

## **Разработка и экспериментальная апробация комбинированного источника тепловой и электрической энергии на основе микроГЭС**

Работа проведена в 2020 г. в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы» в период с 01 января 2020г. по 31 декабря 2020г.

Соглашение о предоставлении из федерального бюджета грантов в форме субсидии № 075-15-2019-949 от "31" мая 2019 г. (ранее - соглашение о предоставлении субсидии № 14.586.21.0060 от 12 февраля 2018г.) (Этап 3).

Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58618X0060.

Научный руководитель проекта: главный научный сотрудник НЦ «Износостойкость», д.т.н. Волков Александр Викторович.

Зам.руководителя проекта: младший научный сотрудник НЦ «Износостойкость», к.т.н. Дружинин Алексей Анатольевич.

### **1. Цели выполнения исследований**

Создание научно-технического задела по разработке высокоэффективной автономной когенерационной установки мощностью не менее 15 кВт, обеспечивающей совокупную генерацию электрической и тепловой энергии в одном устройстве на основе использования микро- и малой гидроэнергетики.

### **2. Основные результаты, полученные при выполнении исследований**

В 2020 году в рамках 3 этапа в период с 01 января 2020г. по 31 декабря 2020г. в соответствии с Планом-графиком исполнения обязательств выполнены следующие работы:

Изготовлен макет автономной системы когенерации на основе микроГЭС для условий России.

Проведены экспериментальные исследования макета автономной системы когенерации на основе микроГЭС для условий России;

Проведено обобщение результатов научно-технических исследований, сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований;

Разработана методология расчета и проектирования энергоэффективных автономных систем когенерации на основе микроГЭС;

Разработан проект технического задания на выполнение ОКР по созданию опытного образца автономной когенерационной установки на основе микроГЭС для условий России.

*Иностранным партнером:*

Изготовлен макет автономной системы когенерации на основе микроГЭС для условий Чехии;

Проведены экспериментальные исследования макета автономной системы когенерации на основе микроГЭС для условий Чехии;

Проведено обобщение результатов научно-технических исследований, сопоставление результатов теоретических и экспериментальных исследований;

Разработана методология расчета и проектирования энергоэффективных автономных систем когенерации на основе микроГЭС.

При этом были получены следующие результаты:

- На базе установок научно-исследовательской лаборатории "НИУ "МЭИ" изготовлен макет автономной системы когенерации на основе микроГЭС в масштабе 1:10 по выходной мощности, установленной в целях проекта. При геометрическом напоре 2 м обеспечивается суммарная мощность 1,5 кВт. Макет автономной системы когенерации поддерживает возможность выработки тепловой мощности в диапазоне 0÷85% от выходной мощности гидроагрегата.

- Проведены экспериментальные исследования макета автономной когенерационной системы на основе микроГЭС для условий России в различных режимах работы. Результатами выполненных исследований подтверждены расчётные параметры исследуемой когенерационной системы.

- Обобщены результаты научно-технических исследований, сопоставлены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

- Систематизированы результаты исследований влияния характеристик смачиваемости поверхностей проточной части гидромашин когенерационных систем на их энергетические характеристики. Разработана методика учёта свойств смачиваемости при решении задач 3D гидродинамического анализа и установлена функциональная зависимость  $k_{\Delta_{\text{Экв}}} = f(\Delta_{\text{Экв.нейтр}}, \theta)$ , которая позволяет задавать граничные условия при численном моделировании течений в элементах проточной части гидроэнергетического оборудования с изменёнными свойствами смачиваемости, в т.ч. гидроагрегатов и водоводов гидроэнергетических установок.

- Систематизированы результаты исследований, направленных на повышение эффективности гидротурбин микроГЭС, функционирующих при переменном напоре, и когенерационных систем на их базе путем создания апериодичной лопастной системы. Согласно результатам исследований, применение гидротурбин с апериодической лопастной системой позволяет дополнительно повысить эффективность работы установок на базе микроГЭС до 5,5% и увеличить диапазон регулирования по подаче и напору на 21,2% и 7,3% соответственно.

- Систематизированы результаты исследований по использованию принципов биомиметики при построении когенерационных систем, позволяющих повысить выходную мощность до 20%.

- На базе предложенных технических решений и с учётом результатов расчётно-экспериментальных исследований разработана методология расчета и проектирования энергоэффективных автономных когенерационных систем на основе микроГЭС.

- Разработан проект технического задания на выполнение ОКР по созданию опытного образца автономной когенерационной установки на основе микроГЭС для комплексного снабжения типового автономного потребителя тепловой и электрической энергией в гидроэнергетических и ландшафтных условиях России.

*За счет финансирования из внебюджетных источников Иностранным партнером:*

- Изготовлен макет автономной когенерационной системы на основе микроГЭС для условий автономных потребителей Чехии в масштабе 1:10 по выходной мощности, установленной в целях проекта, и проведены его экспериментальные исследования. При геометрическом напоре 35 м обеспечивается суммарная мощность 3,8 кВт.

- Предложена оригинальная конструкция гидроагрегатного блока когенерационной системы на основе микроГЭС. Результаты испытаний показывают совпадение теоретических и экспериментально установленных параметров гидроагрегатного блока в турбинном и насосном режимах работы и обеспечение требуемых энергетических показателей, что говорит о возможности использования такой конструкции гидроагрегатного блока с целью унификации основных элементов когенерационной системы на основе микроГЭС.

- Выполнено обобщение результатов научно-технических исследований, полученных в рамках выполнения проекта, а также сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований.

- Разработана методология расчёта и проектирования энергоэффективных автономных когенерационных систем когенерации на основе микроГЭС, оригинальная компоновка которой на основе насос-турбины обеспечивает как эффективное использование энергии, так и вклад в водопользование в муниципальном секторе и сельском хозяйстве.

*С применением объектов зарубежной инфраструктуры:*

- Проведены экспериментальные исследования гидроагрегатного блока полноразмерного макета автономной системы когенерации, спроектированного на базе горячего стенда ЦГИ "SIGMA и оптимизированного с использованием разработанных совместно с НИУ «МЭИ» комбинированных подходов. При напорах 27,5÷36 м и расходах 120÷140 л/с обеспечивается суммарная мощность 24÷40,5 кВт.

- С применением автоматизированной многомашинной вычислительной станции "Sigma" проектирования и оптимизации гидравлических машин и систем выполнена дифференцированная оценка влияния характеристик смачиваемости поверхностей элементов проточной части обратимого гидроагрегата M29 на его энергетические характеристики. По результатам расчётно-экспериментальной апробации на базе макета когенерационной системы с гидромашинной M29 установлено, что такие решения позволяют повысить выходную мощность до 12%.

*Оценка элементов новизны:*

- Впервые разработана схема построения и компоновки автономных систем когенерации, использующих гидроэнергетический потенциал малых рек России, отличающихся экологичностью, манёвренностью и возможностью регулирования соотношения тепловой и электрической энергии. Подходы к проектированию, усовершенствованные применительно для гидротурбин микро класса могут быть применимы и для более крупных гидромашин. Полученные результаты отличаются научной новизной.

- С применением автоматизированной многомашинной вычислительной станции и уникального стендового оборудования ЦГИ «SIGMA» разработаны и апробированы оптимизационные подходы для проектирования проточных частей гидротурбин и обратимых гидромашин для энергоустановок под условия РФ (напоры до 20 м) и Чешской Республики (напоры от 20 м до 80 м). Разработанные методы оптимизации расчётных параметров приводит к изменению кривизны расходно-перепадной характеристики, имеющее положительное влияние на качество рабочего процесса микро турбины. Результаты исследования влияния характеристик поверхности лопастной системы на энергетические характеристики показали повышение максимальной вырабатываемой мощности микро турбины. Полученные результаты отличаются научной новизной.

- Впервые создан физический макет автономной когенерационной системы на основе микроГЭС, способной обеспечивать удалённого потребителя тепловой и электрической энергией одновременно и поддерживающей регулирование тепловой мощности в широком диапазоне. Разработана методология расчёта и проектирования энергоэффективных автономных когенерационных систем на основе микроГЭС с повышенными энергетическими характеристиками и экологическими качествами. Предложены и апробированы новые технические решения для повышения выходной мощности когенерационных установок работающих в условиях низких напоров: напоры менее 20 м и напоры от 20 м до 80 м. Полученные результаты отличаются научной новизной.

Достижение целей проекта обеспечит создание отечественных промышленных технологий по созданию высокоэффективных когенерационных систем на основе микроГЭС. Прямых аналогов полученных при выполнении проекта результатов не выявлено. Фактические энергетические характеристики автономной когенерационной системы на основе микроГЭС соответствуют лучшим мировым аналогам, а технические решения, принятые в проекте отвечают современному научно-техническому уровню и требованиям патентной чистоты.

В качестве потенциальных объектов коммерциализации рассматриваются полученные в ходе выполнения работы патенты и прочие результаты интеллектуальной деятельности. В рамках выполнения проекта получен охраноспособный результат интеллектуальной деятельности (РИД):

- изобретение, заявка №2020124523 от 23.07.2020г. «Рабочее колесо насоса-турбины со структурой бугорков горбатого кита», РФ.

Полученные результаты полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту.

Результаты работ третьего этапа соответствуют требованиям Технического задания и Плана-графика исполнения обязательств по выполняемому проекту.

На 3–ем этапе проведена популяризация промежуточных результатов проекта на мероприятиях:

– конференция «KOTLE A ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ 2020 XXIX» («КОТЛЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 2020 XXIX»), 09-11 марта 2020г. г. Брно (Чешская республика);

– XI МНТК «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика. Современное состояние и перспективы развития – НМНД-2020», 02-03 июля 2020г. г. Санкт-Петербург;

– Научно-практический Форум о продвижении принципов «зеленой» экономики в целях ускорения научно-технологического прогресса (Moscow Green Economy Forum-2020), 29-30 октября 2020г. г. Москва.

В целях коммерциализации (практического использования) результатов интеллектуальной (научно-технической) деятельности, полученных в рамках проекта ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ" совместно с ЦГИ «SIGMA» осуществлены мероприятия по демонстрации и популяризации результатов проекта на мероприятиях:

– 24 Международная конференция о водной энергетике Hydroturbo 2018 "Совершенствование элементов проточной части малых и микротурбин для автономных энергоисточников. Применение принципов биомимикрии и оптимизационных подходов", Словацкая республика, г.Братислава, 25 - 27 сентября 2018 г.

– конференция «KOTLE A ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ 2019 XXVIII» («КОТЛЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 2019»), 11-13 марта 2019г. г. Брно (Чешская республика);

– X МНТК «Разработка, производство и эксплуатация турбо-, электронасосных агрегатов и систем на их основе» – «СИНТ19», 16-19 сентября 2019г. г. Воронеж

– конференция «KOTLE A ENERGETICKÁ ZAŘÍZENÍ 2020 XXIX» («КОТЛЫ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ 2020 XXIX»), 09-11 марта 2020г. г. Брно (Чешская республика);

Методы, разработанные при выполнении проекта позволят значительно повысить надёжность энергоснабжения и избежать главного недостатка возобновляемых источников энергии – их сильной зависимости от климатических и погодных условий. Схемные решения когенерационной системы на основе микроГЭС, реализованные в рамках проекта, способствуют снижению стоимости установок энергообеспечения и тарифов на производимые ими виды энергии, большое внимание к которым в настоящее время уделяется со стороны производителей энергии. Внедрение результатов проекта позволит реализовывать технические решения, которые будут решать задачу экологически чистого обеспечения потребителей тепловой и электрической энергией на основе генерации электрической и тепловой энергии в одном устройстве.

### **3. Область применения результатов проведения исследований**

Ожидаемые результаты проекта предназначены для применения в качестве научно-технического задела ОКР в области создания систем одновременного энергоснабжения автономных потребителей электрической и тепловой энергией.

#### **4. Оценка перспектив продолжения работ по проекту**

Результаты работ, полученные на третьем заключительном этапе выполнения Соглашения, полностью соответствуют техническим требованиям к выполняемому проекту и дают основание полагать, что выполнены все поставленные задачи, запланированные в проекте и результаты исследования (проекта) найдут применение в отечественной промышленности.

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