в порах и межфиламентном пространстве. Каковы различия в формировании свободных радикалов и функциональных групп для СВМПЭ-материалов по сравнению с АДКВ?
  7. В диссертации и автореферате есть просторечная путаница в материаловедческих терминах. Часто встречаются не совсем корректные термины “предел прочности на разрыв”, “предел прочности на изгиб”. Например, автореферат - стр. 13, снизу 6 и 16 строки; стр.14, снизу 9 строка; диссертация - стр.15, сверху 12 строка и т.д. Эти термины, наверное, употреблять лучше, как “предел прочности при разрыве”, “предел прочности при растяжении”, “предел прочности при изгибе”, принятые в материаловедении. Почему так произошло при написании работы, хотя другие термины “предел прочности при сжатии” и “предел прочности при расслаивании” употреблены автором верно?
  8. В качестве замечания можно отметить, что автору можно было бы больше внимания сосредоточить при изложении работы на её впечатляющих научных положениях и их раскрытии, а не на практических достижениях, которых вполне достаточно.
  9. В приложении (стр. 302 диссертации) приведен акт внедрения результатов работы автора при создании медицинских инструментов из ПКМ, изготовленных из гранул полиамида марки ПА6 и обработанного ПНЭИ из плазмы ВЧИ-разряда рубленного стекловолокна 2-х марок: ЕС11-2400-А1 и ЕС12-2400-А1. Результаты расчета экономической эффективности от внедрения этой технологии получения биомедицинских материалов составляют свыше 6 млн. руб в год. Есть ли реальное применение медицинских изделий, изготовленных по этой технологии, в медицинских организациях?

Вышеприведенные замечания и вопросы отличаются субъективным характером, и в целом, не снижают высокий научный уровень работы. Эти вопросы и замечания не изменяют общего положительного впечатления от диссертационной работы Сагитовой Фариды Равиловны и позитивного взгляда на продолжение работ по этому направлению и носят напутственный рекомендательный характер.

## **10. Заключение** **и соответствие диссертации критериям ВАК**

В целом, диссертационная работа Фариды Равиловны Сагитовой «Научно-технологические основы создания и регулирования характеристик нового поколения полимерных композиционных материалов, армированных модифицированными потоком низкоэнергетических ионов волокнистыми наполнителями органической и неорганической природы» является завершённой научно - квалификационной работой. В диссертации, исходя из выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований на высоком общенаучном уровне, внесён основополагающий вклад в решение проблемы создания научно-технологических основ разработки полимерных композиционных материалов нового поколения с оптимальным соотношением матрицы и армирующего наполнителя, а также с

улучшенными физико-механическими и функциональными свойствами, благодаря направленному регулированию характеристик упрочняющих волокнистых материалов неорганической и органической природы при их обработке потоком низкоэнергетических ионов, генерируемых из плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления с продувом газа. Разработанные автором научно-технологические основы плазменных технологий получения новейших ПКМ способствуют развитию отечественного производства, поскольку внедрены в промышленность и важны, как для материаловедения, так и при импортозамещении. Эти технологии позволяют решать ряд первостепенных научных (для развития физики и химии плазмы и науки о материалах) и прикладных задач, имеющих существенное хозяйственное значение, при получении медицинских инструментов из ПКМ, изготовленных из полиамида ПАБ и стекловолокна обработанного ПНЭИ из плазмы ВЧИ-разряда, а также при изготовлении лёгких высокопрочных конструкционных материалов на основе СВМПЭ-ткани в качестве упрочняющих панелей для кузовов автомобилей.

Считаю, что представленная к защите диссертационная работа соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к докторским диссертациям (утверждено Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 в действующей редакции), а её соискатель, Фарида Равиловна Сагитова, обладает необходимыми научными достижениями и заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.6.17. Материаловедение.

Я, Корнеева Наталья Витальевна, согласна на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

#### Официальный оппонент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник  
федерального государственного бюджетного  
учреждения науки «Федеральный исследовательский  
центр химической физики им. Н. Н. Семёнова  
Российской академии наук»

«13» марта 2026 года



Н.В. Корнеева

Подпись Н.В. Корнеевой удостоверяю  
Учёный секретарь ФИЦ ХФ РАН,  
кандидат физико-математических наук



Михалёва Мария Геннадьевна

Корнеева Наталья Витальевна, доктор технических наук, (05.19.01 - Материаловедение производств текстильной и лёгкой промышленности; 05.17.06 - Технология и переработка полимеров и композитов), старший научный сотрудник федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук» (ФИЦ ХФ РАН).

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4,  
тел. +7(499)135-78-48

E-mail: [natakorneeva@mail.ru](mailto:natakorneeva@mail.ru)

Вход. № 05-8856  
«27» 03 2026 г.  
подпись 