

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Тамбура Мамаду на тему «Формирование токопроводящего защитного гидрофобного покрытия для солнечных элементов на основе полимерных материалов с графеном», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3. Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

Работа Тамбура Мамаду посвящена решению значимой научно-технической задачи – повышению надежности и энергоэффективности солнечных модулей в условиях интенсивного запыления. Разработка инновационных композиционных материалов на основе полимеров и графена, сочетающих оптическую прозрачность, проводимость и гидрофобность, находится в русле современных тенденций развития материалов электронной техники и альтернативной энергетики.

В ходе диссертационного исследования получены следующие основные результаты:

1. Фундаментальное исследование условий эксплуатации: Впервые для западноафриканского региона (Мали) выполнен комплексный анализ физико-химических свойств пыли, определяющих её адгезию к поверхности фотоэлектрических преобразователей. Предложенная модель оценки диэлектрической проницаемости многокомпонентной пылевой среды, верифицированная экспериментально, имеет важное значение для прогнозирования эффективности методов электростатической очистки.

2. Материаловедческий аспект: Обоснован выбор системы поли-н-бутилметакрилат (PnBMA) – CVD-графен. Экспериментально доказано преимущество PnBMA перед полиметилметакрилатом (PMMA) в качестве матрицы и трансферного слоя для графена, заключающееся в лучшей сохранности его структуры и, как следствие, функциональных свойств.

3. Технологическая разработка: Разработана и оптимизирована методика получения тонкоплёночных композиционных покрытий, обладающих заданным комплексом свойств: удельное поверхностное сопротивление 2–20 кОм/кв., коэффициент пропускания в рабочем спектральном диапазоне около 85%, угол смачивания водой ~100°.

4. Исследование долговечности: Оценена устойчивость покрытий к деградирующему воздействию ультрафиолетового излучения.



Установлено, что даже после УФ-облучения покрытие сохраняет антистатические свойства, соответствующие классу антистатиков.

5. Управление свойствами материала: Изучено влияние химического легирования (азотом, кислородом) графена на электрофизические характеристики композита, что открывает возможности для тонкой настройки свойств покрытия под конкретные условия.

Практическая значимость работы заключается в создании технологического задела для производства недорогих и эффективных защитных покрытий, способных снизить эксплуатационные затраты солнечных электростанций в засушливых регионах. Результаты также могут быть применены в смежных областях, таких как создание прозрачных электродов, антистатических покрытий для электроники и оптоэлектронных устройств.

Научные положения работы нашли отражение в публикациях в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах, а также были представлены на научных конференциях.

В контексте обсуждения работы целесообразно указать на следующие аспекты, требующие дополнительного внимания в дальнейших исследованиях:

1. В автореферате недостаточно освещён вопрос о влиянии предложенной технологической обработки (термообработка при 130°C) на термическую стабильность и реологические свойства полимерной подложки самого солнечного элемента или его инкапсулянта. Не приведены данные о возможной термомеханической деформации модуля в месте нанесения покрытия.
2. Какова предполагаемая себестоимость получения покрытия предложенным методом в пересчёте на квадратный метр? Необходима хотя бы ориентировочная сравнительная оценка с существующими коммерческими аналогами или другими исследовательскими решениями для обоснования экономической целесообразности.
3. Рассматривалась ли возможность комбинирования предложенного антистатического гидрофобного покрытия с просветляющими слоями для одновременного решения задач самоочистки и увеличения светопропускания?

Отмеченные вопросы носят уточняющий характер и не снижают ценности проведённого исследования, а лишь обозначают направления для его углубления.

**Заключение:**

Диссертационное исследование Тамбура Мамаду является самостоятельной, законченной и актуальной научно-квалификационной работой. Цели и задачи исследования достигнуты, полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью. Автор демонстрирует владение современными методами исследования, глубокие теоретические знания и способность к решению сложных научно-технических проблем.

Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Тамбура Мамаду, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3.

**Силибин Максим Викторович**  
К.т.н., доцент института ПМТ  
НИУ МИЭТ

Почтовый адрес: 124498, Зеленоград,  
площадь Шокина д.1  
Телефон: +79032979141  
e-mail: sil\_m@mail.ru

Подпись Силибина М.В. удостоверяю  
Козлов Антон Викторович  
Ученый секретарь ученого совета МИЭТ

18.01.2026

