



## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Киселевича Валерия Павловича на диссертационную работу Михеева Владислава Александровича на тему «Обеспечение качества новых функциональных материалов для теплопроводящих покрытий на стадии разработки и производства», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.23 «Стандартизация и управлением качеством продукции»

Разработка материалов со специальными свойствами, в том числе теплопроводящих функциональных материалов (ТФМ), является одним из приоритетных направлений технологического развития страны. Это подтверждается такими директивными документами как: «Стратегия инновационного развития РФ на период до 2020 года», «Прогноз научно-технологического развития РФ: 2030. Новые материалы и нанотехнологии» и Постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 года № 328 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности». Всё большая миниатюризация электронных изделий приводит к увеличению плотности теплового потока, что требует необходимых решений для отвода избыточного тепла. Одним из способов отвода тепла является применение теплопроводящих диэлектрических покрытий.

Государственная политика в сфере поддержки инновационных технологий предполагает стимулирование сотрудничества малых инновационных предприятий и образовательных учреждений высшего образования в области научно-технического сопровождения разработок путем оказания инжиниринговых услуг на стадиях разработки и организации производства новой продукции, в том числе и новых ТФМ. С целью оптимизации временных и финансовых затрат малых инновационных предприятий необходимо стремиться к повышению результативности процесса разработки новых ТФМ.

Вышеуказанные обстоятельства определяют актуальность данной диссертационной работы, целью которой является повышение



результативности процесса разработки новых ТФМ, используемых в качестве теплопроводящих диэлектрических покрытий.

В соответствии с этим осуществлен выбор объекта и предмета исследования, корректно сформулирована научная задача, осуществлена её декомпозиция на частные задачи.

Диссертационная работа построена структурно и логично.

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулированы цель и основные задачи для её решения, определены объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, представлены сведения об апробации, внедрении результатов работы и методах исследования.

В первом разделе проанализированы задачи, решаемые ТФМ, их современный технический уровень. С помощью причинно-следственной диаграммы Исикавы определены основные факторы, влияющие на качество ТФМ. На основе развертывания функции качества (QFD-анализ) выявлены ожидания потребителя и требуемые значения теплопроводности. Определены полимерные связующие и наполнители, которые используются для разработки ТФМ.

Второй раздел посвящен разработке методики повышения результативности научно-технического сопровождения процесса разработки ТФМ при взаимодействии малых инновационных предприятий с образовательными учреждениями, метрологическому обеспечению контроля качества ТФМ и применению метода статистического управления качеством ТФМ на основе контрольных карт Шухарта, что позволило снизить количество несоответствующей продукции.

В третьем разделе излагаются результаты экспериментальных исследований теплопроводности новых ТФМ. Определены составы и объёмные содержания компонент, при которых достигается значение коэффициента теплопроводности не менее  $1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  с сохранением оптимальных значений физико-механических характеристик.

В четвертом разделе рассматривается моделирование теплопроводности ТФМ. Проанализированы известные формулы и предложены методы моделирования теплопроводности ТФМ на основе множественной регрессии и модифицированной формулы Бургера.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам диссертационной работы.

Основные результаты, полученные автором и определяющие научную новизну диссертационного исследования, состоят в следующем:

разработана научно обоснованная методика повышения результативности научно-технического сопровождения процесса разработки ТФМ, включая метрологическое обеспечение исследований и контроля качества, основанная на квалиметрической оценке показателей качества методом экспертного ранжирования, распределении Парето «результат/затраты», методах повышения точности и достоверности результатов экспериментальных исследований теплопроводности ТФМ;

получены новые экспериментальные результаты по теплопроводности ТФМ на основе полимерных связующих в зависимости от температуры и объёмного содержания дисперсного наполнителя;

предложены расчётные модели и методика расчёта эффективной теплопроводности ТФМ, отличающиеся от известных формул тем, что они основаны на расчётно-экспериментальном методе статистического моделирования и модифицированной формуле Бургера.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке научно обоснованной методики повышения результативности научно-технического сопровождения процесса разработки новых ТФМ для теплопроводящих диэлектрических покрытий, включая метрологическое обеспечение исследований и контроля качества, а также модели и методики расчёта эффективной теплопроводности ТФМ.

Практическая значимость работы определяется предложенными моделями расчёта эффективной теплопроводности, которые позволили разработать новые ТФМ с оптимальными значениями теплофизических и физико-механических характеристик, снизить временные и финансовые затраты на проведение исследований ТФМ на 15-25%, снизить количество несоответствующей продукции на 10-15%.

Это свидетельствует о решении поставленной научной задачи и подтверждает достижение цели диссертационного исследования. Результаты, выводы и рекомендации диссертации обладают научной новизной, носят нешаблонный характер, в отношении цели работы и решаемой задачи рассматриваются впервые.

Обоснованность результатов, выводов и рекомендаций обеспечена корректным применением избранных методов исследования, апробированных моделей, правильным выбором ограничений и исходных данных при решении частных задач исследования, а их достоверность подтверждена совпадением теоретических выводов с экспериментальными результатами, полученными на разработанных ТФМ, апробацией на региональных, всероссийских и международной конференциях.

Основные научные положения, выносимые на защиту в достаточной мере изложены в публикациях автора, уровень которых соответствует требованиям.

Содержание, как диссертации, так и автореферата в профессиональном отношении изложены грамотно и доказательно, иллюстрации наглядны и аккуратны. Содержание работы соответствует паспорту специальности 05.02.23 «Стандартизация и управлением качеством продукции».

Результаты диссертационной работы внедрены и использованы в деятельности ООО «СТОЛП», ООО «Функциональные материалы» и в учебном процессе ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», что подтверждено соответствующими актами.

Полученные в работе научные и практические результаты целесообразно использовать на предприятиях электронной, приборостроительной и химической промышленности.

Тем не менее, наряду с положительными сторонами диссертационной работы, к ней имеются замечания:

при оценке качества предложенных теплопроводящих материалов недостаточно внимания уделено другим их свойствам (удельному объемному и поверхностному сопротивлению, пробивному напряжению, твердости и др.);

в работе не представлена метрологическая оценка других физических свойств материалов, кроме теплопроводности;

в автореферате не раскрыты источники полученной информации о затратах, пропорциональных числу исследуемых показателей (рис.1, автореферата);

в работе не оценена степень универсальности формулы для расчёта эффективной теплопроводности трёхкомпонентных смесей теплопроводящих материалов.

Указанные замечания не оказывают существенного влияния на теоретическую и практическую значимости результатов работы, не снижают общего положительного впечатления от её содержания.

## ВЫВОДЫ

Диссертационная работа Михеева В.А. «Обеспечение качества новых функциональных материалов для теплопроводящих покрытий на стадии разработки и производства» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне.

Полученные результаты имеют научную и практическую значимость. Достоверность результатов работы и личный вклад автора в их получения не

вызывает сомнений. Основные результаты диссертационной работы изложены в ведущих рецензируемых научных журналах и в материалах конференций.

По научному содержанию, значимости новых результатов, выводов и рекомендаций диссертация соответствует критериям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», которым должна отвечать кандидатская диссертация, а её автор, Михеев Владислав Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.23 «Стандартизация и управлением качеством продукции».

Заместитель генерального директора –  
генерального конструктора  
АО «Концерн «Моринсис-Агат»,  
доктор технических наук по специальности  
05.02.23 – Стандартизация и управлением  
качеством продукции



Киселевич Валерий Павлович

Подпись Киселевича В.П. заверяю  
заместитель административного директора

А.В. Харько