

Разработка гибкой, экономичной, быстромонтируемой теплоизоляционной конструкции для повышения эффективности теплообменного оборудования и трубопроводов

Работа проведена в 2016 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 г.г.» в период с 01 января 2016г. по 30 июня 2016г.

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.574.21.0069 от 27 июня 2014г. (Этап 4)

Научный руководитель проекта: старший научный сотрудник НЦ «Износостойкость», к.т.н. Логинова Наталья Арамовна.

Ответственный исполнитель: заведующий сектором НЦ «Износостойкость», к.т.н. Погорелов Сергей Иванович.

1. Цель прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

Повышение не менее, чем на 10% энергоэффективности теплообменного оборудования и трубопроводов за счет использования гибкой теплоизоляционной конструкции на базе тонкопленочных многослойных теплоизоляционных покрытий (ТМТП), обладающей низким значением коэффициента теплопроводности не более 0,08 Вт/(м·К) при 300 °С и высокими механическими свойствами, характеризующимися эластичностью при изгибе не менее 1 мм.

2. Основные результаты ПНИ

В 2016 году в рамках 4 этапа в период с 01 января 2016г. по 30 июня 2016г. в соответствии с Планом-графиком исполнения обязательств выполнены следующие работы:

1) Разработаны программа и методика проведения экспериментальных исследований механических параметров ТМТП, в том числе:

- Определение работоспособности ТМТП в диапазоне температур от 0⁰С до 300⁰С, заключающееся в проверке неизменности структуры ТМТП при циклическом нагреве (до 300⁰С) и охлаждении (до 0⁰С) образцов в течение 240 часов.

- Исследования прочности и эластичности ТМТП посредством:

- определения предела прочности на сжатие при 10%-ой линейной деформации образцов ТМТП на машине испытательной ИР 5047-50;

- определение предела прочности при изгибе, которое заключается в измерении значения усилия, вызывающего разрушение образца при его изгибе на машине испытательной ИР 5047-50

- исследования эластичности образцов ТМТП на приборе «Константа-ШГ1». Эластичность определяется минимальным диаметром стержня, при изгибе вокруг которого на 180⁰ не происходит разрушения образца.

- Исследование наличия токсичных выделений в ТМТП, которое заключается в проведении способом газовой хроматографии анализа газообразных продуктов, полученных в результате нагревания образцов ТМТП в пиролизной камере до 300⁰С с последующей сорбцией газообразных продуктов термодеструкции.

- Исследование твердости ТМТП по Шору А путём вдавливания индентора перпендикулярно к поверхности образца. Значение твёрдости обратно пропорционально глубине вдавливания индентора и зависит от модуля упругости и вязкоэластичных свойств материала.

- Исследование влагостойкости ТМТП, заключающееся в определении водопоглощения (выдержка в водной среде в течение 24 часов) и сорбционной влажности (выдержка над водой в эксикаторе в течение 72 часов).

- Исследование паропроницаемости ТМТП посредством определения количества водяного пара проникающего через образец ТМТП в течение 24 часов. Исследования проводятся на анализатор проницаемости паров воды марки TotalPerm.

- Исследование стойкости ТМТП к УФ-воздействию путем определения предела прочности на сжатие при 10% линейной деформации образцов ТМТП после выдержки под воздействием к ультрафиолетовому излучению в течение 1000 часов.

- Исследование биостойкости ТМТП, заключающееся в оценке материала ТМТП в качестве источника питания для развития плесневых грибов в условиях умеренного загрязнения. Для микробиологических исследований образцов ТМТП используется смесь из 14 видов грибов. Продолжительность исследования 28 суток.

- Исследования ТМТП на вибростойкость – определение способности ТМТП противостоять разрушающему действию вибрации при частоте 100 Гц и амплитуде перемещения не менее 0,5 мм. Исследования проводят при воздействии вибрации в двух взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к экспериментальному образцу.

2) Разработана методика изготовления экспериментальных образцов покрытия для проведения экспериментальных исследований механических параметров ТМТП. Композиция для изготовления образцов состоит из следующих компонентов: основа - ВПГ-300М с отвердителем и вспенивателем и наполнитель - микросферы 3МК-20. Массовое соотношение компонентов основы - ВПГ-300М:отвердитель:вспениватель = 100 : 4 : 3. Объемное соотношение основы к наполнителю - 1 к 1. Для каждого вида исследований с помощью специальных кондукторов изготавливаются образцы необходимых формы и размеров.

3) Изготовлены экспериментальные образцы покрытия для проведения экспериментальных исследований механических параметров ТМТП в количестве 99 штук. В том числе для:

- проведения экспериментальных исследований работоспособности ТМТП в температурном диапазоне от 0 °С до 300 °С – 13 шт.;

- проведения экспериментальных исследований прочности и эластичности ТМТП – 27 шт.;

- проведения экспериментальных исследований наличия токсичности выделений в ТМТП – 3 шт.;

- проведения экспериментальных исследований твердости ТМТП – 3 шт.;

- проведения экспериментальных исследований влагостойкости ТМТП -9 шт.;

- проведения экспериментальных исследований паропроницаемости ТМТП – 3 шт.;

- проведения экспериментальных исследований стойкости ТМТП к УФ-воздействию - 15шт.;

- проведения экспериментальных исследований биостойкости ТМТП – 20 шт.;

- проведения экспериментальных исследований ТМТП на вибростойкость – 6 шт.;

4) Проведены экспериментальные исследования работоспособности ТМТП в температурном диапазоне от 0°С до 300°С. В течение 240ч циклических испытаний «нагрев - остывание» сохраняется неизменной структура, размеры и форма образцов, разрушение образцов отсутствует. Следовательно, ТМТП является работоспособным в температурном диапазоне от 0°С до 300°С.

5) Проведены экспериментальные исследования прочности и эластичности ТМТП. Получены следующие результаты:

- среднее значение предела прочности на сжатие при 10% деформации образцов ТМТП составляет 0,62 МПа, что превосходит заданное Техническим заданием значение 0,5 МПа на 24 %;

- среднее значение предела прочности при изгибе образцов ТМТП составляет 0,53 МПа, что соответствует заданному Техническим заданием значению (не менее 0,50 МПа);

Эластичность при изгибе экспериментальных образцов ТМТП исследовалась в зависимости от толщины и формы поверхности, прилегающей к изолируемому цилиндрическому объекту.

В результате проведенных экспериментальных исследований получено, что максимальной эластичностью при изгибе (1 мм) обладают экспериментальные образцы ТМТП толщиной 6 мм. С увеличением толщины эластичность снижается, так для

экспериментальных образцов ТМТП толщиной 15 мм и 30 мм эластичность при изгибе составляла соответственно 15 мм и 30 мм.

Использование рельефной поверхности, прилегающей к изолируемому объекту, увеличивало эластичность образцов толщиной 15 мм до 10 мм, а толщиной 30 мм до 20 мм.

Наиболее эффективно с точки зрения повышения эластичности оказалось использование в качестве прилегающей поверхности сотопласта. При этом эластичность экспериментальных образцов ТМТП толщиной 15 мм возрастает до максимума (1 мм), а толщиной 30 мм до 12 мм.

6) Проведены экспериментальные исследования наличия токсичных выделений в ТМТП. Результаты экспериментальных исследований свидетельствуют об отсутствии токсичных выделений 1 и 2 классов опасности из образцов ТМТП. После термического воздействия при температуре 300 °С в течение 135 минут полностью исключаются и малотоксичные (3 и 4 классов опасности) выделения, что делает безопасной эксплуатацию ТМТП даже в неветилируемых помещениях.

7) Проведены экспериментальные исследования твердости ТМТП по шкале Шора А, результаты которых показали, что для исследованных образцов ТМТП значение твердости находится в диапазоне от 43НА до 53 НА. Среднее значение твердости по шкале Шора А составляет 48,3 НА, что превышает заданное Техническим заданием значение 35 НА (единиц).

8) Проведены экспериментальные исследования влагостойкости ТМТП. Определено водопоглощение и сорбционная влажность образцов ТМТП. Среднее значение сорбционной влажности экспериментальных образцов ТМТП составило 0,2%. Среднее значение водопоглощения экспериментальных образцов ТМТП составило 0,1% по объему в сутки, что соответствует требованиям технического задания, т.к. не превышает заданные 2% по объему в сутки;

9) Проведены экспериментальные исследования паропроницаемости ТМТП. Среднее значение паропроницаемости экспериментальных образцов ТМТП составило $24,063 \text{ см}^3/\text{м}^2 (24\text{ч}\cdot\text{бар}^{-1})$, что полностью соответствует требованию Технического задания к настоящему ПНИ, т.к. не превышает $1000 \text{ см}^3/\text{м}^2 (24\text{ч}\cdot\text{бар}^{-1})$.

10) Проведены экспериментальные исследования стойкости ТМТП к УФ-воздействию. Экспериментальные образцы ТМТП выдержали воздействие УФ-излучения в течение 1000 часов без разрушения: отсутствуют изменения цвета и формы, растрескивание или выкрашивание. Величина предела прочности образцов на сжатие при 10% линейной деформации после воздействия УФ-облучения превышает заданное в Техническом задании значение.

11) Проведены экспериментальные исследования биостойкости ТМТП. Экспериментальные образцы ТМТП являются биостойкими, т.к. лишь в незначительной степени являются источником питания для плесневых грибов (степень развития грибов, оцененная Методом «2» ГОСТ 9.049-91, равна 2 баллам при допустимом значении биостойкости в 3 балла).

12) Проведены экспериментальные исследования ТМТП на вибростойкость. Экспериментальные исследования проводились в двух взаимно перпендикулярных направлениях: с воздействием вибрации вдоль оси экспериментального образца и перпендикулярно оси экспериментального образца. По результатам экспериментальных исследований видимых разрушений образцов не обнаружено: трещины не образовывались и отсутствовали сколы.

Проведена популяризация промежуточных результатов ПНИ на следующих мероприятиях:

– 22 Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика", которая состоялась 25–26 февраля 2016 года по адресу: Москва, НИУ "МЭИ";

– XIV Московском международном энергетическом форуме «ТЭК России в XXI веке» проходившем 18-19 апреля 2016 г. по адресу: Москва, Здание Правительства Москвы.

2) Особенностью данной разработки является создание гибкой экономичной, быстромонтируемой теплоизоляционной конструкции удобной для монтажа на теплообменное оборудование и трубопроводы. Разрабатываемая теплоизоляционная конструкция обладает высокими теплоизолирующими свойствами и работоспособностью в температурном диапазоне до 300°C. Указанный температурный диапазон превышает в два раза диапазон рабочих температур существующих аналогов.

На 4-ом этапе выполнения ПНИ подана заявка №2016122665 от 08.06.2016 г. «Теплоизоляционный мат», на получение патента полезной модели РФ и заявка №2016123996 от 17.06.2016 г. «Композиция для получения термозащитного покрытия» в ФИПС на получение патента изобретения РФ. Проведены дополнительные патентные исследования в соответствии с ГОСТ 15.011-96. Проверка на патентную чистоту показала, что патентов, нарушающих права авторов данных технических решений, не выявлено.

3) Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

Внедрение в эксплуатацию гибкой, экономичной, быстромонтируемой теплоизоляционной конструкции на базе ТМТП приведет к повышению энергоэффективности работы теплообменного оборудования и трубопроводов за счет:

- снижения капитальных затрат не менее чем на 10%;
- эксплуатационных затрат не менее чем на 20%;
- увеличения срока службы трубопроводов и оборудования не менее чем на 15%.

Потенциальными объектами коммерциализации являются полученные в ходе выполнения работы патенты и прочие результаты интеллектуальной деятельности, а также лицензионные соглашения.

Последующая реализация разработанной технологии по формированию гибкой, экономичной, быстромонтируемой теплоизоляционной конструкции окажет не только прямой технико-экономический эффект, но также будет способствовать созданию новых рабочих мест на производствах по созданию теплоизоляционных конструкций.

3. Область применения результатов ПНИ

Полученные результаты направлены на последующую разработку технологических решений по реализации инновационных теплоизоляционных конструкций на базе ТМТП, предназначенных для защиты теплообменного оборудования и трубопроводов от сверхнормативных потерь тепловой энергии и защиты поверхностей от конденсатообразования.

Использовать новые виды теплоизоляционных конструкций возможно и в других отраслях народного хозяйства, например, на объектах химической промышленности, для теплоизоляции энергетических установок и трубопроводов морских и речных судов.

Полученные результаты ПНИ на данном этапе позволяют сделать вывод, что инновационные материалы, созданные на базе данной разработки, позволят расширить диапазон применения гибких теплоизоляционных конструкций из полимерных материалов, увеличить ресурс теплоизоляционных материалов в диапазоне до 300°C.

4. Оценка перспектив продолжения работ по проекту

Результаты, полученные на четвертом этапе выполнения Соглашения, дают основание полагать, что продолжение работы позволит выполнить все поставленные задачи и результаты ПНИ найдут широкое применение в отечественной промышленности.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчетном этапе исполненными надлежащим образом.