

Соглашение о предоставлении субсидии № 14.577.21.0184 от 27 октября 2015 г. Тема проекта: Разработка научно-технических решений в области создания систем рекуперации энергии термоэлектрическим преобразованием для транспортных средств.

В ходе проведения прикладных научных исследований и экспериментальных разработок на этапе 3 по соглашению о предоставлении субсидии от «27» октября 2015 г. № 14.577.21.0184 по теме «Разработка научно-технических решений в области создания систем рекуперации энергии термоэлектрическим преобразованием для транспортных средств» получены следующие научно-технические результаты:

1. Проведены исследовательские испытания макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания с целью подтверждения теоретических результатов.

Результаты проведенных исследовательских испытаний макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания с целью подтверждения теоретических результатов показали неполное их совпадение и невыполнение требований пунктов 3.19, 4.2.2.1, 4.3.1.2, 4.3.1.3 технического задания на выполнение ПНИЭР. Для достижения требований ТЗ и соответствия получаемых в ходе испытаний величин электрической мощности и доли тепловой энергии, преобразованной в электроэнергию теоретическим расчетам необходима доработка макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания по результатам исследовательских испытаний.

Для определения критического значения прижимной силы в новой конструкции термоэлектрического радиатора системы охлаждения было принято решение о необходимости проведения исследований на предмет определения максимального значения прижимного усилия на термоэлектрический элемент до его выхода из строя. При этом использовались лабораторный испытательный гидравлический пресс П-50 и Электромеханическая машина walter + baiag lfm-1 10 kN Центра

коллективного пользования «Научные технологии в машиностроении» (ЦКП «НТМ») Московского Политеха.

По результатам данных исследований были разработаны рекомендации по моменту затяжки резьбовых соединений прижимных шпилек доработанного термоэлектрического радиатора и переданы Индустриальному партнеру.

2. За счет внебюджетных средств, привлеченных Индустриальным партнером, скорректирована эскизная конструкторская документация на макет термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания по результатам исследовательских испытаний.

Изменения коснулись следующих элементов макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания:

- добавлены крепежные детали для обеспечения усилия прижима термоэлектрических элементов к трубкам и лентам радиатора (доработанный термоэлектрический радиатор системы охлаждения 0184.564212.200-03);

- применено разъемное соединение крепления трубок для охлаждающей жидкости к бачкам термоэлектрического радиатора (трубки ТЭР с фланцами 0184.306581.020);

- изменена конструкции бачков термоэлектрического радиатора (бачок 0184.735213.001-10);

- введена новая деталь - штуцер перепускной 0184.713743.001, для устранения возможности образования воздушных пробок при проведении замены охлаждающей жидкости.

Изменение конструкции термоэлектрического радиатора системы охлаждения было необходимо:

- для увеличения эффективной электрической мощности макета термоэлектрической системы охлаждения,

- для устранения возможности образования воздушных пробок при проведении замены охлаждающей жидкости.

3. За счет внебюджетных средств, привлеченных Индустриальным партнером, доработан макет термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания по результатам исследовательских испытаний.

Доработка макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания по результатам исследовательских испытаний выполнена в соответствии с комплектом скорректированной эскизной конструкторской документации на макет термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания 0184.564212.100-10.

4. За счет внебюджетных средств, привлеченных Индустриальным партнером, проведены исследовательские испытания макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, доработанного по результатам исследовательских испытаний.

Исследовательские испытания доработанного макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания проводились в соответствии с утвержденной Программой и методиками исследовательских испытаний макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания 0184.564212.100 ПМ01.

Исследовательские испытания доработанного макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания показали следующие результаты:

- гидравлическое и аэродинамическое сопротивления термоэлектрического радиатора разрабатываемого макета термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания отклоняются от аналогичных характеристик базового радиатора соответственно на 4,34 % и 0,84 %, что соответствует требованиям пункта 4.2.2.2 ТЗ Соглашения (не должны отклоняться более чем на 10% в сторону увеличения);

- отклонение внутренних объемов и габаритных размеров термоэлектрического радиатора системы охлаждения от аналогичных характеристик базовых радиаторов составило:

- по внутреннему объему -4,65 %;
- по длине 1,33%;
- по ширине 2,38%;
- по высоте -0,21%,

что соответствует требованиям пункта 4.2.2.3 ТЗ Соглашения (не должно превышать 10% в сторону увеличения).

- разработанный макет термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, обеспечивает преобразование до 5% тепловой энергии, рассеиваемой радиаторами системы охлаждения и смазки, в электроэнергию при сохранении требуемого температурного режима работы двигателя, что соответствует требованиям пункта 4.3.1.2 ТЗ Соглашения.

- разработанный макет термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания преобразовывает тепловую энергию, выделяемую двигателем внутреннего сгорания в электрическую энергию мощностью от 0,7644 до 0,8154 кВт, что соответствует требованиям пункта 4.3.1.3 ТЗ Соглашения (не менее 0,7 кВт).

5. Проведен анализ адекватности разработанной математической модели на основе экспериментальных исследований.

Разработанная имитационная математическая модель удовлетворяет требованиям, установленным техническим заданием Соглашения о предоставлении субсидии от «27» октября 2015 года № 14.577.21.0184 и пригодна для проведения расчетных исследований термоэлектрических систем охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

6. Разработаны рекомендации и предложения по использованию результатов ПНИЭР в реальном секторе экономики, а также в дальнейших исследованиях и разработках.

Разработанные рекомендации и предложения включают в себя:

- описание устройства и принципов работы термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания;
- анализ автомобильного парка России и его доли в загрязнении окружающей среды;
- рекомендации по использованию разработанной термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания в реальном секторе экономики (расположение отдельных элементов, используемые материалы, соединение термоэлектрических генераторных элементов и управление электрической нагрузкой);
- предложения по использованию разработанной термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания в реальном секторе экономики (повышение эффективности ТГМ, получение необходимой мощности, предложения по адаптации конструкции к транспортному средству);
- рекомендации и предложения по использованию результатов ПНИЭР в дальнейших исследованиях и разработках.

7. Разработаны технические требования и предложения по разработке, производству и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера - организации реального сектора экономики.

Технические требования и предложения содержат:

- краткую характеристику индустриального партнера ООО «МГС»;
- описание технологических возможностей ООО «МГС»;
- технические требования и предложения по разработке термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, в том числе ее основные параметры и характеристики, требования к сырью, материалам, покупным изделиям, а также ее комплектности, упаковке и маркировке;
- технические требования и предложения по производству;

- технические требования и предложения по эксплуатации.

8. Разработан проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка и создание опытного образца термоэлектрической системы охлаждения с преобразованием теплоты в электрическую энергию, мощностью не менее 1.5 кВт, для двигателя внутреннего сгорания».

В разработанном проекте технического задания отражены требования на разработку опытного образца термоэлектрической системы охлаждения с преобразованием теплоты в электрическую энергию, мощностью не менее 1.5 кВт, для двигателя внутреннего сгорания.

Опытный образец ТЭСО ДВС должен обеспечивать утилизацию и прямое преобразование тепловой энергии ДВС в электрическую, в том числе повышение энергоэффективности силовых установок в составе отечественных транспортных средств и другой техники, оснащенной ДВС, а также стационарных энергетических комплексов.

9. За счет внебюджетных средств, привлеченных Индустриальным партнером, проведены маркетинговые исследования, направленные на изучение перспектив коммерциализации объекта исследований.

Для достижения цели данных маркетинговых исследований по тематике ПНИЭР были выполнены следующие задачи:

- проведен конкурентный анализ рынка, включая обзор конкурентной ситуации на отечественном и зарубежном рынках;
- выполнен структурный анализ предполагаемого рынка сбыта;
- определены потребности рынка;
- проведено исследование предполагаемых поставщиков комплектующих;
- выполнен SWOT-анализ разработанной системы.

10. Выполнено технико-экономическое обоснование разработки продукции.

Согласно полученным результатам расчета на 4 году эксплуатации термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания

величина чистого дисконтированного дохода становится положительной, что свидетельствует о том, что начинается экономия средств. Чистый дисконтированный доход $NPV = 86\,361,7$ руб., полученный по итогам 10 лет эксплуатации разработанной системы, показывает конкурентоспособность использованного решения. Если предположить, что средства для реализации данного проекта исходят из бюджета, то указанная выше экономия является показателем эффективности расходования бюджета.

11. За счет внебюджетных средств, привлеченных Индустриальным партнером, разработан бизнес-план реализации разработанной продукции.

Разработанный бизнес-план показал, что при запланированном объеме производства 800 термоэлектрических систем в год за период 5 лет рентабельность инвестиций составит около 156%.

12. Выполнено обобщение результатов ПНИЭР, выполнена проверка соответствия их требованиям ТЗ, выполнена оценка результативности ПНИЭР и эффективности результатов в сравнении с современным научно-техническим уровнем.

Полученные научно-технические результаты отражены в докладах «Конструирование термоэлектрического радиатора термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания» и «Исследовательские испытания термоэлектрической системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания» международной научно - практической конференции «Интеллектуальные технологии и техника в производстве и промышленности», и международной научно - практической конференции «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем».

Так же полученные научно-технические результаты отражены в статьях Khripach, N. A., Korotkov, V. S., & Papkin, I. A. (2017). Thermoelectric cooling radiator for internal combustion engine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(11), 668-675, Khripach, N. A.,

Korotkov, V. S., & Shustrov, F. A. (2017). Potential applications of thermoelectric cooling generator for internal combustion engine. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(11), 1133-1140, Khripach, N. A., Papkin, B. A., Stukolkin R.V., Papkin, I. A., Nekrasov A.S., & Petrichenko D.A. (2017). Testing of Thermoelectric Cooling Radiator of Internal Combustion Engine *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 8(11), 1111–1118, которые опубликованы в 2017 году в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus.

В рамках работ по этапу 3 поданы заявки на регистрацию Программ для ЭВМ «Программное обеспечение стенда для экспериментального исследования работы термоэлектрического радиатора для двигателя внутреннего сгорания», и «Библиотека подпрограмм OBD2-Comm-Library для получения параметров работы ДВС в среде Labview через устройства на базе ELM 327».

Таким образом, задачи третьего этапа и проекта в целом прикладных научных исследований и экспериментальных разработок решены в полном объеме.

Прикладные научные исследования и экспериментальные разработки на этапе 3 соответствуют техническому заданию, плану-графику исполнения обязательств и выполнены в полном объеме и в установленные сроки.