

## Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

**Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)**  
14.576.21.0049

### **Название проекта**

Прикладные научно-технические разработки в обеспечение создания энергоблока мощностью 300 МВт с сверхкритическими параметрами пара на базе угольных котлов с газовым перегревом пара и получением коэффициента полезного действия не менее 53%

### **Тематическое направление**

Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика

### **Исполнитель**

Закрытое акционерное общество Научно-производственное внедренческое предприятие "Турбокон"

### **Цели и задачи исследования**

Цели работы:

- создание научно-технического задела в области разработки энергоблоков с сверхкритическими параметрами пара, обеспечивающих КПД выработки электроэнергии не менее 53 %;
- создание научно-технического задела в области разработки высокотемпературных (1250/1450°C) охлаждаемых газопаровых турбин, работающих на смеси пара и продуктов сгорания газа в его среде для энергоблоков с котлами на угольном топливе.

Задача ПНИ состоит в исследовании наиболее значимых процессов и выработке оптимальных технических решений при создании экологически чистой высокотемпературной газопаротурбинной установки мощностью 300 МВт (ГПТУ-300) для энергоблоков с котлами на угольном топливе и газовым перегревом пара, а именно:

- оптимизация тепловой схемы и параметров установки;
- исследование высокотемпературной паротурбинной установки на парогазовой смеси, содержащей до 15-20 % неконденсирующихся газов;
- разработка новых принципов проектирования высокоэффективных конденсаторов пара с большим (до 15-20 %) содержанием неконденсирующихся газов;
- исследование экспериментального образца камеры сгорания  $\text{CH}_4\text{-O}_2$  в смеси с водяным паром;
- исследование экспериментального образца системы удаления и подготовки к утилизации неконденсирующихся газов.

### **Актуальность и новизна исследования**

Актуальность настоящего проекта обусловлена необходимостью создания экологически чистой энергоустановки с коэффициентом полезного действия по выработке электроэнергии, превышающим современные мировые достижения.

Новизна планируемых результатов ПНИ определяется использованием сжигания метана и кислорода в среде пара и достижением за счет этого высокой температуры парогазовой смеси, использованием системы подготовки охладителя лопаток, интегрированной с системой регенерации тепла, высокоэффективных конденсаторов пара из парогазовой смеси, содержащей 15-20% неконденсирующихся газов, наличием системы удаления и утилизации двуокси углерода, образующейся при сжигании метана.

## Описание исследования

По Соглашению 14.576.21.0049 выполнены следующие работы:

- проведен анализ научно-технической и патентной литературы по теме проекта с обоснованием выбора направления исследований;
- разработана эскизная конструкторская документация на экспериментальные образцы высокотемпературной паротурбинной установки (ВПТУ) при работе на парогазовой смеси с большим (до 15-20%) содержанием неконденсирующихся газов, высокоэффективного конденсатора пара с большим (до 15-20%) содержанием неконденсирующихся газов (НКГ), камеры сгорания  $\text{CH}_4 + \text{O}_2$  в смеси с водяным паром, системы удаления и подготовки к утилизации НКГ;
- разработана эскизная конструкторская документация на стенды для исследования работы экспериментальных образцов;
- разработаны программы и методики и проведены экспериментальные исследования всех вышеперечисленных экспериментальных образцов;
- разработан эскизный проект опытно-промышленного образца высокотемпературной (1000/1250°C) газопаротурбинной установки мощностью 25 МВт для накопления опыта разработок и эксплуатации энергокомплексов такого типа.

На заключительном пятом этапе выполнены следующие работы:

- обобщены результаты исследований экспериментальных образцов оборудования:
  - высокотемпературной паротурбинной установки (ВПТУ) при работе на парогазовой смеси с большим (до 15-20%) содержанием неконденсирующихся газов,
    - высокоэффективного конденсатора пара с большим (до 15-20%) содержанием неконденсирующихся газов (НКГ) - рис. 1,
    - камеры сгорания  $\text{CH}_4 + \text{O}_2$  в смеси с водяным паром,
    - системы удаления и подготовки к утилизации НКГ;
- определены технические характеристики высокотемпературной (1250/1450°C) газопаротурбинной установки для угольных энергоблоков с газовым перегревом пара мощностью 300 МВт с КПД 54% (рис. 2), сделана оценка полноты решения задачи и достижения поставленных целей ПНИ;
- разработаны технические требования и предложения по производству и эксплуатации продукции с учётом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера – ОАО «Калужский турбинный завод»;
- разработаны технико-экономическое обоснование и проект технического задания на создание высокотемпературной газопаротурбинной установки мощностью 300 МВт для энергоблоков с котлами на угольном топливе и газовым перегревом острого пара и промперегревом (1250/1450°C), обеспечивающего КПД выработки электроэнергии не менее 53% и утилизацию не менее 98%  $\text{CO}_2$  из отработавшей в турбине парогазовой смеси»;
- выполнено технико-экономическое обоснование на тему: «Перспективные высокотемпературные газопаровые турбины в территориальных генерирующих компаниях».

Анализ экономических показателей свидетельствует о том, что себестоимость электроэнергии от ГПТУ-300-1250/1450°C меньше аналогичных показателей для современных ПГУ с КПД до 57% при

отношении цен угля  $C_y$  к цене газа  $C_r$  (приведенная к 1 т.у.т) до  $\frac{C_y}{C_r} \leq 0,8$

По сравнению с наиболее современными зарубежными парогазовыми установками с КПД до 60% предложенная технология имеет несколько меньший КПД, но обладает следующими преимуществами:

- более низкой удельной стоимостью установленного киловатта;
- отсутствием выбросов  $CO_2$  в окружающую среду от высокотемпературной надстройки;
- более высоким КПД высокотемпературной надстройки, т.е. более эффективным использованием газового топлива.



Рис. 1 - Экспериментальный образец высокоэффективного конденсатора пара с большим (до 15-20%) содержанием неконденсирующихся газов на стенде

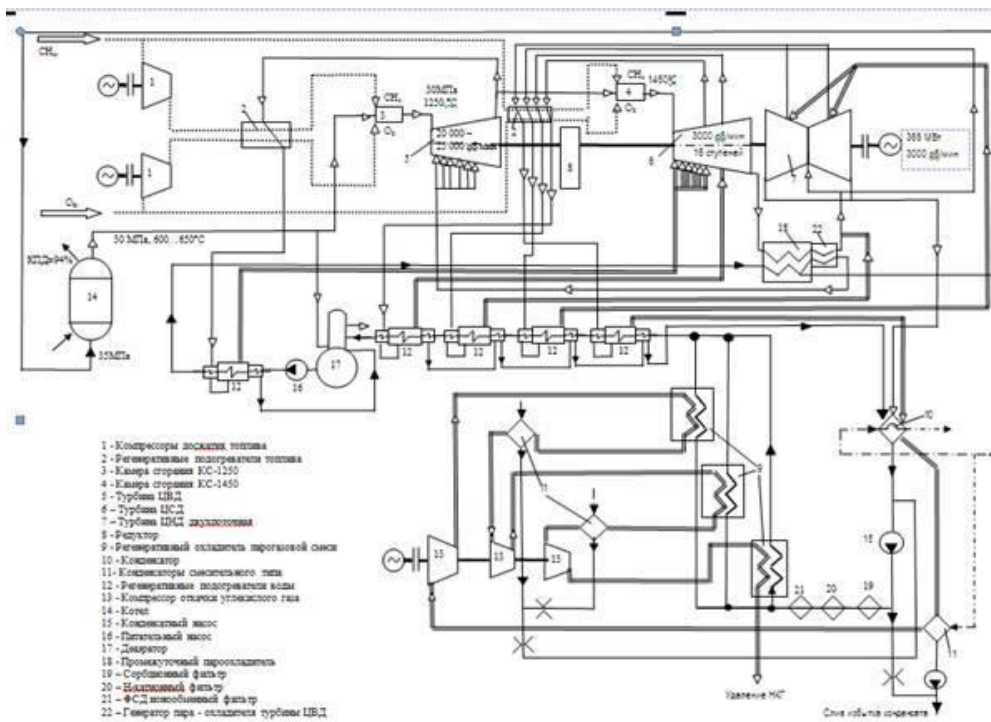


Рис. 2 - Тепловая схема ГПТУ-300 – двухвальный вариант

## Результаты исследования

На основе проведенных исследований получены следующие результаты:

- разработана схема и проведены оптимизация параметров опытного образца высокотемпературной газопаротурбинной установки мощностью 25 МВт на температуру 1000/1250°C, подтвержден коэффициент полезного действия установки 51%;
- разработаны принципы проектирования высокоэффективного конденсатора пара из парогазовой смеси с содержанием НКГ до 20%;
- разработаны технико-экономическое обоснование и техническое задание на опытно-конструкторские работы по созданию высокотемпературных газопаротурбинных установок (ГПТУ) мощностью 300 МВт с котлом на угольном топливе и газовым перегревом пара до 1250/1450°C, а КПД не ниже 53% и утилизацией CO<sub>2</sub> на выходе из ГПТУ.

На заключительном пятом этапе работ проведено обобщение результатов исследований и получены следующие данные:

- коэффициент теплопередачи в конденсаторе парогазовой смеси с содержанием до 20 % неконденсирующихся газов составил не менее 2400 Вт/м<sup>2</sup>К при скорости воды 1,5 м/с;
- степень утилизации CO<sub>2</sub> в абсорбере системы удаления неконденсирующихся газов достигает 98 % при наличии в смеси до 20 % паров воды;
- выявлены важные составляющие процесса горения смеси CH<sub>4</sub> – O<sub>2</sub> в среде водяного пара: установлено, что в присутствии паров H<sub>2</sub>O имеет место процесс образования водорода в диапазоне температур смеси 600÷800°C;

- КПД разработанных установок ГПТУ-25 составляет 51%, а ГПТУ-300 составляет не менее 54% (нетто) при утилизации выбросов  $\text{CO}_2$  в окружающую среду.

### **Практическая значимость исследования**

Результаты ПНИ планируется использовать на опытно-промышленном образце высокотемпературной (1000/1250 оС) газопаротурбинной установке мощностью 25 МВт, на которой будет исследована и отлажена совместная работа всех систем применительно к созданию ГПТУ-300 МВт. Внедрение угольных энергоблоков мощностью 300 МВт с ультрасверхкритическими параметрами пара с газовым перегревом пара и промперегревом (1250/1450 оС) с высокотемпературной охлаждаемой турбиной, обеспечивающих КПД выработки электроэнергии не менее 53 % и утилизацию не менее 98 %  $\text{CO}_2$ , обоснован тем, что эта технология имеет лучшие в мире технико - экономические характеристики по использованию газообразного или жидкого