

**ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы».**

**Соглашение о предоставлении субсидии от 17.06.2014 г. № 14.574.21.0014.**

**Тема: «Разработка методов оценки энергетических и экологических свойств комбинированных энергоустановок на основе теории оптимального управления».**

В результате научно-исследовательской работы на этапе №2 «Адаптация методов теории оптимального управления для исследования свойств комбинированных энергоустановок» выполнены следующие работы:

- проведен анализ систем и компонентов, разрабатываемых и выбираемых при создании комбинированных энергоустановок для транспортных средств, обоснована ключевая роль алгоритма управления КЭУ в формировании топливно-экономических и экологических свойств транспортного средства;
- проведен анализ процесса разработки КЭУ, выявлена необходимость формирования и/или корректировки управления КЭУ на каждом шаге этого процесса и при каждом изменении в структуре и компонентном составе КЭУ;
- обоснована необходимость применения методов теории оптимального управления при формировании управления КЭУ на каждом шаге процесса ее разработки;
- проведен анализ методов теории оптимального управления в аспекте опыта ее применения к исследованию, созданию и управлению КЭУ; обоснован выбор метода (динамическое программирование) для данной работы;
- выбраны схемы энергоустановок, сравнительная оценка свойств которых должна быть проведена в рамках проекта;
- разработаны и реализованы на ЭВМ математические модели силовых приводов исследуемых энергоустановок;

- проанализированы, обработаны и реализованы на ЭВМ характеристики, моделирующие свойства компонентов энергоустановок;
- алгоритм динамического программирования был адаптирован для поиска оптимальных управлений исследуемых энергоустановок;
- на базе моделей и алгоритма ДП разработана программа поиска оптимального управления энергоустановок транспортных средств (описание в документе "Программная документация на программное обеспечение для алгоритма оптимального управления КЭУ");
- определены моделируемые испытания и сформированы исходные данные;
- с помощью разработанной программы проведено сравнительное исследование оптимального управления базовой и комбинированной энергоустановками с определением их топливно-экономических и экологических свойств;
- проведен анализ результатов исследования, сделаны выводы о влиянии КЭУ на характеристики транспортного средства, выбрана схема КЭУ, рекомендуемая для реализации на опытном образце транспортного средства;
- разработана методика сравнительной оценки топливно-экономических и экологических свойств транспортных средств с КЭУ посредством оптимального управления (документ "Методика сравнительной оценки комбинированных энергоустановок транспортных средств в аспектах топливно-энергетических и экологических свойств на начальной стадии разработки");
- обзор результатов предварительных исследований по данной работе был опубликован в сборнике статей международной ассоциации SAE (документ "Статья SAE Technical Paper (входит в базу Scopus)").

По результатам проведенных работ и выполненных задач сделаны следующие общие выводы:

- теория оптимального управления может успешно и эффективно применяться при проектировании комбинированных энергоустановок,

исследовании их свойств и создании алгоритмов управления ими. Чем сложнее структура (схема) и компонентный состав исследуемой КЭУ, тем больше преимуществ оптимальное управление имеет перед эвристическим (rule-based). Аналитические основания математического аппарата теории оптимального управления обеспечивают нахождение глобальных минимумов (глобальных экстремумов функций) ключевых для КЭУ показателей – расхода топлива и выбросов вредных веществ.

– включение в целевую функцию корректирующих конструкций, которые регулируют ее значение в зависимости от выбираемых режимных точек компонентов, позволяет влиять на «поведение» КЭУ, приближая оптимальное управление к алгоритму, который можно будет использовать «онлайн». Корректирующие функции позволяют модифицировать математический поиск критериями инженерного опыта, что немаловажно для создания качественного алгоритма, ориентированного на использование в потребительской продукции.

– в текущей реализации программы процесс поиска оптимального управления слишком длителен (особенно в длинных ездовых циклах с широким диапазоном изменения SOC) для проведения серий вычислений с большими наборами варьируемых параметров. Для решения этой проблемы представляется целесообразным в дальнейшем применить в программе ДП-поиска технологии многоядерных вычислений как на CPU (4-6 высокочастотных ядер), так и на GPU (от нескольких сотен до нескольких тысяч среднечастотных ядер в технологии NVIDIA CUDA).

– в свете будущих разработок алгоритмов и систем управления для КЭУ целесообразно провести углубленное изучение аналитической теории оптимального управления (принцип максимума Понтрягина) и освоение ее методов для «онлайн»-оптимизации режимов работы КЭУ и ее компонентов.