В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии от 26.09.2017 № 14.604.21.0162 с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» на этапе № 2 в период с 01.01.2018 по 31.12.2018 выполнены следующие работы:

**Основные проведенные работы и полученные результаты:**

Проект направлен на повышение эффективности и экологичности способов сжигания органического топлива и создание научно-технического задела для повышения эффективности применения находящегося в эксплуатации технологического оборудования топливно-энергетического комплекса, и, как следствие, снижение экологической нагрузки за счет повышения экологичности и безопасности существующих энергетических технологий.

Целью реализуемого проекта является разработка программно-технических решений по созданию Системы контроля эффективности и экологичности работы энергетических котлов на основе применения современных нейросетевых методов.

В рамках выполнения работ по проекту разработаны методика и алгоритм оценки состояния пламени по изображениям пламени на базе глубоких нейронных сетей, а также алгоритм динамической настройки ПИД-регулятора для управления подачей воздуха в горелку и методика управления режимом горения путем динамического задания коэффициентов, пропорционально-интегрально-дифференцирующего (ПИД) регулятора на его основе. Созданы программные реализации разработанных алгоритмов и проведены их испытания в составе системы контроля эффективности и экологичности работы энергетических котлов на газовом и угольном горелочном стендах. На основании полученных результатов сформулированы рекомендации и предложения по использованию результатов ПНИ в реальном секторе экономики и разработан проект технического задания на опытно-конструкторские работы по теме: «Разработка системы контроля эффективности и экологичности работы энергетических котлов на основе современных методов машинного обучения».

1. Согласно результатам проведенных испытаний созданная программная реализация алгоритма оценки состояния пламени по изображениям пламени на базе глубоких нейронных сетей при использовании соответствующей методики позволяет корректно классифицировать режимы горения по изображениям пламени со средней точностью на уровне 95 % при средней скорости классификации изображений более 1 изображения в секунду. Программная реализация алгоритма динамической настройки коэффициентов ПИД-регулятора для управления подачей воздуха в горелку позволила осуществить динамический контроль работы воздуходувки, в условиях испытаний обеспечить время выхода на уставку порядка 20 секунд и обеспечить поддержание режима по расходу воздуха с точностью на уровне 0,4 %.
2. В работе использованы современные методы машинного обучения. Предложенное решение по оценке состояния пламени по изображениям пламени с использованием сверточной нейронной сети является новым, хотя сам алгоритм сверточных нейронных сетей активно применяется в большом числе других приложений. Новизной также обладает и методика динамической настройки ПИД-коэффициентов, которая потенциально способна демпфировать существенно нелинейные эффекты в цепи управления.
3. В соответствии с техническим заданием алгоритм автоматической оценки состояния пламени и его программная реализация созданы на базе современных методов машинного обучения. Полученные характеристики (характерное время обучения и вероятность корректной классификации режимов), превосходят требования технического задания (4.2.1 и 4.2.5.5 ТЗ). Алгоритм настройки ПИД-коэффициентов в соответствии с п. 4.1.3 ТЗ позволяет динамически задавать коэффициенты пропорциональности между входным и выходным сигналом и постоянные времени интегрирования/дифференцирования. Программная реализация алгоритма отвечает техническим требованиям п. 4.2.5.5 и п. 4.2.1 ТЗ. Техническое задание на ОКР по теме «Разработка системы контроля эффективности и экологичности работы энергетических котлов на основе современных методов машинного обучения» разработано в соответствии с требованиями п. 6.1.4 ТЗ.
4. Полученные результаты соответствуют мировому уровню исследовательских работ в рассматриваемой области. В настоящее время активно ведутся исследования, целью которых является совершенствование промышленных технологий с использованием машинного обучения и элементов искусственного интеллекта. Аналогичные работы с использованием различных методов и алгоритмов машинного обучения активно ведутся в Китае, США, и других странах, для которых наиболее актуально создание новых методов и инструментов совершенствования технологических процессов на предприятиях ТЭК.

**Охраноспособные результаты интеллектуальной деятельности (РИД), полученные в рамках прикладного научного исследования и экспериментальной разработки**

Изобретение заявка № 2018143526 от 10.12.2018 «Автоматическая система управления процессом сжигания пылеугольного топлива в камерах сгорания», РФ

Изобретение заявка № 2018143528 от 10.12.2018 «Система мониторинга режимов горения топлива путем анализа изображений факела при помощи классификатора на основе сверточной нейронной сети», РФ

Программа для ЭВМ свидетельство № 201866880 от 21.12.2018, Заявка № 2018664174 от 10.12.2018, «Программа мониторинга режимов горения на основе методов машинного обучения (FlameSense)», РФ

**Назначение и область применения результатов проекта**

1. Предполагается использование полученных результатов в области автоматизации технологических процессов на предприятиях ТЭК России, в частности – крупных угольных ТЭС.
2. В настоящее время работы находятся на стадии научных исследований. Имеются перспективы внедрения результатов при содействии крупных инжиниринговых предприятий энергетической отрасли, в частности – ООО «ЗиО КОТЭС», и АО «Сибтехэнерго»; выразивших интерес к проекту.
3. Полученные результаты могут способствовать созданию новых технических решений в области автоматизированных систем управления на тепловых электроцентралях. Полученные в ходе выполнения работ по проекту результаты будут способствовать переходу промышленных предприятий России к более современным интеллектуальным технологиям производства.

**Эффект от внедрения результатов проекта**

1. Планируется коммерциализация результатов проекта в виде продукции (в составе интеллектуальных систем мониторинга и управления) и услуг (внедрения систем на предприятиях). Результаты проекта будут использованы при переходе к стадии разработки промышленной технологии мониторинга и управления. Предполагается, что разработку промышленной технологии и её коммерциализацию будет осуществлять индустриальный партнер с привлечением организации – получателя субсидии в качестве соисполнителя.
2. Предполагается создание новых, основанных на нейросетевых методах, решений в области АСУ ТП тепловых электростанций. В настоящее время подобных решений и систем на российском рынке не представлено. На примере Новосибирской области можно выделить около двадцати предприятий – потенциальных потребителей продукции, использующей в своем составе результаты проекта. Потенциально по России количество таких предприятий более 130. На первых этапах коммерциализации технологий (внедрение систем и модулей АСУ ТП) предполагается осуществлять от трех до пяти внедрений в год с уровнем валовой выручки не менее 22 млн. руб. в год.

**Заключение**

Выполненные работы соответствуют техническому заданию и календарному плану соглашения № 14.604.21.0162.