

## Резюме проекта, выполняемого

в рамках ФЦП

### «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

по этапу № 1

Номер Соглашения Электронного бюджета: 075-15-2019-1941, Внутренний номер соглашения 05.607.21.0321

Тема: «Разработка конструкторско-технологических решений модульных быстро возводимых опор линий электропередач с интегрированными системами непрерывного цифрового мониторинга состояния и термостабилизации грунта для обеспечения нужд регионов Арктики и Крайнего Севера»

Приоритетное направление: Рациональное природопользование (РП)

Критическая технология:

Период выполнения: 13.12.2019 - 30.09.2020

Плановое финансирование проекта: 120.00 млн. руб.

Бюджетные средства 60.00 млн. руб.,

Внебюджетные средства 60.00 млн. руб.

Получатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"

Индустриальный партнер: Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие "Завод стеклопластиковых труб"

Ключевые слова: Электроэнергетика, композитные опоры ЛЭП, линии электропередач, термостабилизация грунтов, цифровой мониторинг технического состояния, интеллектуальная энергетика, умные электрические сети, волоконно-оптические датчики, распределительные электрические сети, умные опоры ЛЭП, электрификация территорий многолетней мерзлоты.

## 1. Цель проекта

1.1 В Российской Федерации достаточно остро стоит проблема развития транспортно-энергетической инфраструктуры обширных территорий со сложными климатическими условиями, в том числе данная проблема сопряжена с необходимостью модернизации и расширения сети воздушных линий электропередач (ЛЭП). Так как электроэнергетический сектор является инфраструктурной базой для социально-экономического развития, то его модернизация стратегически важна для преодоления диспропорций в развитии территорий Сибири и Дальнего Востока, а также при освоении энергоресурсов в зоне вечной мерзлоты и в российском секторе Арктики.

В этой связи, для обширных территорий труднодоступных регионов со сложными климатическими условиями актуальной задачей становится разработка и внедрение новых конструкторско-технологических решений опор ЛЭП, предусматривающими эффективный способ транспортировки, установки и мониторинга состояния в процессе эксплуатации опор ЛЭП, что и определило цель работы.

1.2 Основной целью проекта является разработка конструкторско-технологических решений модульных быстро возводимых композитных опор линий электропередач с интегрированными системами непрерывного цифрового мониторинга состояния и термостабилизации грунта для обеспечения нужд регионов Арктики и Крайнего Севера.

## 2. Основные результаты проекта

2.1 В ходе выполнения первого этапа проекта получены следующие результаты:

- Выполнен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной и методической литературы, относящейся к разработке конструкторско-технологических решений модульных быстро возводимых композитных опор линий электропередач с интегрированными системами непрерывного цифрового мониторинга состояния и термостабилизации грунта для обеспечения нужд регионов Арктики и Крайнего Севера.

Показано, что опоры воздушных линий электропередач, эксплуатируемые в суровых климатических условиях на территории многолетней мерзлоты, подвержены быстрому износу и характеризуются высокими экономическими затратами на протяжении своего жизненного цикла. Обзор опыта эксплуатации воздушных линий электропередач в России и мире показал, что одним из передовых трендов является замена опор из традиционных материалов на композитные в виду их высокого срока эксплуатации,

высокой прочностной и весовой эффективности, устойчивости к агрессивным средам и суровым климатическим условиям. Внедрение композитных опор в электросетевом хозяйстве позволит получить в долгосрочной перспективе ощутимый технико-экономический эффект за счет значительного срока их эксплуатации и сокращения издержек на их замену.

Кроме того, среди современных доминантных тенденций развития электросетей наиболее развитых стран выделяется стремление автоматизировать процесс диагностики технического состояния ЛЭП (создание интеллектуальных электрических сетей «smart grid»), что особенно актуально для обширных территорий труднодоступных регионов с суровыми климатическими условиями, где использование для этого человеческого ресурса не только не эффективно, но зачастую невозможно вовсе. В случае опор из композиционных материалов подобная встроенная система мониторинга технического состояния может быть реализована посредством внедрения в структуру композиционного материала опоры волоконно-оптических датчиков (ВОД) с первичным преобразователем в виде решетки Вульфа-Брэгга (РВБ).

В результате проеденной обзорно-аналитической работы, показано, что для регионов, расположенных в зоне Севера и вечной мерзлоты, использование опор ЛЭП любого типа должно обязательно сопровождаться обеспечением несущей способности грунта основания. Наиболее передовым решением данной проблемы является использование специальных устройств – естественнодействующих термостабилизаторов, поддерживающих мерзлотное состояние грунта. Однако, в настоящее время для этого используются лишь типовые конструкции термостабилизаторов, а оптимизированных блочно-модульных решений для быстровозводимых модульных композитных опор ЛЭП с интегрированными системами термостабилизации основания до настоящего времени еще предложено не было.

С учетом выявленных тенденций и специфики эксплуатации технических объектов на территории вечной мерзлоты, сформирована концепция модульных быстровозводимых композитных опор с интегрированной естественно действующей системой термостабилизации грунта и системой автоматизированного цифрового мониторинга технического состояния опоры на основе волоконно-оптических датчиков.

- Проведены патентные исследования в соответствии ГОСТ Р 15011-96.

- Проведен анализ и выбор технологии изготовления модульной быстровозводимой композитной опоры линии электропередач.

Установлено, что наиболее перспективным способом изготовления модульных быстровозводимых композитных опор линий электропередач является технология намотки, обеспечивающая возможность интеграции в тело композитной опоры как системы непрерывного цифрового мониторинга технического состояния, так и устройства для термостабилизации грунта основания опоры.

- Разработана Программа и методики проведения исследовательских испытаний экспериментальных образцов полимерных композиционных материалов (ПКМ).

- Разработана технологическая оснастка для изготовления экспериментальных образцов ПКМ.

- Проведен анализ и выбор компонентов ПКМ для создания модульных быстровозводимых композитных опор линий электропередач.

Показано, что в качестве армирующего компонента композиционного материала наиболее целесообразно использовать стеклянные волокна, что обуславливается их низкой себестоимостью при высоких эксплуатационных характеристиках. В результате анализа компонентов полимерного связующего по стойкости к агрессивным условиям, сделан вывод, что наиболее стойкими матрицами являются те, которые обладают густосетчатой структурой, например, композиции на основе тетрафункциональных эпоксидных связующих. Этим параметрам полностью соответствуют такие отечественные многофункциональные эпоксидные смолы, как ЭХД, отвержденные высокотемпературными отвердителями (ДАДФС, МТГФА и др.). Таким образом, в качестве материала для изготовления модульных композитных опор ЛЭП для обеспечения нужд регионов Арктики и Крайнего Севера был выбран стеклопластик на основе хлорсодержащего эпоксидного связующего ЭХД, получаемый методом горячего отверждения. В пятом разделе научно-технического отчета также показано, что для придания отдельным конструктивным элементам разрабатываемых опор специальных эксплуатационных свойств (повышения теплопроводности) целесообразно использовать соответствующие функциональные дисперсные модификаторы смолы в виде углеродных нанотрубок либо технического углерода.

По результатам раздела подготовлены следующие доклады на конференциях и публикации в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus:

- Islam A. Alexandrov, Alexey V. Kapitanov, Alexander N. Muranov, Sergey B. Egorov, Aslan A. Tatarkanov Research of Formal-Kinetic Regularities of the Curing Process of Low-Viscosity Epoxy Binder // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. – 2019. – Vol. 9. – No. 2. – pp. 1168-1173. doi: 10.35940/ijitee.B7662.129219.

- Кузнецов И.А., Киляков Д.А. Композиты гибридного армирования (обзор) // Сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и образовании», г. Пенза 15 декабря 2019 г., Пенза: «Наука и Просвещение» (ИП Гуляев Г.Ю.).

Киляков Д.А., Татарканов А.А. Модификация эпоксидных смол углеродными нанотрубками (обзор) // Сборник научных трудов по материалам X Международной научно-практической конференции «Теория и практика приоритетных научных исследований», г. Смоленск 16 декабря 2019 г., Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью «НОВАЛЕНСО».

- Разработана технологическая документация на технологическую оснастку для изготовления экспериментальных образцов ПКМ.

- Разработана технологическая документация на изготовление экспериментальных образцов ПКМ.

- Изготовлена технологическая оснастка для изготовления экспериментальных образцов ПКМ.

- Изготовлены экспериментальные образцы ПКМ.

2.2 Основные характеристики полученных результатов (в целом и/или отдельных элементов), созданной научной (научно-технической, инновационной) продукции.

Итоговый результат прикладных научно-технических исследований должен обеспечить следующий значимые эффекты:

– получение научных результатов, обеспечивающих переход к созданию и использованию новых видов научно-технической продукции – «умных» опор, использующих систему цифрового мониторинга состояния на основе волоконно-оптических датчиков в условиях Арктики и Крайнего Севера и систему термостабилизации грунта;

– повышение эффективности электроэнергетики и качества электрических сетей за счет возможности непрерывной диагностики и оценки технического состояния опор воздушных линий электропередач, особенно в тяжелых климатических условиях и на территориях многолетней мерзлоты;

– открытие новых направлений для инвестирования в проекты на территории регионов Арктики и Крайнего Севера;

- сокращение научно-технического отставания российской отрасли электроэнергетики от стран Евросоюза, Азиатско-тихоокеанского региона, Северной Америки;
- улучшение социально-экономического уровня жизни населения регионов Сибири и Дальнего Востока и смежных с ними территорий за счет развития транспортно-энергетической инфраструктуры и повышения уровня связанности названных территорий;
- способствование более эффективному природопользованию богатых ресурсами малообитаемых территорий регионов Крайнего Севера и Арктики за счёт электрификации и развития остальной инфраструктуры;
- повышение ресурса, надежности и наблюдаемости опор линий электропередач за счет применения композиционных материалов и системы непрерывного цифрового мониторинга;
- повышение ресурса эксплуатации опор линий электропередач в регионах Крайнего Севера и Арктики;
- снижение экономических затрат на логистику и монтаж предлагаемых к разработке линий электропередач в виду высокой весовой эффективности материала и простоты установки;
- возможность перераспределения электроэнергетических ресурсов между регионами с избыточным генерированием мощностей и электродефицитными территориями Арктики и Крайнего Севера;
- соблюдение геополитических интересов Российской Федерации, поддержание охранных функций государственных границ за счет развития электроэнергетической инфраструктуры, доступности районов Арктики и Крайнего Севера.

### 2.3 Оценка элементов новизны научных (технологических) решений, применявших методик и решений.

Для оценки новизны научных решений проведены патентные исследования, целью которых являлось определение технического уровня и тенденций развития объекта исследования. При анализе технического уровня выявлено, что решения в части быстроводимых композитных опор линий электропередач и систем термостабилизации грунта соответствуют современному техническому уровню.

Также определено соответствие основных технических решений тенденциям развития соответствующих отраслей.

### 2.4 Конкурентные преимущества продукции:

- быстрота и простота возводимости ЛЭП;
- обеспечение несущей способности грунта основания;
- стоимость опоры;
- автоматизация процесса мониторинга технического состояния ЛЭП;
- высокая износостойкость.

Основными конкурентными преимуществами, которые обеспечат успех на рынке можно выделить следующие:

- мониторинг технического состояния ЛЭП;
- применение композитных материалов.

### 2.5 Подтверждение соответствия полученных результатов требованиям к выполняемому проекту.

Обозначенные в Техническом задании и Календарном плане показатели и требования по научно-техническим результатам достигнуты, работы этапа выполнены в полном объеме на высоком научно-техническом уровне, соответствующем передовому международному уровню в данной области.

## 3. Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки

В период выполнения 1 этапа НИОКТР охраноспособные РИД не получены.

## 4. Назначение и область применения результатов проекта

### 4.1 Описание областей применения полученных результатов:

Основная область применения полученных результатов – расширение и модернизация сети воздушных линий электропередач как составной части транспортно-энергетической инфраструктуры обширных территорий со сложными климатическими условиями, необходимой для социально-экономического развития и преодоления диспропорций в развитии территорий Сибири и Дальнего Востока, а также ускоренного освоении энергоресурсов в зоне вечной мерзлоты и в российском секторе Арктики.

## 5. Эффекты от внедрения результатов проекта

Результаты работ, планируемые к получению в рамках реализации проекта, могут найти межотраслевое применение на производственных предприятиях композитной отрасли, научной сферы, а также способствовать созданию новых рабочих мест в компаниях, которые будут заниматься изготовлением, монтажом и эксплуатацией опор ЛЭП.

От использования предлагаемой к разработке продукции могут быть достигнуты следующие социально-экономические эффекты:

- повышение эффективности электроэнергетики и качества электрических сетей, эксплуатируемых в тяжелых климатических условиях, за счет возможности непрерывной диагностики и оценки технического состояния опор ЛЭП;
- снижение себестоимости изготовления композитной опоры ЛЭП с термостабилизацией грунта, логистику и монтаж в виду высокой весовой эффективности материала и простоты установки предлагаемых к разработке опор ЛЭП;
- снижение затрат на логистику и монтаж;
- открытие новых направлений для стороннего коммерческого инвестирования социально-экономически значимых проектов регионов Арктики и Крайнего Севера;
- улучшение социально-экономического уровня жизни населения регионов Арктики и Крайнего Севера, повышение связанности территорий за счет электрификации данных районов;
- повышение эффективного природопользования богатых ресурсами малообитаемых территорий регионов Крайнего Севера и

Арктики за счёт электрификации и развития построение остальной инфраструктуры;  
– соблюдение геополитических интересов Российской Федерации, поддержание охранных функций государственных границ за счет развития электроэнергетической инфраструктуры, доступности районов Арктики и Крайнего Севера.  
Результаты работы будут способствовать развитию интегрированных информационно-телекоммуникационных систем и сетей, развитию технологий и стандартов Smart Grid.

## 6. Формы и объемы коммерциализации результатов проекта

Потенциальными потребителями модульных быстровозводимых композитных опор линий электропередач являются распределительные сетевые компании.

Целевой рынок сбыта модульных быстровозводимых опор линий электропередач с интегрированными системами непрерывного цифрового мониторинга состояния и термостабилизации грунта – это региональные электросетевые компании; корпорации, планирующие освоение российского сектора Арктики. Территория России с многолетней мерзлотой составляет 60 %, а её плотность населения 0,9 чел./кв.км. Потенциальный продукт может коммерциализовываться на любой территории со схожими климатическими условиями как на территориях Арктики и Крайнего Севера России.

Большим потенциалом для коммерциализации проекта обладают и страны СНГ (степные территории Казахстана, сейсмически опасные территории Армении и др.). Предварительная оценка стоимости конечного продукта, планируемого к получению в результате реализации проекта, позволяет прогнозировать спрос на результаты проекта и за рубежом – в странах с территориями многолетней мерзлоты и агрессивными условиями эксплуатации.

## 7. Наличие соисполнителей

В период выполнения 1 этапа работы соисполнители не привлекались.

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский государственный технологический университет "СТАНКИН"

\_\_\_\_\_  
Проректор по научной работе  
и научно-технической политике  
(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

А.А. Зеленский  
\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

### Руководитель работ по проекту

\_\_\_\_\_  
Научный руководитель работ  
(должность)

\_\_\_\_\_  
(подпись)

А.В. Олейник  
\_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

М.П.