

# ПЕРСПЕКТИВЫ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ НЕТКАНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКИСЛЕННЫХ ПАН-ВОЛОКОН

Иванов Владислав Викторович
ООО «Термопол», г. Москва
i-vlad@inbox.ru

# ХОЛЛОФАЙБЕР® СОФТ НГ

Огнестойкий каландрированный утеплитель
с защитой от термических рисков
электрической дуги

Отличительная особенность — абсолютное сохранение теплоизоляционных свойств при намокании ткани верха костюма. Огнестойкие свойства гарантированы на весь срок эксплуатации спецодежды. Индекс ограниченного распространения пламени — 3



ОГНЕЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭКИПИРОВКИ

# ХОЛЛОФАЙБЕР® КАРБО

Огнестойкий каландрированный утеплитель
с защитой от термических рисков
электрической дуги



Отличительная особенность — абсолютное сохранение теплоизоляционных свойств при намокании ткани верха костюма. Огнестойкие свойства гарантированы на весь срок эксплуатации спецодежды. Индекс ограниченного распространения пламени — 3





## Актуальность и постановка задачи

- Окисленные ПАН-волокна: гетероциклическая структура, не плавятся, не образуют стекающего расплава, LOI = 40–60 %, самозатухание и коксообразование.

- Нетканые материалы по патенту RU 2702642 C1 («Холлофайбер СОФТ НГ», «Холлофайбер Карбо»): изотропная пористая структура из смеси окисленных ПАН-волокон (5–95 %) и второго волокнистого компонента; потеря массы при воздействии открытого пламени ≤ 9 %.

- - Формирование: аэродинамический / горизонтальный / хаотический способ, термоскрепление 100–220 °C, возможны каландрирование и ламинирование.

## Нерешённые задачи:

1. Защита — пассивная: работает собственная термостойкость волокон, поверхность и межволоконные границы химически инертны.
2. Дугостойкость можно повысить, управляя поверхностной энергетикой и вводя компоненты, поглощающие ИК-излучение и стабилизирующие коксовый слой.
3. Долговечность защитных свойств (стирка, истирание, многократный нагрев) требует химического закрепления функциональных групп.

## Цель:

систематизировать перспективные направления физико-химической модификации и оценить их потенциал для одновременного улучшения огнестойкости, дугостойкости и эксплуатационной устойчивости.

# Методы физико-химической модификации

| Метод | Суть | Что даёт для окисленных ПАН |
|---|---|---|
| Низкотемпературная плазма(пониженное давление, барьерный разряд при атмосферном давлении) | Активация поверхности без изменения объёмных свойств | Гидроксильные, карбоксильные, пероксидные группы — «якоря» для антипиренов; совместимость с легкоплавкими связующими |
| Золь-гель синтез | Тонкие неорганические / гибридные органо-неорганические слои в мягких условиях | Si–O–C-структуры при пиролизе; химическая связь с кислородсодержащей поверхностью → устойчивость к истиранию и стирке |
| Layer-by-layer (LbL) | Послойная адсорбция противоположно заряженных полиэлектролитов и наночастиц | Контроль толщины и состава на нанометровом уровне; прочный коксовый слой; доп. функции (электропроводность, антибактериальность, УФ-защита) |
| Наноразмерные добавки (GO, $SiO_2$, $TiO_2$, оксиды металлов) | Введение в объём волокна, связующее или покрытие | GO индуцирует циклизацию ПАН; $SiO_2$ армирует кокс; $TiO_2$ — катализатор коксообразования и поглотитель ИК |
| Интумесцентные покрытия (полифосфат аммония + источник углерода + газообразователь) | Вспучивающийся пенококсовый барьер | Синергизм с собственной углерод-азотной структурой окисленного ПАН → активная огнезащита |



## Комбинирование методов

Наибольший потенциал — у комбинаций:

- плазменная активация → химическое закрепление золь-гель слоёв и LbL-покрытий;
- наночастицы в золь-гель матрице → усиление барьерных и механических свойств кокса;
- интумесцентные компоненты, химически связанные с окисленной ПАН-структурой → синергетический эффект.

## Перспективы, следующие шаги

1. Механизмы взаимодействия фосфор- и азотсодержащих модификаторов со структурой окисленного ПАН на молекулярном уровне изучены недостаточно.

2. Влияние модификации на дугостойкость (а не только на огнестойкость) требует систематических исследований: экстремально высокая плотность энергии дуги и короткое время воздействия.

3. Долговечность защитных свойств после многократных стирок и истирания — слабое место большинства методов (лучшие показатели — у плазменно-стимулированного закрепления и LbL).

## Технологическое ограничение:

- большинство подходов реализовано в лабораторных условиях на тканях или индивидуальных волокнах;

- масштабирование на поточную линию аэродинамического формирования холста и термоскрепления требует адаптации рецептур и оборудования для равномерного нанесения покрытий на высокообъёмную пористую основу.

## ВЫВОДЫ И НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

- Нетканые материалы на основе окисленных ПАН-волокон обладают уникальной собственной огнестойкостью, но их защитный потенциал может быть существенно расширен за счёт физико-химической модификации.
- Наиболее перспективны комбинированные подходы: плазменная активация + золь-гель / LbL + наночастицы + интумесцентные компоненты.

## ГОРИЗОНТЫ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВНЕДРЕНИЙ^

1. Установление молекулярных механизмов синергизма «модификатор — окисленный ПАН».
2. Количественная оценка вклада модификации в дугостойкость.
3. Разработка масштабируемых технологий нанесения покрытий на нетканые полотна.

Практическая значимость: огне- и дугостойкая теплоизоляция для защитной одежды многократного использования, промышленной и пожарной безопасности.

