

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 620.93:621.354

№ госрегистрации 01201169778

Инв. № 13/2013



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора ОИВТ РАН

В.А. Зейгарник

» _____ 2013 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

о выполнении опытно-конструкторской работы

по теме: «Разработка экологически чистой транспортной
комбинированной энергоустановки с высокой удельной энергоемкостью
на основе воздушно-алюминиевого электрохимического генератора»

по государственному контракту
от «10» мая 2011 г. № 16.526.12.6002,
Шифр «2011-2.6-526-011-001»

Этап 6: «Проведение приемочных (государственных) испытаний КТЭУ»
(ИТОВОВЫЙ)

Руководитель работы,

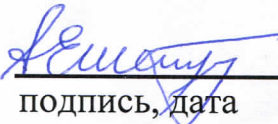
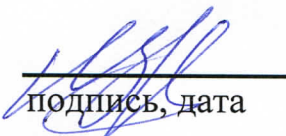


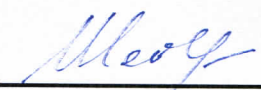

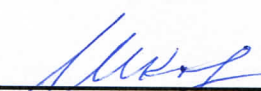


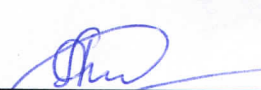

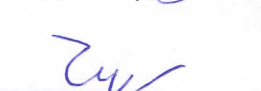
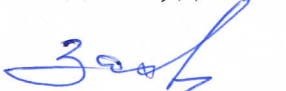
Заместитель директора ОИВТ РАН, д.ф.-м.н.

подпись, дата

А.З. Жук

Москва 2013

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель, академик	 подпись, дата	А.Е. Шейндлин (введение, заключение)
Руководитель работ, заместитель директора, д.ф-м.н.	 подпись, дата	А.З. Жук (введение, заключение)
Ответственный исполнитель, зав.лаб.	 подпись, дата	Б.В. Клейменов (разделы 1,2)
Заместитель руководителя по инновациям	 подпись, дата	Р.А. Хорошавцев (разделы 1,2)
Заместитель заведующего отделом	 подпись, дата	И.С. Шевченко (разделы 1,2)
Ведущий инженер	 подпись, дата	Н.Г. Алексеева (разделы 1,2)
Заведующий отделом	 подпись, дата	Е.И. Школьников (раздел 1)
Старший научный сотрудник	 подпись, дата	А.В. Целуйко (разделы 1,2)
Заведующий лабораторией	 подпись, дата	А.В. Илюхина (разделы 1,2)
Ведущий конструктор	 подпись, дата	А.В. Рытов (раздел 1,2)
Ведущий инженер	 подпись, дата	Г.В. Тарасов (разделы 1,2)
Ведущий инженер	 подпись, дата	А.Ю. Чурсин (разделы 1,2)
Старший научный сотрудник	 подпись, дата	В.П. Захаров (раздел 1)

Ведущий конструктор	 _____	А.Б. Покровский (раздел 1)
	подпись, дата	
Старший научный сотрудник	 _____	З.А. Захарова (раздел 1)
	подпись, дата	
Ведущий инженер	 _____	В.В. Лагутина (раздел 1)
	подпись, дата	
Ведущий инженер	 _____	Т.Г. Федотова (раздел 1)
	подпись, дата	
Ведущий инженер	 _____	Р.К. Чихерева (раздел 1)
	подпись, дата	
Младший научный сотрудник	 _____	Ю.В. Панкина (разделы 1,2)
	подпись, дата	
Старший научный сотрудник	 _____	С.А. Леонов (раздел 1)
	подпись, дата	
Ведущий инженер	 _____	Е.А. Бузоверов (раздел 1)
	подпись, дата	
Техник	 _____	Е.В. Кузьмичева (раздел 1)
	подпись, дата	
Техник	 _____	И.О. Судариков (раздел 1)
	подпись, дата	
И.о. научного сотрудника	 _____	Р.А. Тимирханов (раздел 1)
	подпись, дата	
Ассистент	 _____	Н.С. Окорокова (раздел 1)
	подпись, дата	
И.о.н.с.	 _____	С.А. Некрасов (раздел 1)
	подпись, дата	

РЕФЕРАТ

Отчет 42 стр., 13 рис., 6 табл.

ВОЗДУШНО-АЛЮМИНИЕВЫЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ
ГЕНЕРАТОР, ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ, ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ
ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО, ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА,
СУПЕРКОНДЕНСАТОР, АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ,
ЭЛЕКТРОПРИВОД

Цель работы – создание типоряда комбинированных энергоустановок (КТЭУ) с удельной энергоемкостью 140 и 250 Вт*ч/кг на основе воздушно-алюминиевого электрохимического генератора (ВА ЭХГ) для городских электромобилей.

Объектами разработки на шестом этапе являлись опытные образцы комбинированных транспортных энергоустановок КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

В ходе выполнения шестого (итогового) этапа были проведены следующие работы:

- проведена подготовка производства к проведению приемочных (государственных) испытаний КТЭУ-20 и КТЭУ-40.
- проведены приемочные (государственные) испытания опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40;

В ходе выполнения Госконтракта были разработаны и созданы опытные образцы КТЭУ-20 и КТЭУ-40 со следующими достигнутыми показателями: - удельная мощность КТЭУ-20 – 294 Вт/кг, КТЭУ-40 – 566 Вт/кг; удельная энергоемкость КТЭУ-20 – 144 Вт*ч/кг, КТЭУ-40 – 254 Вт*ч/кг.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Подготовка производства к проведению приемочных (государственных) испытаний КТЭУ-20 и КТЭУ-40.....	12
2 Проведение приемочных (государственных) испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40	18
2.1. Проведение приемочных испытаний опытного образца КТЭУ-20.....	19
2.2. Проведение приемочных испытаний опытного образца КТЭУ-40.....	28
Заключение.....	37

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

УДК	Универсальная десятичная классификация
ОИВТ РАН	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
КТЭУ	Комбинированная транспортная энергоустановка
РКД / ЭД	Рабочая конструкторская документация / эксплуатационная документация
ПМ	Программа и методики испытаний
ВА ЭХГ	Воздушно-алюминиевый электрохимический генератор
ООО / ОАО / ЗАО	Общество с ограниченной ответственностью / Открытое акционерное общество / Закрытое акционерное общество
БА	Батарея аккумуляторов
МАИ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет)
НПП / НПО	Научно-производственное предприятие / объединение
МНЭ	Молекулярный накопитель энергии
ТЗ	Техническое задание
СК	Суперконденсатор
ЗП	Зарядный преобразователь
АППР	Акселератор переключения передачи и реверса
УУСК	Устройство управления суперконденсатором
БСК	Блок силовой коммутации
УУЭП	Устройство управления электроприводом
УЗПРБ	Устройство защиты и продления ресурса батареи
ТС	Транспортное средство
МАМИ	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)» (Университет машиностроения)
СИТС	Стенд-имитатор транспортного средства
ВАХ	Вольт-амперные характеристики
КПП	Конструкторская подготовка производства
ТПП	Технологическая подготовка производства
ОПП	Организационная подготовка производства

ВВЕДЕНИЕ

В процессе выполнения Государственного контракта были проведены следующие основные работы:

1) Разработан эскизный проект комбинированной транспортной энергоустановки (КТЭУ). В рамках эскизного проекта проведен расчет энергетических параметров энергоустановок, обеспечивающих движение транспортного средства (ТС) в соответствии с городским циклом ЕСЕ-15 и при разгоне до 100 км/ч за 10-12 сек. Рассчитанная удельная мощность и удельная энергоемкость КТЭУ-20 составила, соответственно, 308 Вт/кг и 145 Вт*ч/кг, а КТЭУ-40 – 606 Вт/кг и 285 Вт*ч/кг. В рамках эскизного проекта были проработаны вопросы использования избыточного тепла от ВА ЭХГ для отопления салона транспортного средства в зимнее время и отвода его в летнее.

2) Проведены патентные исследования по основному элементу установки – воздушно-алюминиевому электрохимическому генератору (ВА ЭХГ). В результате патентных исследований была подтверждена патентоспособность выбранного технического решения изготовления ВА ЭХГ и его патентная чистота.

3) По разработанным КД изготовили и провели пуско-наладку испытательных стендов:

- стенд обработки ПО микроконтроллеров, позволяющий производить комплексную обработку ПО каждого из микроконтроллеров, входящих в состав устройства КТЭУ и транспортного средства как при полном, так и при не полном подключении силовых частей;

- стенд-имитатор транспортного средства СИТС, позволяющий проводить комплекс испытаний электроприводных системы транспортного средства с КТЭУ и представляет собой нагружающее устройство, имитирующее реальные нагрузки на двигатель со стороны трансмиссии ТС при различных условиях его движения;

- стенд (блок) перезарядки ВА ЭХГ, включающий в себя передвижной

пост заправки и замены электролита и стационарный пост перезарядки анодов. Данный стенд позволяет отработать технологические режимы перезарядки и сократить время перезарядки КТЭУ до 10 мин;

- стенд контроля качества анодов, включающий участок изготовления образцов анодных материалов, участок изготовления шлифов и участок металлографического анализа микроструктуры шлифов;

- стенд контроля качества катодов, состоящий из трех участков: участок входного контроля материалов, участок промежуточного контроля полуфабрикатов, участок выходного контроля катодов;

- стенд совместных электрохимических испытаний анодов и катодов, состоящий из гидравлической системы, электрической системы, системы управления стендом, информационно-регистрирующей измерительной системы.

4) Разработана документация (эскизный проект, исходные и выполняющие модули программ, программа и методики (ПМ) испытаний), и испытано программное обеспечение (ПО) системы управления КТЭУ, состоящее из следующих элементов:

- для КТЭУ-20: зарядный преобразователь (ЗП), трекер, бортовой компьютер, центральный диспетчерский пункт (ЦДП), акселератор, переключатели передач и реверса (АППР);

- для КТЭУ-40: ЗП, трекер, бортовой компьютер, ЦДП, АППР и устройство защиты и продления ресурса батареи аккумуляторов (УЗПРБ).

5) Рассмотрены варианты конструктивного исполнения ВА ЭХГ и выбран вариант ВА ЭХГ в виде «сплит» системы, не имеющей аналогов среди запатентованных вариантов конструкторских решений. Выбран вариант исполнения КТЭУ с ВА ЭХГ в виде «сплит» системы, в которой воздушно-алюминиевые батареи выполнены в виде автономных конструктивных узлов.

По выбранным структурным схемам КТЭУ-20 и КТЭУ-40 разработан технический проект энергоустановок в составе: ведомость технического проекта, пояснительная записка, чертежи общего вида, схемы электрические и

пневмогидравлические. В пояснительной записке к техническому проекту были рассмотрены назначение и область применения энергоустановок КТЭУ-20 и КТЭУ-40; определены технические характеристики основных элементов энергоустановок; представлены результаты энергетических и пневмогидравлических расчетов; приведены вопросы обеспечения охраны труда и охраны окружающей среды.

6) Разработана рабочая конструкторская документация (РКД) на КТЭУ. При разработке РКД было учтено, что применение литий-ионных аккумуляторных батарей и суперконденсатора с органическим электролитом позволило увеличить практически в 2 раза удельные характеристики КТЭУ-40 по сравнению с КТЭУ-20 (удельная энергоемкость возросла с 140 до 250 Вт·ч/кг, а удельная мощность увеличилась с 294 до 566 Вт/кг), без существенного увеличения массогабаритных параметров КТЭУ-40. Применение сплит-системы обеспечило время перезарядки ВА ЭХГ 10 минут (в соответствии с ТЗ) за счет размещения на технологической раме, имитирующей условное транспортное средство, с посадочными местами под элементы КТЭУ, отдельных агрегатов ВА ЭХГ.

7) По разработанным технологическим процессам создана технологическая документация (ТД) на изготовление опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40, включающая маршрутные карты сборки энергоустановок и их отдельных компонентов, технологические регламенты изготовления элементов ВА ЭХГ и КТЭУ.

8) Разработаны проекты технических условий (ТУ) и эксплуатационной документации (ЭД) в составе:

- техническое описание (ТО);
- руководство по эксплуатации (РЭ);
- паспорт (ПС).

При подготовке проектов ТУ была разработана комплектность поставки изделий потребителю и упаковочные чертежи для элементов КТЭУ в частности, а также на энергоустановки КТЭУ-20 и КТЭУ-40 в целом.

При подготовке проектов ТО и РЭ были разработаны схемы и рисунки систем и элементов КТЭУ, поясняющих принципы функционирования энергоустановок, технологию перезарядки ВА ЭХГ сменными анодами, места и способы обслуживания КТЭУ. Разработанная эксплуатационная документация выполнена в соответствии с ТЗ, и позволяет подготовить обслуживающий персонал для работы с энергоустановками КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

9) Изготовлены опытные образцы КТЭУ-20 и КТЭУ-40 (по 2 экземпляра каждого) из приобретенных комплектующих и расходных материалов на базе опытного производства ОИВТ РАН.

10) По разработанной программе и методикам (ПМ) испытаний проведены предварительные испытания опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

В разработанных ПМ проверка технических и энергетических параметров предусмотрена по следующим методикам: 1) методика проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов; 2) методика проверки реализации городского цикла ЕСЕ-15, проверки условной величины максимального пробега имитатора ТС, оснащенного КТЭУ; 3) методика проверки электрической изоляции и разобщенности электрических цепей; 4) методика проверки выбросов CO₂, CO, HC, NO_x; 5) методика проверки эквивалентного уровня шума; 6) методика проверки на стойкость к механическим воздействиям; 7) методика проверки герметичности магистралей системы подачи электролита. Первые две методики были разработаны сотрудниками ОИВТ РАН, остальные методики являются стандартизированными.

11) По результатам предварительных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40 была проведена корректировка РКД и ЭД, и доработаны опытные образцы КТЭУ.

12) Разработана и согласована с Заказчиком ПМ приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

13) Проведены маркетинговые исследования рынка комбинированных

транспортных энергоустановок. Разработан бизнес-план производства КТЭУ. Разработаны алгоритмы подготовки опытного производства для изготовления КТЭУ, включающие функциональную модель подготовки опытно-промышленного производства для изготовления КТЭУ.

14) Проведена подготовка экспериментальной базы и испытательных стендов к проведению приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

15) Проведены приемочные испытания опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

1. Подготовка производства к проведению приемочных (государственных) испытаний КТЭУ-20 и КТЭУ-40

Подготовка производства к проведению приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40 заключалась в выполнении следующих работ:

1) Подготовка к проведению испытаний на стойкость к механическим воздействиям:

- разработка маршрута для испытаний;
- разработка и изготовление крепежных элементов;
- проведение монтажа опытных образцов на испытательное транспортное средство;
- проверка надежности крепления смонтированных элементов.

2) Подготовка площадки для проверки массы опытных образцов КТЭУ, проверки наличия выбросов вредных веществ, и эквивалентного уровня шума. Фото площадки представлено на рис. 1.



Рисунок 1 – Площадка для проверки массы опытных образцов КТЭУ.

3) Подготовка помещения для организации диспетчерского пункта приема телеметрических сигналов от опытных образцов КТЭУ.

4) Изготовление и монтаж защитных экранов на опытные образцы КТЭУ от поражения электрическим током и воздействия агрессивной химической среды.

5) Изготовление и монтаж защитных экранов на стенд СИТС от поражения электрическим током и механических воздействий от элементов инерционных масс. СИТС с защитным экраном представлен на рис. 2.

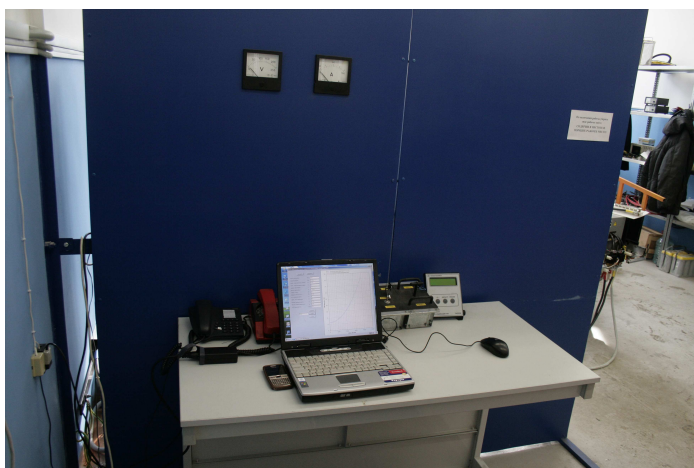


Рисунок 2 – Защитный экран СИТС.

6) Проверка готовности измерительного оборудования к проведению приемочных испытаний для проверки показателей назначения. Проведение необходимых мероприятий по калибровке и тарировке следующего измерительного оборудования:

Наименование, тип и марка	ГОСТ, ТУ или обозначение	Основные характеристики
Клещи электроизмерительные Ц4501	ГОСТ 9071	Класс точности 4
Шумомер портативный	Smart Sensor AR824	(30 ... 130 дБА)
Газоанализатор	Delta 65	-
Мегаомметр	Ф4102/1-1М по ТУ25- 7534-0005-87	(0-100 МОм)
Мегаомметр	M4100/1	(0-20 МОм)
Прибор электроизмерительный комбинированный	Ц4353 по ТУ25- 04.3303-77	(500 кОм)
Весы промышленные	ТВ-S-200.2-A2	(0 ... 200 кг, цена деления 50 г)
Термометр бытовой универсальный	ТБ 211	(от минус 50 до плюс 50 °С)

7) Разработка и монтаж стенда для проведения гидравлических испытаний системы подачи электролита ВА ЭХГ опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40. Фото стенда представлено на рис. 3.



Рисунок 3 – Стенд для проведения гидравлических испытаний.

Для подготовки производства к проведению приемочных испытаний были привлечены средства соисполнителей и собственные средства в размере 43 237 500 рублей (табл. 1).

Таблица 1. Работы, осуществляемые соисполнителями.

№	Перечень произведенных работ	Соисполнитель	Стоимость работ, руб.
1.	Разработка и создание стенда отладки основных параметров блоков литий-ионных и свинцово-	Общество с ограниченной	18 000 000

	<p>кислотных батарей, в том числе:</p> <ul style="list-style-type: none"> - отладка процессов балансированием аккумуляторов в разных режимах работы литий-ионных батареях; - отладка систем управления аппаратной балансировки напряжений аккумуляторов в составе батареи аккумуляторов (БА); - оптимизация процесса балансировки заряда между аккумуляторами в составе БА; - отладка систем счета заряда аккумуляторов, формирования и передачи данных о текущем дисбалансе и состоянии БА на микроконтроллер зарядного преобразователя (ЗП). 	<p>ответственностью «НПО ССК»</p>	
2.	<p>Оптимизация систем управления КТЭУ, включая:</p> <ul style="list-style-type: none"> - оптимизацию систем ЗП и стенда программного обеспечения (СПО) микроконтроллера зарядного преобразователя. - оптимизацию алгоритмов управления работой ЗП, осуществляющего контроль за работой и перекачку энергии из ВА ЭХГ в ИМ. - оптимизацию процессов осуществления обмена информацией ЗП с компонентами КТЭУ и бортовым оборудованием электротранспортного средства (ЭТС). 	<p>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ)</p>	5 000 000
3.	<ul style="list-style-type: none"> - Установка и проведение монтажа КТЭУ на автомашину, для проведения испытаний на стойкость к механическим воздействиям - Проверка состояния и надежности крепления смонтированной на автомашине КТЭУ. - Проведение необходимых мероприятий по калибровке, тарировке и проверке технических характеристик измерительного оборудования, не подлежащего поверке. - Подготовка площадки для проведения приемочных испытаний. - Демонтаж электрохимических источников электропитания, входящих в состав КТЭУ, для подготовки к проведению испытаний на проверку массы. - Демонтаж электрохимических источников электропитания, входящих в состав КТЭУ, для измерения габаритных размеров при проверке занимаемого объема. 	<p>Общество с ограниченной ответственностью «Каскад Академия»</p>	7 000 000
4.	<p>Оптимизация режимов работы регулируемого электропривода постоянного тока для транспортной электроустановки:</p> <p>а) по минимальным затратам электроэнергии:</p>	<p>Общество с ограниченной ответственностью «Научно-</p>	12 000 000

	<ul style="list-style-type: none"> - уточнение алгоритма управления электроприводом при оптимальном перераспределении электроэнергии между элементами электроустановки (аккумуляторной батареи, суперконденсатора СК и ВА ЭХГ) для различных режимов работы электропривода – разгон, движение с постоянной скоростью, торможение; - оптимизация алгоритмов разгона и торможение приводного двигателя для заданного временного интервала (с постоянным ускорением, по экспоненте, при переменном значении ускорения); - корректировка алгоритма работы СК (токи заряда и разряда) для различных режимов движения с учетом минимизации потерь - оптимизация режимов рекуперации при торможении тягового электродвигателя. <p>б) по максимальным скоростным показателям приводного двигателя:</p> <ul style="list-style-type: none"> - уточнение алгоритма управления электроприводом для разгона до установившейся скорости за заданное время; - оценка влияния на характер разгона момента подключения СК к рабочим шинам электропривода; - проведение анализа влияния на характер разгона алгоритма управления разрядом СК; - корректировка порядка подключения элементов энергоустановки к рабочим шинам электропривода для достижения максимальной скорости приводного двигателя при минимальном времени разгона. 	производственное предприятие «ИНКАР-М»	
5	<ul style="list-style-type: none"> - изготовление и монтаж защитных экранов на стенд СИТС от поражения электрическим током и механических воздействий от элементов инерционных масс; - разработка и монтаж стенда для проведения гидравлических испытаний системы подачи электролита ВА ЭХГ опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40. 	Собственные средства	1 638 074
	ИТОГО		43 638 074

Акт поверки готовности и безопасности испытательной базы к проведению приемочных испытаний приведен в *Приложении А*. Акт готовности предприятия к приемочным испытаниям – в *Приложении Б*.

2. Проведение приемочных (государственных) испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40

Целью приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40 является подтверждение соответствия характеристик объекта испытаний требованиям ТЗ, а также оценка возможности промышленного производства и реализации изделия.

Приемочные испытания проводились в соответствии с планами-графиками приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40 (см. *Приложения В и Г*) в ОИВТ РАН в период с 11 по 20 марта 2013 года.

Приемочные испытания проводились в соответствии с ПМ приемочных испытаний (см. *Приложения В и Г*) по стандартизованным методикам и методикам, разработанным в ОИВТ РАН на 5 этапе.

Методики, разработанные в ОИВТ РАН:

- а) методика проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов, в том числе, свинцово-кислотной БА и СК со щелочным электролитом;
- б) методика проверки реализации городского цикла ЕСЕ-15, проверки пробега имитатора транспортного средства (ТС), оснащенного КТЭУ;

Стандартизованные методики:

- а) методика проверки электрической изоляции и разобщенности электрических цепей;
- б) методика проверки выбросов CO₂, CO, HC, NO_x;
- в) методика проверки эквивалентного уровня шума;
- г) методика проверки на стойкость к механическим воздействиям;
- д) методика проверки герметичности магистралей системы подачи электролита.

ПМ приемочных испытаний согласована с Заказчиком – Министерством образования и науки Российской Федерации. При проведении приемочных испытаний осуществлялись следующие работы:

- проверка соответствия и комплектности КД, ПО, ТД, ЭД. Проверка комплектности объекта испытаний (ОИ);

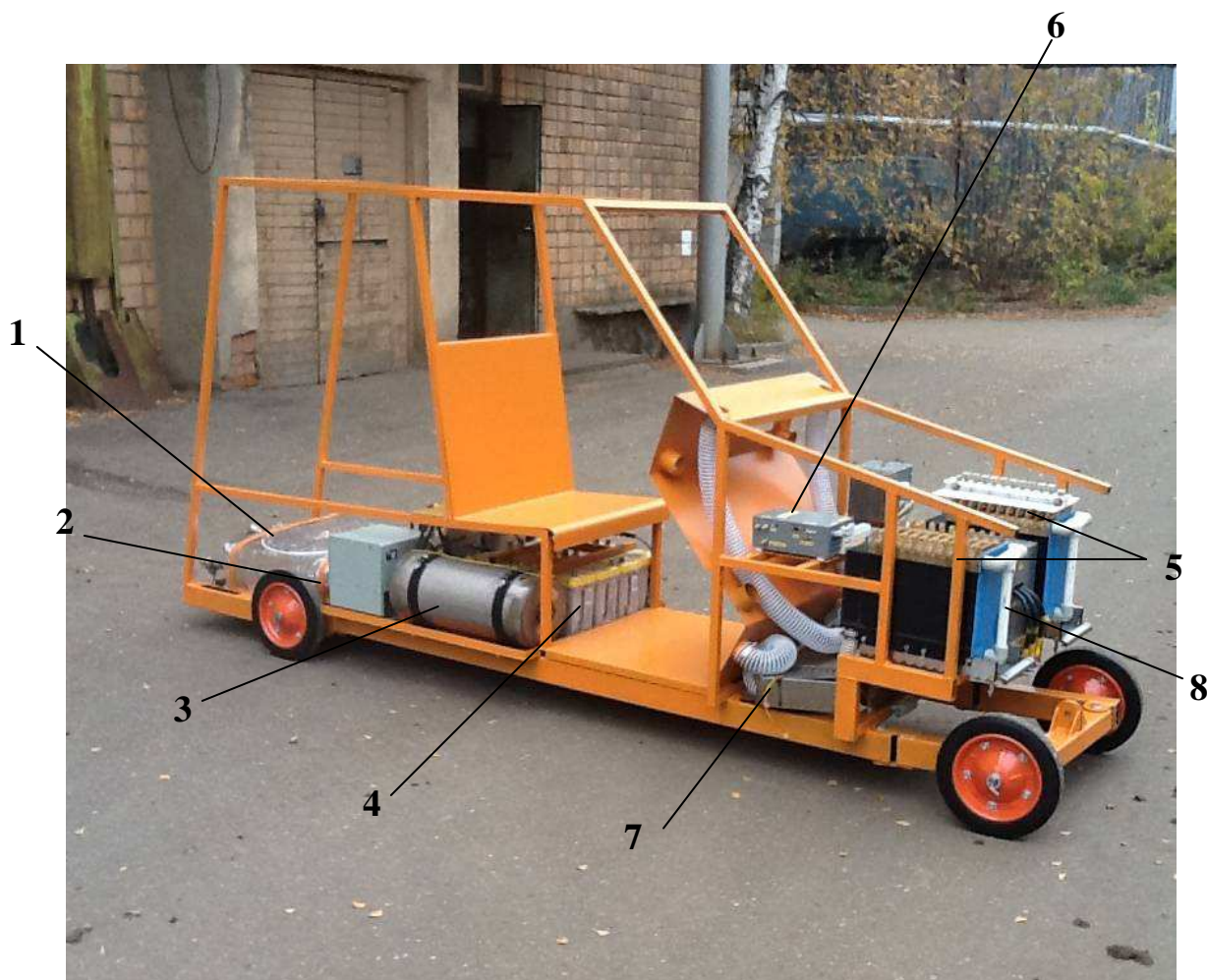
- проверка массы и занимаемого объема;
- проверка герметичности;
- проверка электрических цепей;
- проверка показателей назначения;
- проверка на стойкость к механическим воздействиям.

На стадии подготовки к приемочным испытаниям опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40 ОИВТ РАН взаимодействовал с представителями государственного заказчика, а также следующими организациями:

- федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)» (Университет машиностроения);
- федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет);
- ОАО «Научно-производственное предприятие «Квант» (ОАО «НПП «Квант»).

2.1. Проведение приемочных испытаний опытного образца КТЭУ-20

Для проведения приемочных испытаний был предъявлен экземпляр №2 опытного образца КТЭУ-20 (рис. 4). Чертеж общего вида опытного образца КТЭУ-20 приведен в ***Приложении В***. Подтверждена готовность КТЭУ-20 к проведению испытаний (см. Акт готовности опытного образца КТЭУ-20 № 2 к проведению приемочных испытаний в ***Приложении В***).



1 – бак; 2 – УУСК; 3 – СК со щелочным электролитом; 4 – свинцово-кислотные БА; 5 – блок ВА ЭХГ; 6 – ЗП, 7 – радиатор, 8 – УУЭП.

Рисунок 4 – Опытный образец КТЭУ-20.

Проверка технических характеристик опытных образцов КТЭУ-20 (рис. 5) проводилась на стенде-имитаторе транспортного средства (СИТС).

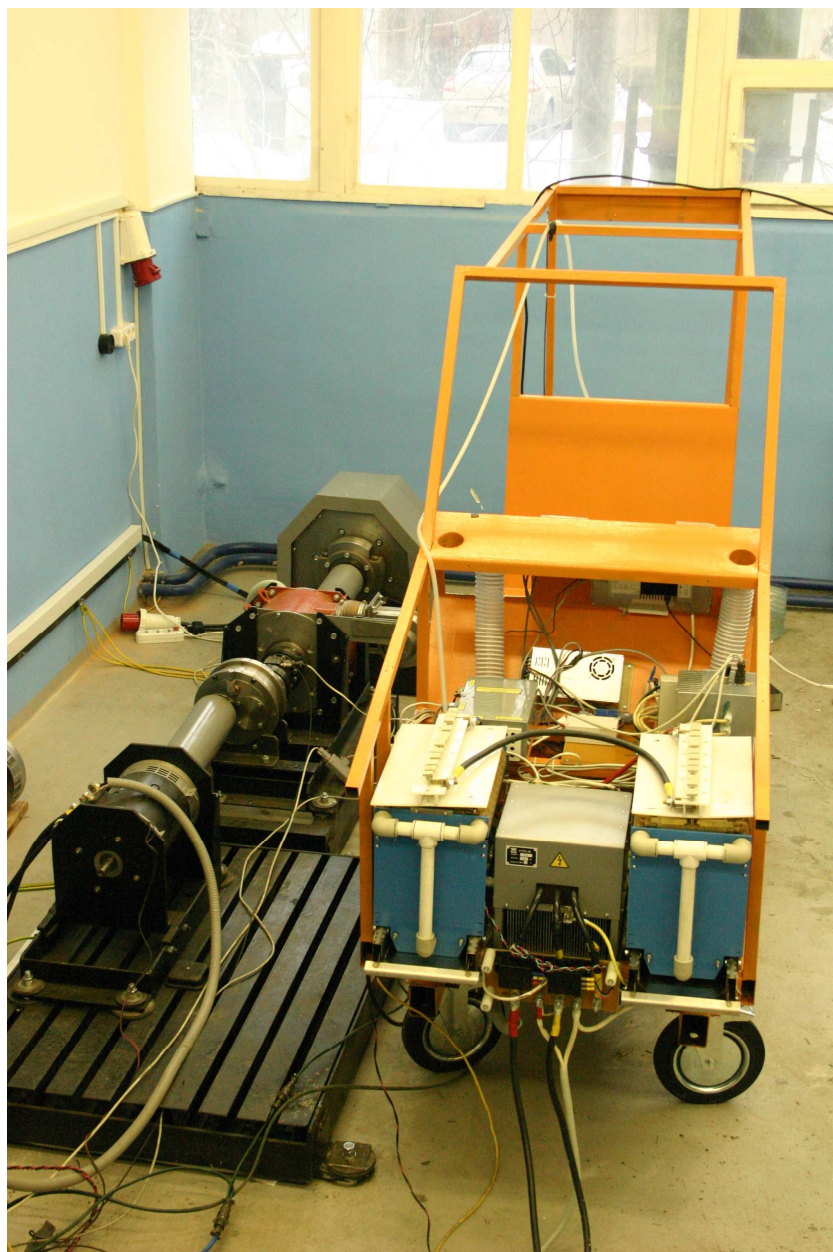


Рисунок 5 – Испытания опытного образца КТЭУ-20 на СИТС.

Проверка показателей назначения

а) Проверка энергоемкости КТЭУ-20

Проверка энергоемкости КТЭУ-20 произведена по методике проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов, разработанной в ОИВТ РАН.

Результаты измерения параметров ВА ЭХГ при работе на нагрузку представлены в табл. 2 и на рис. 6.

Таблица 2 – Измеряемые параметры ВА ЭХГ.

№ измерения	$U_{\text{ВА ЭХГ}}$, (В)	$I_{\text{ВА ЭХГ}}$, (А)	t_p , (час)	$E_{\text{ВА ЭХГ}}$, (Вт*ч)
1	25,8	66,2	1,0	1707,9
2	25,7	66,1	1,0	1701,3
3	25,6	66,0	1,0	1689,6
4	25,4	65,8	1,0	1671,3
5	25,2	65,6	1,0	1653,1
6	24,9	65,3	1,0	1625,9
7	24,6	64,9	1,0	1596,5
8	24,2	64,4	1,0	1558,5
9	23,8	63,8	1,0	1518,4
10	23,3	62,6	1,0	1458,6
11	22,7	60,1	1,0	1364,3
Итого энергоёмкость ВА ЭХГ				17545,4

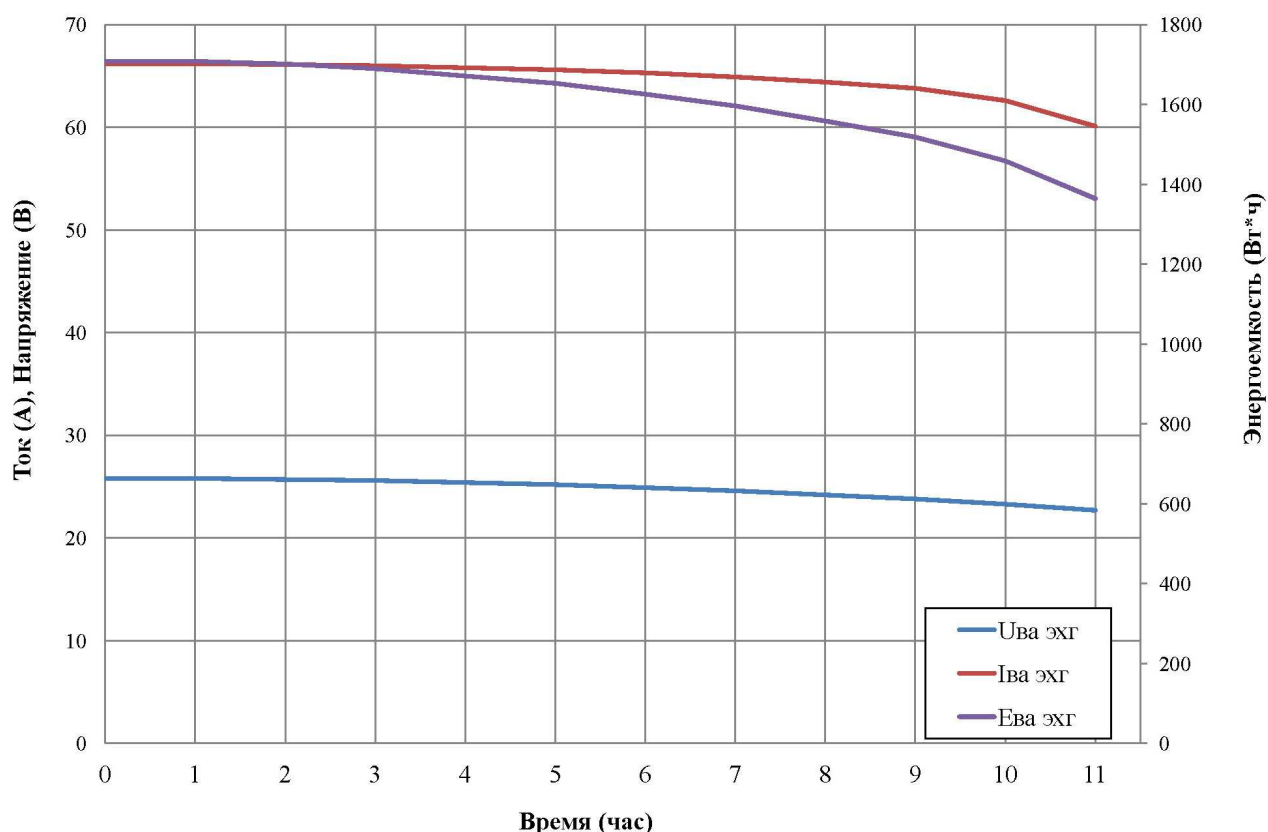


Рисунок 6 – Разрядные характеристики ВА ЭХГ опытного образца КТЭУ-20.

Суммарная энергоёмкость КТЭУ-20 (сумма энергоёмкости батареи свинцово-кислотных аккумуляторов и энергоёмкости ВА ЭХГ) по результатам

приемочных испытаний составляет 21193,4 Вт*ч, что удовлетворяет значению, заданному по ТЗ.

б) Проверка удельной энергоемкости КТЭУ-20

Проверка удельной энергоемкости КТЭУ-20 произведена по методике проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов и составляет 0,144 кВт*ч/кг, что удовлетворяет значению, заданному по ТЗ.

в) Проверка мощности КТЭУ-20

Проверка мощности КТЭУ-20 произведена по методике проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов.

Мощность КТЭУ-20 определялась опытным путем на стенде-имитаторе транспортного средства (СИТС), максимальным прожатием педали акселератора до достижения заданного техническим заданием значения мощности электродвигателя. Результаты испытаний приведены на рис. 7.

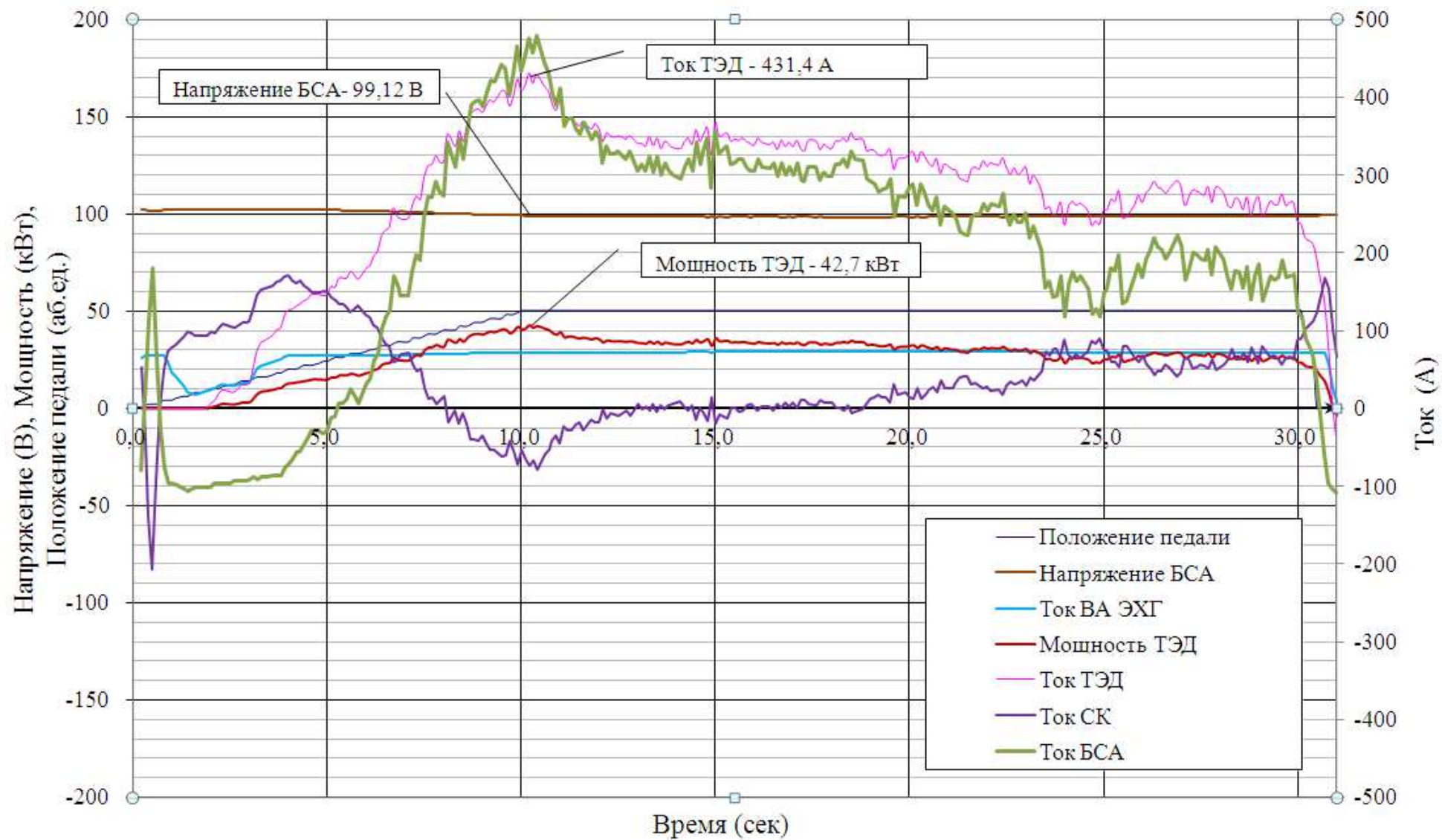


Рисунок 7 – Мощность опытного образца КТЭУ-20.

з) Проверка реализации городского цикла

Проверка реализации городского цикла произведена по методике проверки реализации городского цикла ЕСЕ-15, результаты проверки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты реализации городского ездового цикла ЕСЕ-15

Номер операции	Операция	Ускорение (м/с ²)	Скорость (км/ч)	Продолжительность каждой		Общая продолжительность (нарастающий итог) (с)
				операции (с)	фазы (с)	
1	Холостой ход	-	-	10,6	10,6	10,6
2	Ускорение	0,96	0 – 15,2	4,4	4,4	15,0
3	Постоянная скорость	-	15,2	8,0	8,0	23,0
4	Замедление	- 0,86	15,2 - 0	4,9	4,9	27,9
5	Замедление выключенным сцеплением с	-	-	-	-	-
6	Холостой ход	-	-	21,1	21,1	49,0
7	Ускорение	0,74	0 – 32,0	12,0	12,0	61,0
8	Переключение передачи	-	-	-	-	-
9	Ускорение	-	-	-	-	-
10	Постоянная скорость	-	32,0	23,5	23,5	84,5
11	Замедление	- 0,77	32,0 - 0	11,5	11,5	96,0
12	Замедление выключенным сцеплением с	-	-	-	-	-
13	Холостой ход	-	-	21,0	21,0	117,0
14	Ускорение	0,54	0 – 50,4	25,7	25,7	142,7
15	Переключение передачи	-	-	-	-	-
16	Ускорение	-	-	-	-	-
17	Переключение передачи	-	-	-	-	-
18	Ускорение	-	-	-	-	-
19	Постоянная скорость	-	50,4	12,3	12,3	155,0
20	Замедление	- 0,53	50,4 – 35,0	8,0	8,0	163,0
21	Постоянная скорость	-	35,0	13,1	13,1	176,1
22	Переключение передачи	-	-	-	-	-
23	Замедление	- 0,80	35,0 - 0	12,1	12,1	188,2
24	Замедление выключенным сцеплением с	-	-	-	-	-

25	Холостой ход	-	-	7,1	7,1	195,3
----	--------------	---	---	-----	-----	-------

Полученные значения скорости и времени операций не выходят за заданные допуски:

- по скорости - ± 2 км/ч;
- по времени операции - ± 1 с;
- пробег – 1,029 км.

д) Проверка пробега условного транспортного средства ТС

Проверка пробега условного транспортного средства ТС произведена по методике проверки реализации городского цикла ECE-15, проверки пробега имитатора ТС, оснащенного КТЭУ. На рис. 8 представлены результаты значений энергий, затраченных электрохимическими источниками КТЭУ-20 за четыре цикла. Пробег ТС, оснащенного КТЭУ-20, составил 225,5 км, что полностью удовлетворяет значению пробега, заданному по ТЗ.

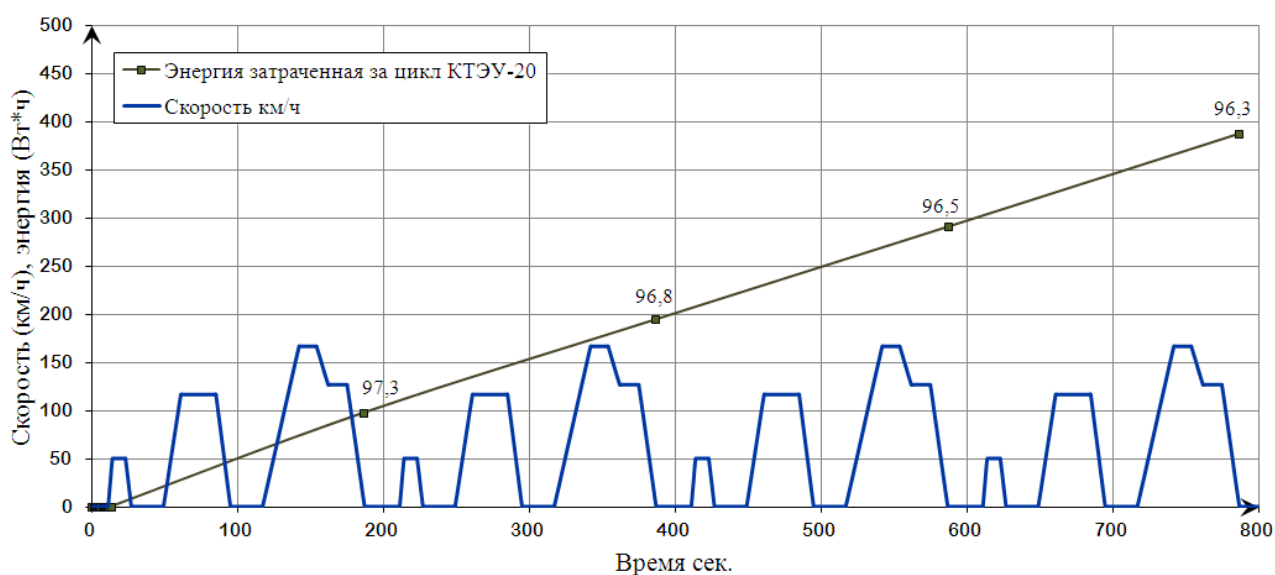


Рисунок 86 - Энергия, затраченная электрохимическими источниками КТЭУ-20 за 4 цикла ECE-15.

е) Проверка наличия выбросов CO₂, CO, HC, NO_x

Проверку наличия выбросов КТЭУ производилась с учётом методик определения масс окиси углерода, углеводородов и окислов азота в отработавших газах, выбрасываемых при выполнении автомобилем ездовых циклов, изложенных в ОСТ 37.001.054-86 и ГОСТ Р 41.83-2004.

ж) Проверка эквивалентного уровня шума

Проверка эквивалентного уровня шума с учётом методики определения уровней звуковой мощности источников шума, изложенной в ГОСТ Р 51402-99. Значения эквивалентного уровня шума составили не более 50 дБА.

Результаты проверки показателей назначения опытного образца КТЭУ-20 представлены в Протоколе №5/КТЭУ-20-2013 (*Приложение В*).

Проверка на стойкость к механическим воздействиям

Проверка на стойкость к механическим воздействиям проводилась по ГОСТ 16962.2 (метод 104-1), путем перевозки КТЭУ, смонтированной на раме - механическом имитаторе ТС, на автомашине Газель" ГАЗ-3302 по грунтовой дороге – на расстояние 50 км со средней скоростью 20 км/ч, с последующей проверкой работоспособности энергоустановки.

Результаты проверки опытного образца КТЭУ-20 на стойкость к механическим воздействиям представлены в Протоколе №6/КТЭУ-20-2013 (*Приложение В*).

Кроме того, была проведена проверка соответствия и комплектности технической документации (Протокол №1/КТЭУ-20-2013 *Приложения В*), проверка массы и занимаемого объема (Протокол №2/КТЭУ-20-2013 *Приложения В*), проверка герметичности КТЭУ-20 (Протокол №3/КТЭУ-20-2013 *Приложения В*), проверка электрических цепей (Протокол №4/КТЭУ-20-2013 *Приложения В*). Измеренные показатели полностью соответствуют параметрам, заданным по ТЗ (см. табл. 4).

Таблица 4. Значения измеренных показателей назначения.

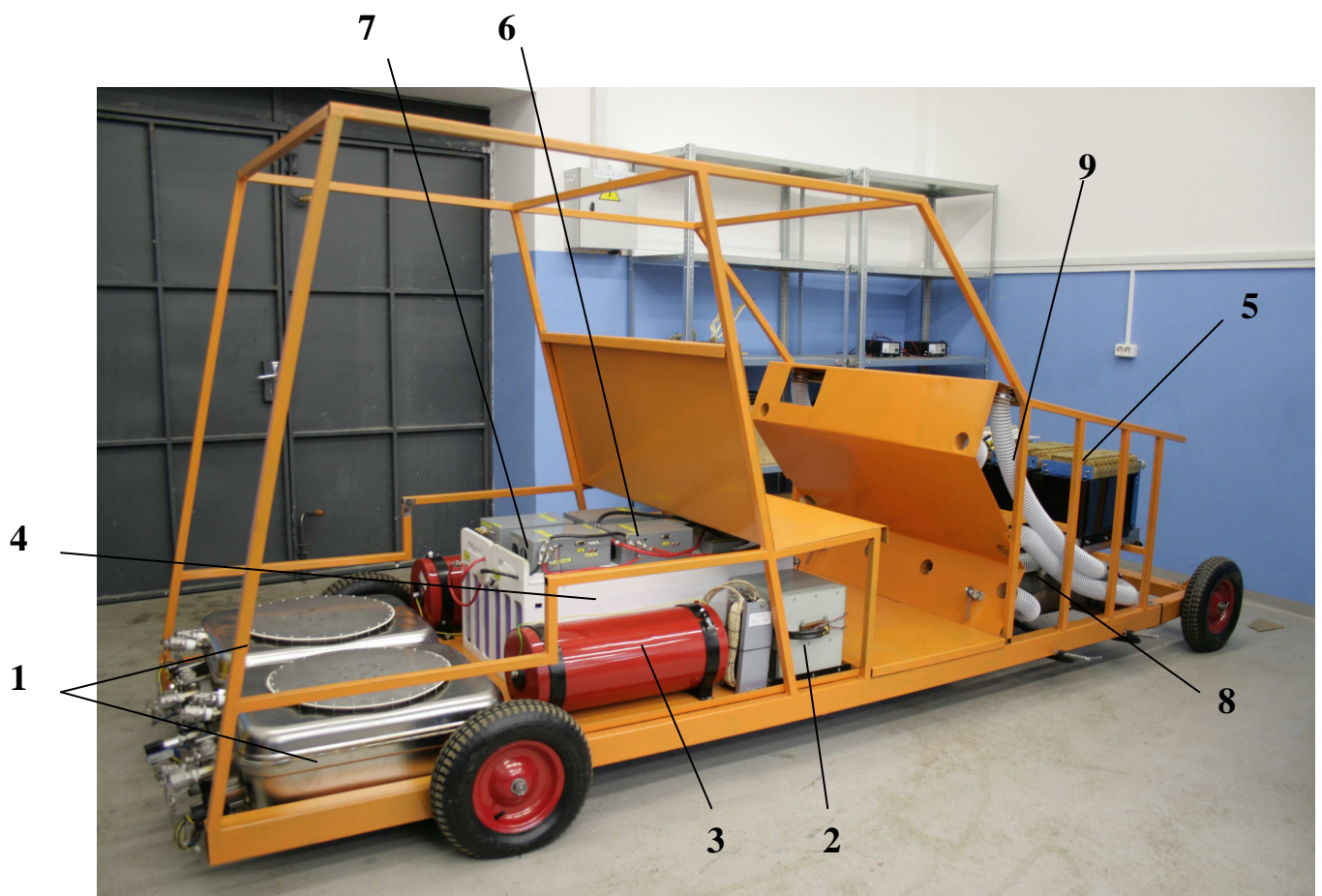
Наименование параметра	Значения заданные ТЗ	Измеренные значения	Значения заданные ТЗ	Измеренные значения
	КТЭУ-20		КТЭУ-40	
Энергоемкость КТЭУ, Вт*ч	20000	21193,4	46000	47769,4
Энергоемкость ВА ЭХГ, Вт*ч	17000	17545,4	36000	36105,4
Мощность КТЭУ, кВт	42	42,7	90	90,27

Удельная энергоёмкость электрохимических источников тока КТЭУ, Вт*ч/кг	140	144	250	254
Пробег ТС, оснащенный КТЭУ, км	200	225,5	200	283,3
Выбросы CO ₂ , CO, HC, NO _x	0	фоновые значения	0	фоновые значения
Эквивалентный уровень шума, дБА	не более 50	до 48,4	не более 50	до 49,1
Масса КТЭУ, кг	-	327,5	-	460,1
Масса энергоёмких электрохимических источников энергии, кг	-	147,0	-	187,3
Занимаемый объем, м ³	0,6	0,397	0,6	0,581

По результатам приемочных испытаний был составлен Акт приемочных испытаний опытного образца КТЭУ-20 № 2 (*Приложение В*). Разработаны и согласованы с Заказчиком технические условия (ТУ) на опытные образцы КТЭУ-20 (*Приложение В*).

2.2. Проведение приемочных испытаний опытного образца КТЭУ-40

Для проведения приемочных испытаний был предъявлен экземпляр №2 опытного образца КТЭУ-40 (рис. 9). Чертеж общего вида опытного образца КТЭУ-20 приведен в *Приложении Г*. Подтверждена готовность КТЭУ-40 к проведению испытаний (см. Акт готовности опытного образца КТЭУ-40 № 2 к проведению приемочных испытаний в *Приложении Г*).



1 – бак; 2 – УУСК; 3 – СК с органическим электролитом; 4 – литий-ионные БА; 5 – блок ВА ЭХГ; 6 – ЗП, 7 – УЗПРБ, 8 – радиатор, 9 – УУЭП.

Рисунок 9 – Опытный образец КТЭУ-40.

Проверка технических характеристик опытных образцов КТЭУ-20 (рис. 10) проводилась на стенде-имитаторе транспортного средства (СИТС).



Рисунок 10 – Испытания опытного образца КТЭУ-40 на СИТС.

Проверка показателей назначения

а) Проверка энергоемкости КТЭУ-40

Проверка энергоемкости КТЭУ-40 произведена по методике проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов, разработанной в ОИВТ РАН.

Результаты измерения разрядного тока и напряжения ВА ЭХГ-1 и ВА

ЭХГ-2 для КТЭУ-40, приведены в таблице 5 и на рисунке 11.

Таблица 5 – Измеряемые параметры ВА ЭХГ КТЭУ-40.

№ измер.	$U_{\text{ВА ЭХГ №1}}$, (В)	$I_{\text{ВА ЭХГ №1}}$, (А)	$U_{\text{ВА ЭХГ №2}}$, (В)	$I_{\text{ВА ЭХГ №2}}$, (А)	t_p , (час)	$E_{\text{ВА ЭХГ}}$, Вт*ч
1	25,9	66,1	25,7	65,8	1,0	3403,1
2	25,9	66,1	25,7	65,8	1,0	3403,1
3	25,9	66,1	25,6	65,7	1,0	3393,9
4	25,8	66,0	25,6	65,7	1,0	3384,7
5	25,8	66,0	25,5	65,5	1,0	3373,1
6	25,7	65,8	25,4	65,2	1,0	3347,2
7	25,6	65,7	25,2	64,8	1,0	3314,9
8	25,4	65,3	25,0	64,3	1,0	3266,1
9	25,1	64,7	24,7	63,6	1,0	3194,9
10	24,6	63,8	24,2	62,7	1,0	3086,8
11	23,9	62,7	23,4	61,5	1,0	2937,6
Итого суммарная энергоёмкость ВА ЭХГ КТЭУ-40						36105,4

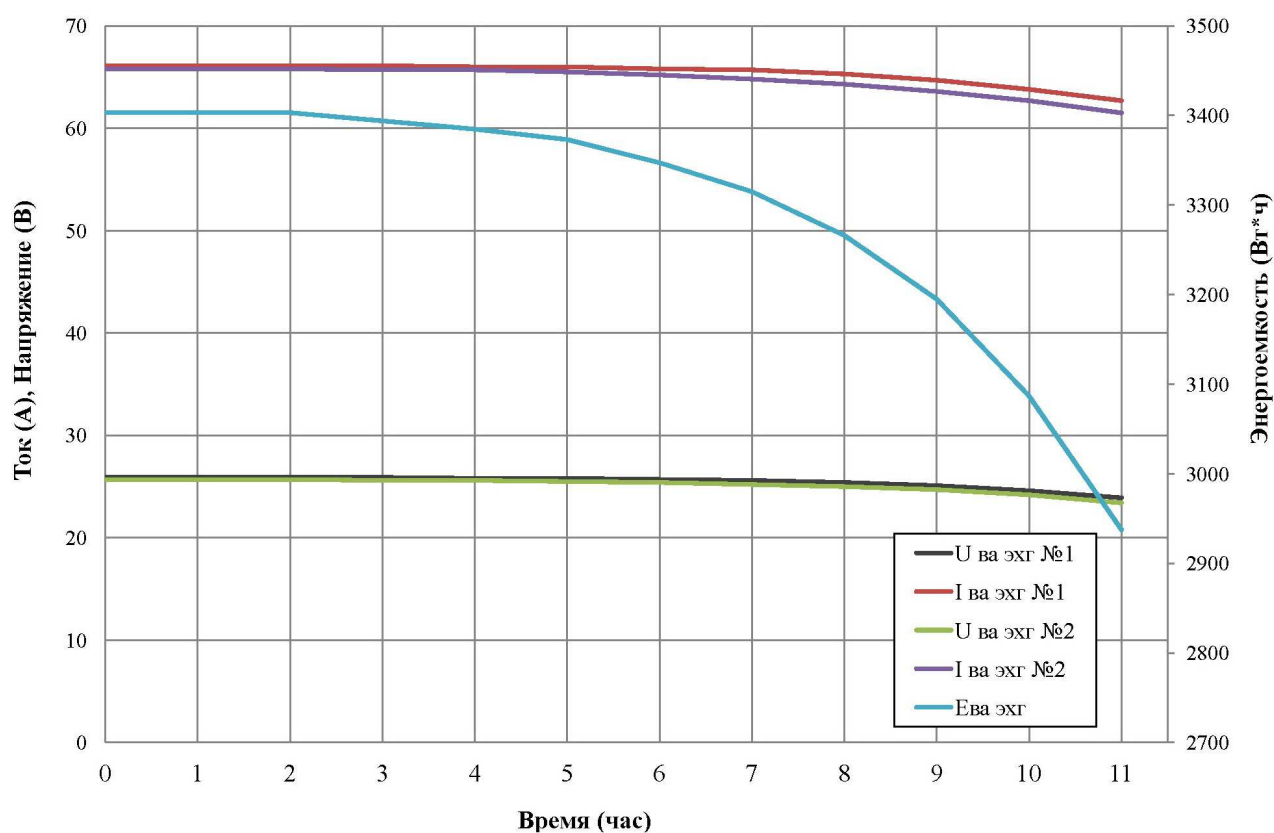


Рисунок 11 – Разрядные характеристики ВА ЭХГ опытного образца КТЭУ-40.

Суммарная энергоемкость КТЭУ-40 (сумма энергоемкости батарей литий-ионных аккумуляторов и энергоемкости ВА ЭХГ) по результатам приемочных испытаний составляет 47769,4 Вт*ч, что удовлетворяет значению, заданному по ТЗ.

б) Проверка удельной энергоемкости КТЭУ-40

Проверка удельной энергоемкости КТЭУ-40 произведена по методике проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов и составляет 0,254 кВт*ч/кг, что удовлетворяет значениям, заданным по ТЗ.

в) Проверка мощности КТЭУ-40

Проверка мощности КТЭУ-40 произведена по методике проверки энергетических параметров КТЭУ и их элементов.

Мощность КТЭУ-40 определялись опытным путем на стенде-имитаторе транспортного средства, максимальным прожатием педали акселератора до достижения заданного, техническим заданием, значения мощности электродвигателя. Результаты испытаний приведены на рис. 12.

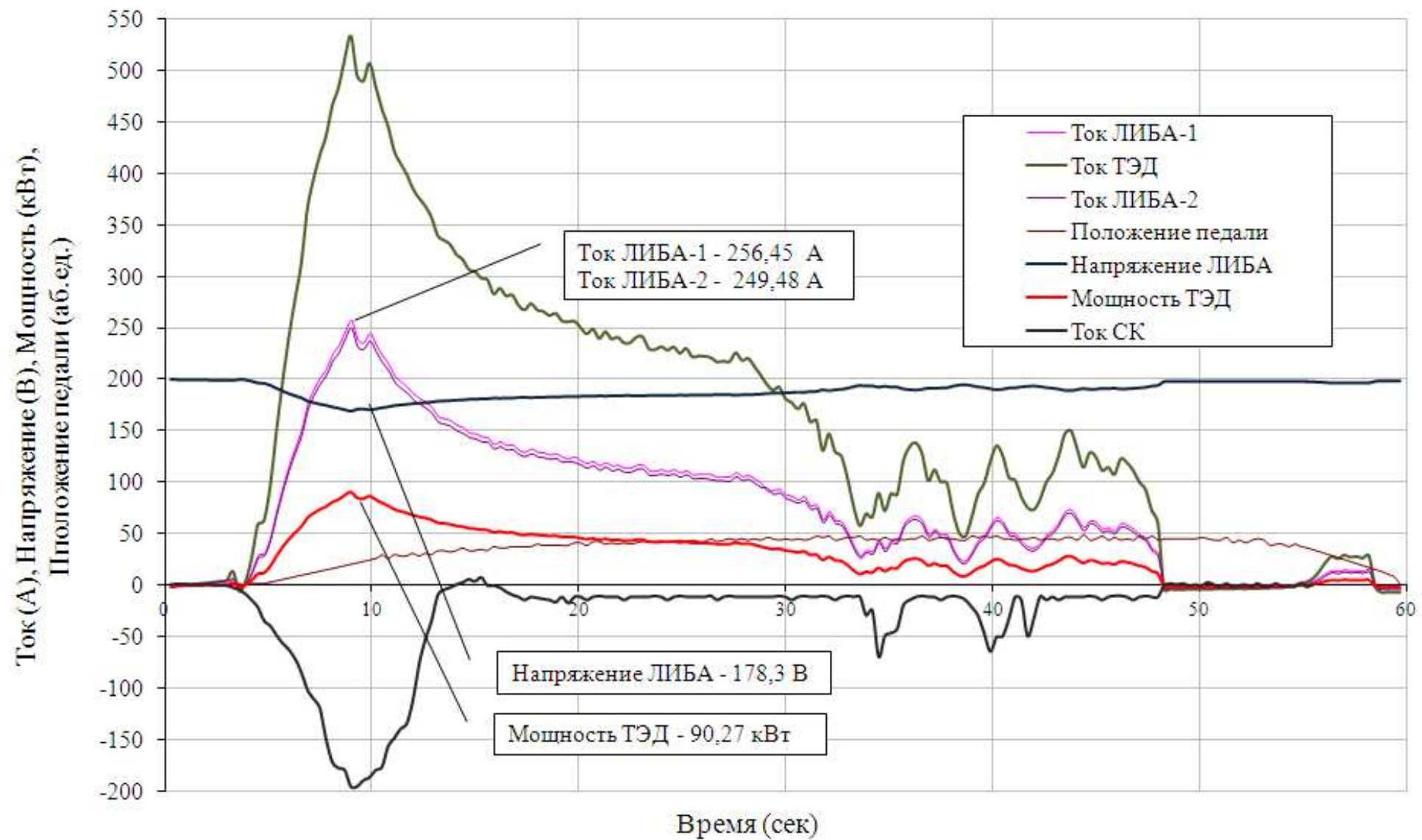


Рисунок 12 – Мощность опытного образца КТЭУ-40.

г) Проверка реализации городского цикла

Проверка реализации городского цикла произведена по методике проверки реализации городского цикла ЕСЕ-15, результаты проверки приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты реализации городского ездового цикла ЕСЕ-15.

Номер операции	Операция	Ускорение (м/с ²)	Скорость (км/ч)	Продолжительность каждой		Общая продолжительность (нарастающий итог) (с)
				операции (с)	фазы (с)	
1	Холостой ход	-	-	10,6	10,6	10,6
2	Ускорение	0,96	0 – 15,2	4,4	4,4	15,0
3	Постоянная скорость	-	15,2	8,0	8,0	23,0
4	Замедление	- 0,86	15,2 - 0	4,9	4,9	27,9
5	Замедление выключенным сцеплением	-	-	-	-	-
6	Холостой ход	-	-	21,1	21,1	49,0
7	Ускорение	0,74	0 – 32,0	12,0	12,0	61,0
8	Переключение передачи	-	-	-	-	-
9	Ускорение	-	-	-	-	-
10	Постоянная скорость	-	32,0	23,5	23,5	84,5
11	Замедление	- 0,77	32,0 - 0	11,5	11,5	96,0
12	Замедление выключенным сцеплением	-	-	-	-	-
13	Холостой ход	-	-	21,0	21,0	117,0
14	Ускорение	0,54	0 – 50,4	25,7	25,7	142,7
15	Переключение передачи	-	-	-	-	-
16	Ускорение	-	-	-	-	-
17	Переключение передачи	-	-	-	-	-
18	Ускорение	-	-	-	-	-
19	Постоянная скорость	-	50,4	12,3	12,3	155,0
20	Замедление	- 0,53	50,4 – 35,0	8,0	8,0	163,0
21	Постоянная скорость	-	35,0	13,1	13,1	176,1
22	Переключение передачи	-	-	-	-	-
23	Замедление	- 0,80	35,0 - 0	12,1	12,1	188,2
24	Замедление выключенным сцеплением	-	-	-	-	-
25	Холостой ход	-	-	7,1	7,1	195,3

Полученные значения скорости и времени операций не выходят за заданные допуски:

- по скорости - ± 2 км/ч;
- по времени операции - ± 1 с;
- пробег – 1,029 км.

д) Проверка пробега условного транспортного средства ТС

Проверка пробега условного транспортного средства ТС произведена по методике проверки реализации городского цикла ECE-15, проверки пробега имитатора ТС, оснащенного КТЭУ. На рис. 13 представлены результаты значений энергий, затраченных электрохимическими источниками КТЭУ-40 за четыре цикла. Пробег ТС, оснащенного КТЭУ-40, составил 283,3 км, что полностью удовлетворяет значению пробега, заданному по ТЗ.

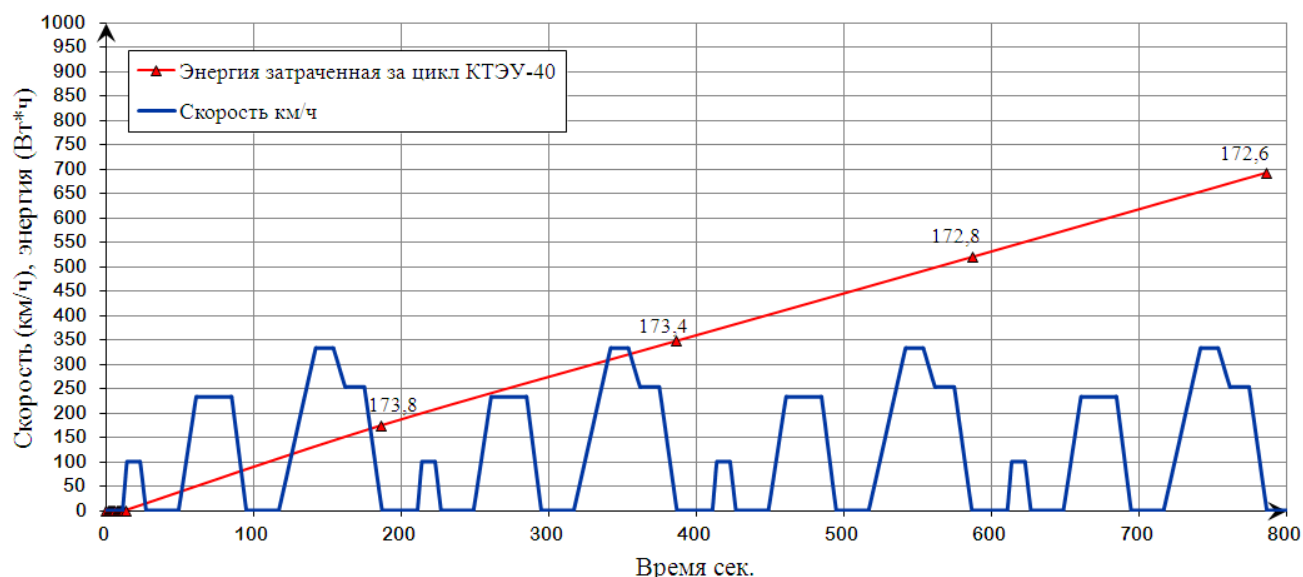


Рисунок 13 - Энергия, затраченная электрохимическими источниками КТЭУ-40 за 4 цикла ECE-15.

е) Проверка наличия выбросов CO₂, CO, HC, NO_x

Проверку наличия выбросов КТЭУ производилась с учётом методик определения масс окиси углерода, углеводородов и окислов азота в отработавших газах, выбрасываемых при выполнении автомобилем ездовых циклов, изложенных в ОСТ 37.001.054-86 и ГОСТ Р 41.83-2004.

ж) Проверка эквивалентного уровня шума

Проверка эквивалентного уровня шума с учётом методики определения уровней звуковой мощности источников шума, изложенной в ГОСТ Р 51402-99. Значения эквивалентного уровня шума составили не более 50 дБА.

Результаты проверки показателей назначения опытного образца КТЭУ-40 представлены в Протоколе №5/КТЭУ-40-2013 (*Приложение Г*).

Проверка на стойкость к механическим воздействиям

Проверка на стойкость к механическим воздействиям проводилась по ГОСТ 16962.2 (метод 104-1), путем перевозки КТЭУ, смонтированной на раме - механическом имитаторе ТС, на автомашине Газель" ГАЗ-3302 по грунтовой дороге - на расстояние 50 км со средней скоростью 20 км/ч, с последующей проверкой работоспособности энергоустановки.

Результаты проверки опытного образца КТЭУ-20 на стойкость к механическим воздействиям представлены в Протоколе №6/КТЭУ-40-2013 (*Приложение Г*).

Кроме того, была проведена проверка соответствия и комплектности технической документации (Протокол №1/КТЭУ-40-2013 *Приложения Г*), проверка массы и занимаемого объема (Протокол №2/КТЭУ-40-2013 *Приложения Г*), проверка герметичности КТЭУ-20 (Протокол №3/КТЭУ-40-2013 *Приложения Г*), проверка электрических цепей (Протокол №4/КТЭУ-40-2013 *Приложения Г*). Измеренные показатели для КТЭУ-40 полностью соответствуют параметрам, заданным по ТЗ (см. табл. 4).

По результатам приемочных испытаний был составлен Акт приемочных испытаний опытного образца КТЭУ-40 № 2 (*Приложение Г*). Разработаны и согласованы с Заказчиком технические условия (ТУ) на опытные образцы КТЭУ-40 (*Приложение Г*).

По результатам приемочных испытаний была откорректирована рабочая конструкторская документация на опытные образцы КТЭУ-20 и КТЭУ-40. Откорректированной РКД присвоена литера «О₁» (Акт о присвоении РКД литеры «О₁» приведен в *Приложении Д*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения государственного контракта № 16.526.12.6002 были разработаны и изготовлены опытные образцы комбинированных транспортных энергоустановок КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

1) Разработан эскизный проект комбинированных транспортных энергоустановок КТЭУ-20 энергоемкостью 20 кВт*ч и КТЭУ-40 энергоемкостью 46 кВт*ч.

2) Проведены патентные исследования основного элемента установки – воздушно-алюминиевому электрохимическому генератору (ВА ЭХГ). Показано, что некоторые из известных технических решений можно использовать при создании усовершенствованного воздушно-алюминиевого электрохимического генератора для экологически чистой КТЭУ.

3) По разработанным КД изготовили и провели пуско-наладку испытательных стендов:

- стенд отработки ПО микроконтроллеров;
- стенд-имитатор транспортного средства СИТС;
- стенд (блок) перезарядки ВА ЭХГ;
- стенд контроля качества анодов;
- стенд контроля качества катодов;
- стенд совместных электрохимических испытаний анодов и катодов.

Для данных стендов закуплено основное оборудование в соответствии с ведомостью покупных изделий на сумму ~2,8 млн.руб, а также изготовлены оригинальные устройства и компоненты: устройства механического сопряжения элементов стенда СИТС; электрохимические ячейки, шаблон сканирования поверхности катода, механизм вертикального перемещения бачка с электролитом, блок управления стендом контроля качества анодов и катодов; пост заправки и промывки ЭХГ и пост выгрузки-загрузки анодов стенда (блока) перезарядки ВА ЭХГ.

4) Разработана документация (эскизный проект, исходные и выполняющие модули программ, программа и методики (ПМ) испытаний), и

испытано программное обеспечение (ПО) системы управления КТЭУ. Результаты отладки ПО показали работоспособность ПО устройств КТЭУ и ЦДП.

5) По выбранным структурным схемам КТЭУ-20, КТЭУ-40 разработан технический проект энергоустановок, соответствующий требованиям ТЗ. Определен вариант конструктивного исполнения ВА ЭХГ – сплит-система, в которой воздушно-алюминиевые батареи выполнены в виде автономных конструктивных узлов.

6) Разработана рабочая конструкторская документация (РКД) на КТЭУ. При разработке РКД было учтено, что применение литий-ионных аккумуляторных батарей и суперконденсатора с органическим электролитом позволило увеличить практически в 2 раза удельные характеристики КТЭУ-40 по сравнению с КТЭУ-20 (удельная энергоемкость возросла со 144 до 254 Вт*ч/кг, а удельная мощность увеличилась с 294 до 566 Вт/кг, что подтверждено результатами приемочных испытаний) без существенного увеличения массогабаритных параметров КТЭУ-40.

7) По разработанным технологическим процессам создана технологическая документация (ТД) на изготовление КТЭУ. При разработке технологической документации были выполнены следующие работы: а) прокатка анодных сплавов и лазерный раскрой анодов, позволяющие улучшить антикоррозионные характеристики анодов; б) изменение технологии изготовления катодов с целью повышения удельных характеристик электродов (снижение температуры отжига сажи до 350 °С, исключение процесса отжига сеток, отмена промывки сажи ультразвуком перед замесом).

8) Разработаны проекты технических условий (ТУ) и эксплуатационной документации (ЭД) в составе:

- техническое описание (ТО);
- руководство по эксплуатации (РЭ);
- паспорт (ПС).

В разработанных проектах ТУ основным параметром является

энергоёмкость: 20 кВт·ч для опытного образца КТЭУ-20 и 46 кВт·ч для опытного образца КТЭУ-40. При подготовке проектов ТУ была разработана комплектность поставки изделий потребителю и упаковочные чертежи для элементов КТЭУ в частности, а также на энергоустановки КТЭУ-20 и КТЭУ-40 в целом.

При подготовке проектов ТО и РЭ были разработаны схемы и рисунки систем и элементов КТЭУ, поясняющих принципы функционирования энергоустановок, технологию перезарядки ВА ЭХГ сменными анодами, места и способы обслуживания КТЭУ. В проекте РЭ определены эксплуатационные ограничения, например, для опытного образца КТЭУ-20 максимальный момент на валу ТЭД должен быть не более 93 Н·м, а для опытного образца КТЭУ-40 – не более 210 Н·м. Разработанная эксплуатационная документация выполнена в соответствии с ТЗ, и позволяет подготовить обслуживающий персонал для работы с энергоустановками КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

9) Изготовлены опытные образцы КТЭУ-20 и КТЭУ-40 (по 2 экземпляра каждого) из приобретенных комплектующих и расходных материалов на общую сумму 15 106 437 рублей на базе опытного производства ОИВТ РАН. Элементы КТЭУ смонтированы на мобильных технологических рамах, что позволяет оперативно перемещать испытываемые опытные образцы КТЭУ между испытательными стендами.

10) По разработанной программе и методикам (ПМ) испытаний проведены предварительные испытания опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40, в процессе которых измерялись основные показатели назначения: энергоёмкость, мощность, удельная энергоёмкость, пробег ТС эквивалентный уровень шума, масса, объем.

11) По результатам предварительных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40 была выявлена необходимость доработки элементов опытных образцов КТЭУ: топливных элементов, блоков, радиаторов и баков ВА ЭХГ, а именно:

1) по топливному элементу ВА ЭХГ:

- уменьшить размер катода;
- изменить технологию клейки катода в рамку топливного элемента;
- дополнительно защитить хвостовик анода от воздействия щелочи.

2) по блоку ВА ЭХГ:

- увеличить усилия токопроводящих шин на корпусе анодного узла;
- изменить месторасположение посадочных мест для установки блока ВА ЭХГ на платформу;
- ослабить усилие пружин поджатия электроконтактов корпуса анодного узла блока ВА ЭХГ;
- учесть в конструкции платформы, компенсацию свободных размеров посадочных мест блока.

3) по радиатору ВА ЭХГ:

- изменить схему сборки коллекторов радиатора.

4) по баку ВА ЭХГ:

- изменить технологию сварки элементов бака;
- обеспечить теплозащиту бака.

По результатам предварительных испытаний была проведена корректировка РКД и ЭД опытных образцов КТЭУ.

12) Разработана и согласована с Заказчиком ПМ приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40. В состав ПМ вошли семь методик, две из которых разработаны в ОИВТ РАН, а пять являются стандартизированными.

13) Проведены маркетинговые исследования рынка комбинированных транспортных энергоустановок, показывающие, что востребованный годовой объем выпуска разработанной продукции составляет примерно 2500 шт/год.

Разработанный бизнес-план показал высокую эффективность инвестиционного проекта: срок окупаемости инвестиций – 4 года, внутренняя норма доходности – 16 %.

Разработаны алгоритмы подготовки опытного производства для изготовления КТЭУ, для чего разработана функциональная модель подготовки опытно-промышленного производства для изготовления КТЭУ. В модели

рассмотрены вопросы конструкторской, технологической и организационной подготовки опытно-промышленного производства.

14) Проведена подготовка экспериментальной базы и испытательных стендов к проведению приемочных испытаний опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40, включающая выполнение следующих работ:

- подготовка к проведению испытаний на стойкость к механическим воздействиям;
- подготовка площадки для проверки массы опытных образцов КТЭУ, проверки наличия выбросов вредных веществ, и эквивалентного уровня шума;
- подготовка помещения для организации диспетчерского пункта приема телеметрических сигналов от опытных образцов КТЭУ;
- изготовление и монтаж защитных экранов на опытные образцы КТЭУ и стенд СИТС;
- проверка готовности измерительного оборудования к проведению приемочных испытаний для проверки показателей назначения;
- разработка и монтаж стенда для проведения гидравлических испытаний системы подачи электролита ВА ЭХГ опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40.

15) В соответствии с планами-графиками, разработанными на шестом этапе, с 11 по 20 марта 2013 в ОИВТ РАН проведены приемочные испытания опытных образцов КТЭУ-20 и КТЭУ-40. Параметры КТЭУ, достигнутые при проведении приемочных испытаний, полностью соответствуют показателям, заданным по ТЗ: при заданных значениях энергоемкости для КТЭУ-20/КТЭУ-40 20000/46000 Вт*ч, измеренные значения составили 21193,4/47769,4 Вт*ч соответственно, а при заданном пробеге ТС, оснащенного КТЭУ-20/КТЭУ-40 200 км, измеренное значение пробега для КТЭУ-20 составило 225,5 км, а для КТЭУ-40 283,3 км.

В целом, работы по контракту выполнены на высоком научно-техническом уровне, в полном объеме, в установленные сроки, в строгом соответствии с Техническим заданием. Содержание работ соответствует

Календарному плану выполнения работ. Отчет готов для представления в Министерство образования и науки Российской Федерации.

Достигнутые при выполнении работ по контракту положительные научно-технические результаты работы позволяют заключить, что контракт успешно выполнен и должен быть переведен в стадию коммерциализации.