

## *Создание научно-технического задела для разработки угольных энергоблоков с ультрасверхкритическими параметрами пара*

В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.574.21.0098 от 22 августа 2014 г. с Минобрнауки России в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 г.г.» на этапе № 3 в период с 01 июля 2015 г. по 31 декабря 2015 г. были выполнены следующие работы:

1. Разработан конструктивный профиль котельного агрегата УСКП.
  - Проведены тепловые и аэродинамические расчеты котла и осуществлен выбор его компоновки.
  - Проведено проектирование топочной камеры, предполагающее рассмотрение различных вариантов организации сжигания топлива.
  - Разработаны новые малотоксичные горелочные устройства.
  - Разработана технологическая схема пароводяного тракта котла.
  - Разработана технологическая схема пыле-газо-воздушного тракта котла.
  - Разработана эскизная конструкторская документация котельного агрегата с УСКП.
2. Разработаны природоохранные мероприятия, обеспечивающие выбросы вредных веществ в атмосферу в пределах нормативных значений.
3. Разработан экспериментальный стенд для исследования аэродинамики топочных процессов в котельных агрегатах УСКП.
4. Разработана программа и методика проведения экспериментальных исследований аэродинамики топочных устройств котельных агрегатов УСКП.
5. Разработан водно-химический режим энергоблока УСКП.
6. Осуществлена модернизация экспериментального стенда для исследования процессов коррозии материалов, используемых в трубопроводах пароводяного тракта энергоблока УСКП.
  - Осуществлен выбор оборудования экспериментального стенда применительно к ультра сверхкритическим параметрам рабочей среды.
  - Осуществлен выбор трубопроводов и арматуры экспериментального стенда.
  - Выполнена модернизация экспериментального стенда.
7. Для паропроводов и турбины (лопатки 1-й ступени и литые элементы проточной части) разработаны химические составы новых жаропрочных материалов, выдерживающих нагрузку при температурах пара до 720°C и давлении до 35МПа.

За счет софинансирования из внебюджетных источников:

8. Проведены: анализ стоков блочных обессоливающих установок (БОУ), исследования методов обработки стоков с целью повторного использования очищенной воды и разработаны замкнутые циклы водопользования.

9. Разработана экспериментальная установка фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы БОУ котлов УСКП, поддерживающих заданное качество конденсата.

- Разработана технологическая схема.
- Разработана эскизная конструкторская документация.
- Разработана система автоматического регулирования установки.

**при выполнении работ по III этапу были получены следующие результаты:**

Разработаны возможные варианты конструктивного исполнения котельных агрегатов для энергоблока с УСКП, обеспечивающих снижение капитальных затрат на строительство такой электростанции приблизительно на 10% за счёт сокращения длины трубопроводов острого и вторичного пара, изготавливаемых из крайне дорогостоящих высокотемпературных никелевых сплавов, в три раза.

Первый из предложенных котлов имеет горизонтальную топочную камеру, образующую с конвективной шахтой единый горизонтальный газоход (рис. 1), по всей длине которого выполнены холодные воронки. Полная длина установки составляет 85 м, выходные коллекторы пароперегревателей находится на уровне 15 м, в отличие от классической башенной компоновки, где они находится на уровне 100 м.

Второй вариант котельного агрегата имеет М-образную компоновку с инвертной топочной камерой, в которой горелочные устройства располагаются в верхней части, а дымовые газы движутся сверху вниз (рис. 2). В нижней части топки они разделяются на два равных потока, каждый из которых проходит наклонно направленный вверх газоход, где располагаются выходные ступени пароперегревателей. Конвективные шахты расположены вертикально, и дымовые газы движутся по ним сверху вниз, как и при традиционных компоновках. Выходные коллекторы пароперегревателей, за счёт их размещения в наклонных газоходах, также оказываются на высоте порядка 15 м.

Для каждого из котельных агрегатов, помимо конструктивного расчёта, был также проведён аэродинамический расчёт, разработаны технологические схемы пароводяного и пылегазовоздушного трактов, а также схемы сжигания топлива, обеспечивающие снижение выбросов оксидов азота.

Для исследований аэродинамики топочных процессов был спроектирован экспериментальный стенд, позволяющий оценивать структуру течений в топке, и разработаны модели топочных камер.

В рамках третьего этапа проекта также были рассмотрены проблемы, относящиеся к проектированию и эксплуатации котельных агрегатов. В частности, предложен ряд вариантов организации сжигания топлива,

обеспечивающих снижение интенсивности образования оксидов азота, которые применимы как к новым решениям, так и к традиционным котлам.

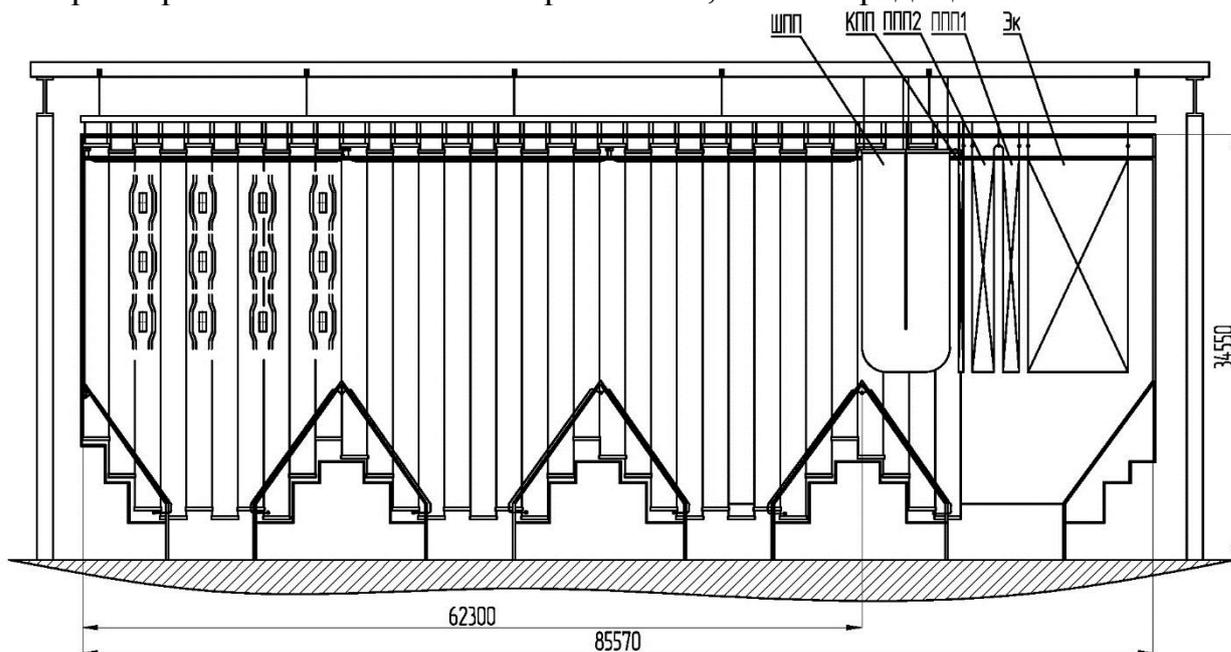


Рис. 1 – Горизонтальный котел для энергоблока с УСКП

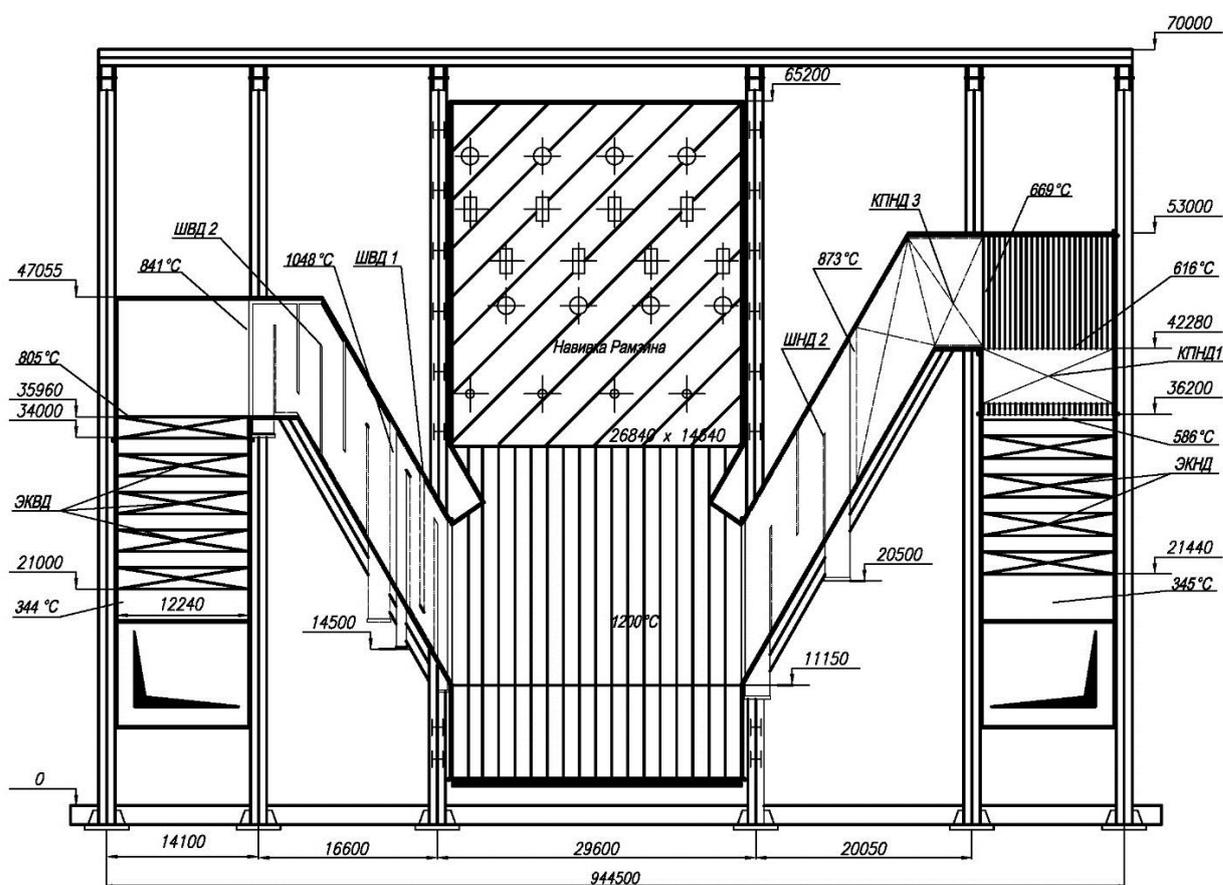


Рис. 2 – М-образный котел для энергоблока с УСКП

Как уже было отмечено, обе компоновки обеспечивают сокращение длины дорогостоящих паропроводов острого и вторичного пара, что

ощутимо удешевляет стоимость строительства энергоблока с ультрасверхкритическими параметрами пара. При этом оба разработанных варианта удовлетворяют всем требованиям экологической безопасности, а разработанные конструктивные решения могут стать основой создания котельных агрегатов с ультрасверхкритическими параметрами пара. Выбор конкретного конструктивного решения должен быть произведен на основе детальных технико-экономических расчетов.

При повышении начальных параметров пара существенно изменяются требования к качеству рабочей среды, а также к водно-химическому режиму блока, что требует их определения и исследования.

В процессе разработки водно-химического режима (ВХР) энергоблока на УСКП пара на основе анализа существующих ВХР, используемых в блоках на сверхкритические параметры пара, за отправную точку в поисковых экспериментальных исследованиях были выбраны три базовых ВХР, которые будут использоваться при проведении эксперимента по изучению влияния качества воды на скорость протекания процессов коррозии в поверхностях нагрева котельных агрегатов УСКП. Показатели качества воды и реагенты, которые будут дозироваться в теплоноситель, а также его контролируемые параметры представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества исходной воды, измеряемые входе проведения экспериментальных исследований процессов коррозии на экспериментальном стенде при УСКП параметрах

Водно-химический режим	Контролируемые показатели	Дозируемые реагенты
НВР	эе, Na, pH, O <sub>2</sub> , [Fe] <sup>*</sup>	отсутствуют
НКВР	эе, Na, pH, O <sub>2</sub> , [Fe] <sup>*</sup>	кислород
КАВР	эе, Na, pH, O <sub>2</sub> , [Fe] <sup>*</sup>	кислород и аммиак

Для базовых ВХР были определены показатели качества теплоносителя, которые должны быть выполнены на этапе подготовки воды к проведению экспериментальных исследований. Показатели представлены в таблицах 2-3.

Таблица 2. Нормы качества питательной воды при НКВР

Показатель	Значение
Концентрация растворенного кислорода, мкг/кг	100-400* 30-50**
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	0.3
pH	7±0.5
Корректирующий реагент	Кислород

Таблица 3. Нормы качества питательной воды при КАВР

Показатель	Значение
Концентрация растворенного кислорода, мкг/кг	100-400
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	0.3
pH	8±0.5
Корректирующий реагент	Кислород, аммиак

Экспериментальные исследования процессов коррозии материалов, входящих в пароводяной тракт энергоблока УСКП будут проведены на специальном стенде. Экспериментальный стенд обеспечивает проведение исследований процессов коррозии при температуре среды до 800°C и при давлении до 40МПа. На рисунке 3 представлена принципиальная схема экспериментального стенда.

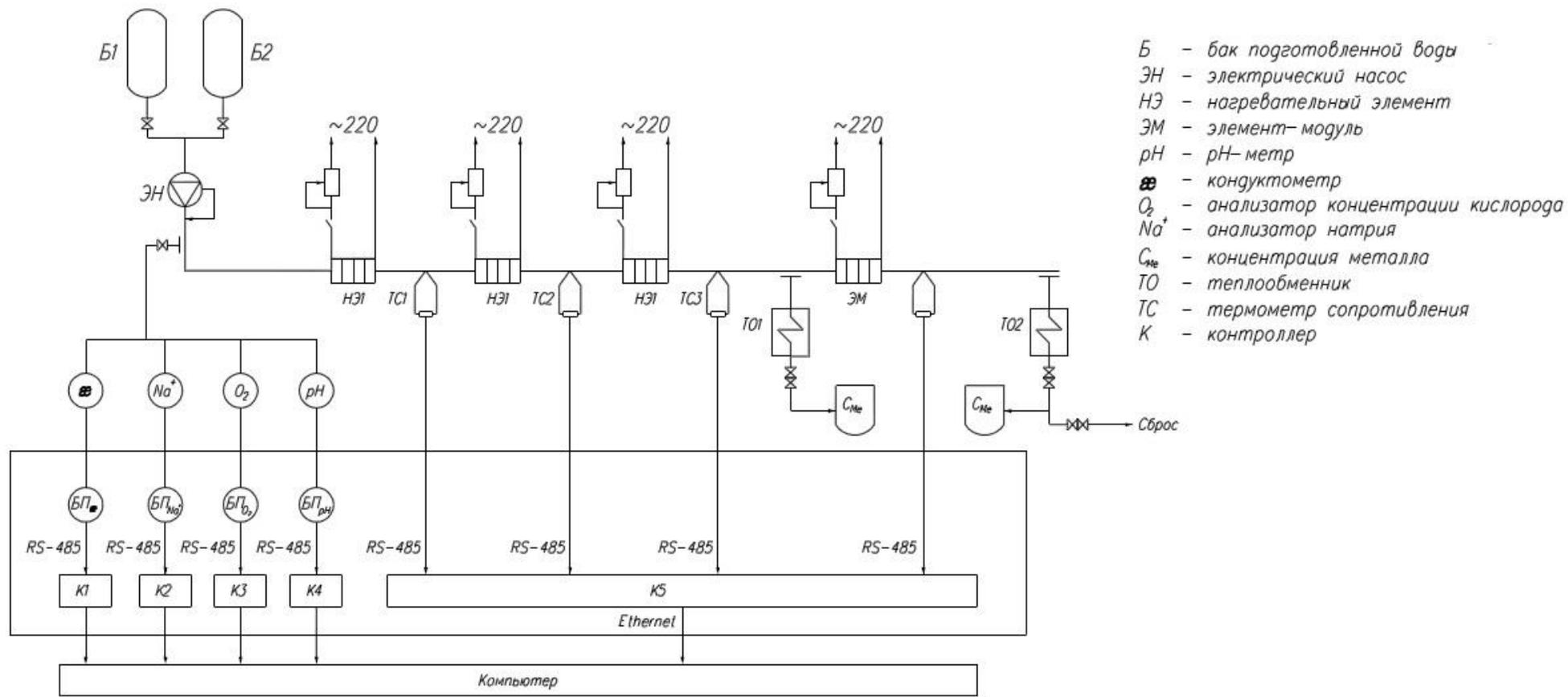


Рис. 3 – Принципиальная схема экспериментального стенда для исследования процессов высокотемпературной коррозии

Также в ходе третьего этапа проекта было уделено внимание вопросам очистки цикловой воды и обработке сбросных вод. На основе анализа стоков блочных обессоливающих установок (БОУ) и, проведенного на 3 этапе проекта исследования методов обработки стоков с целью повторного использования очищенной воды, была разработана экспериментальная установка фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы БОУ котлов УСКП.

Чертежи общего вида разработанной установки представлены на рисунке 4. Изометрия экспериментальной установки представлена на рисунке 5.

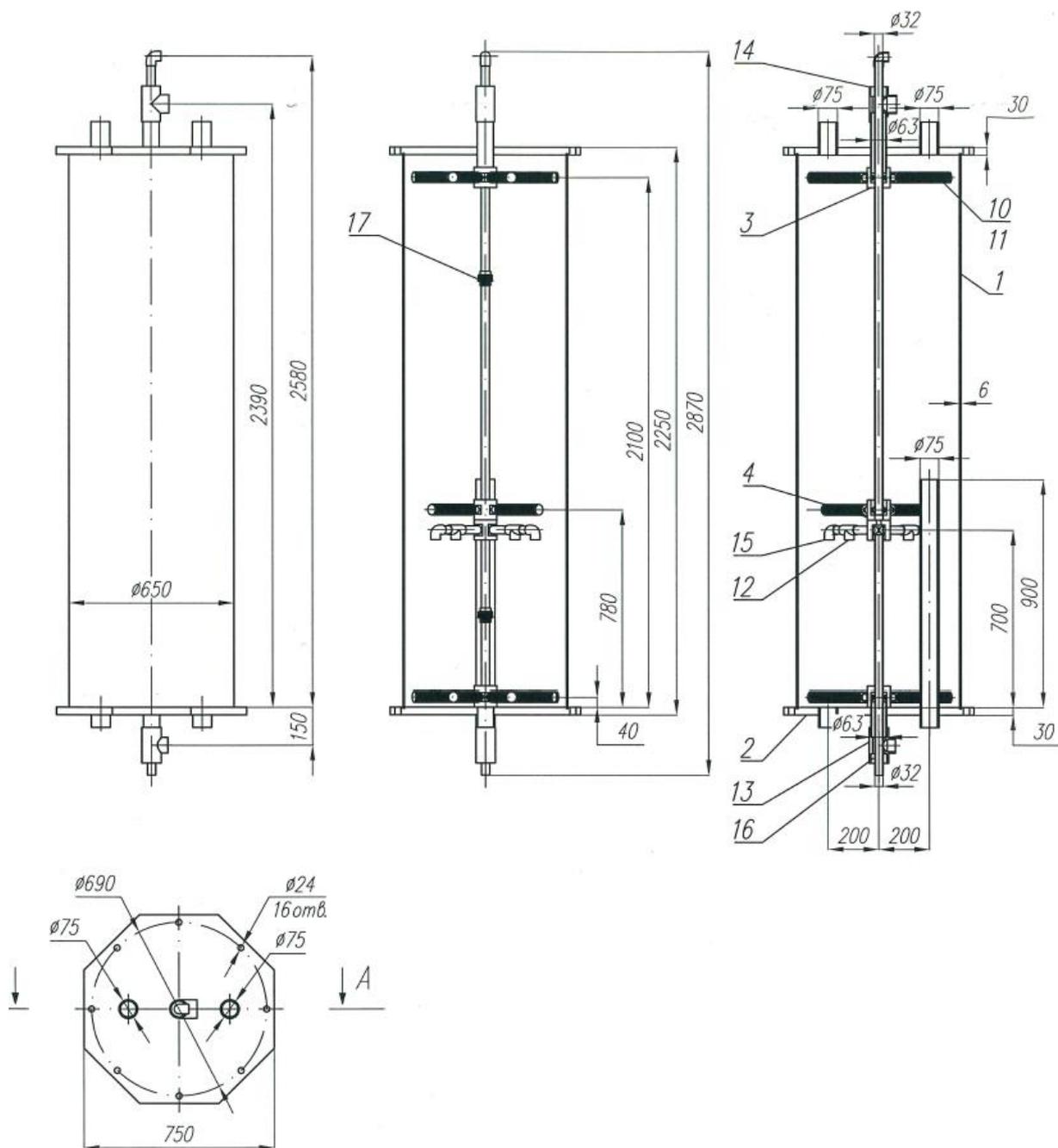


Рис. 4 - Экспериментальная установка фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы БОУ котлов УСКП

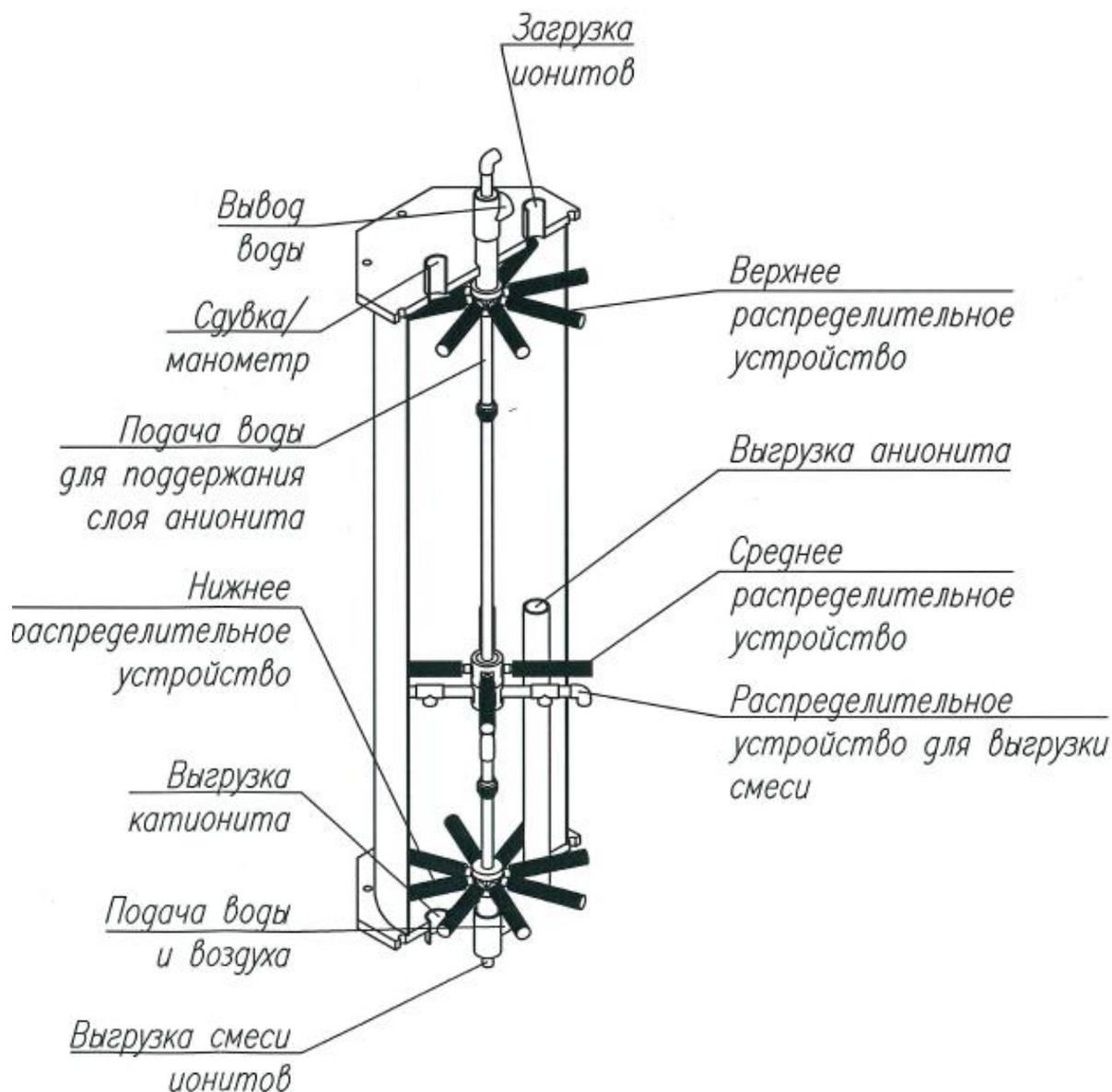


Рис. 5 - Изометрия экспериментальной установки фильтра-регенератора смешанного слоя ионитов для системы БОУ котлов УСКП

### **Оценка элементов новизны результатов работ по III Этапу**

Схемные, компоновочные и конструкторские решения для энергоблоков с УСКП были разработаны на базе совершенствования существующих установок и их адаптации для работы в условиях повышенных параметров пара и более дорогих конструкционных материалов. Многие результаты проекта, в частности, конструктивные профили котельных агрегатов, стопорно-регулирующие клапаны паровой турбины, система водоподготовки, не имеют прямых аналогов. Запланированные экспериментальные исследования, в части разработки водно-химических режимов и коррозии конструкционных материалов для УСКП пара и созданные для этого специальные установки являются уникальными.

В ходе выполнения работ на этапе № 3 - число патентных заявок, поданных по результатам исследований и разработок составило – 1 шт.

Патент на изобретение «Турбодетандерная система утилизации теплоты циркуляционной воды на конденсационных блоках паровых турбин тепловой электрической станции». Изобретение относится к области энергетического машиностроения, а именно к детандер-генераторным агрегатам и может быть использовано для охлаждения циркуляционной воды, покидающей конденсатор паровой турбины с помощью турбодетандерной установки, работающей на природном газе, питающем энергетический котел паротурбинного блока. Техническая задача предлагаемого изобретения состоит в охлаждении циркуляционной воды, покидающей тепловую электрическую станцию (ТЭС) и в этой связи нагрев газа осуществляется не подводимой, а уходящей из конденсатора нагретой циркуляционной водой, что позволяет нагревать газ перед энергетическим котлом до более высокой температуры. При решении поставленной задачи через турбодетандер должен проходить весь природный газ, подводимый к электростанции, т.к. эффект охлаждения циркуляционной воды прямо пропорционален расходу газа через турбодетандер.

Копия уведомления патентных ведомств о поступлении заявок: уведомление ФИПС № 2015133777 от 12.08.2015.

Копия информационной карты РИД (ИКР) в соответствии с приложением №4 к приказу Минобрнауки России от 21.10.2013 № 1168.

**Оценка соответствия полученных результатов работы техническим требованиям к выполнению проекта.**

Состав выполненных работ удовлетворяет условиям Соглашения о предоставлении субсидии, в том числе Техническому заданию и Плану-графику исполнения обязательств.

Результаты выполненных работ соответствуют требованиям Технического задания и нормативной документации.

Вышеизложенное позволяет продолжить дальнейшую реализацию работ по проекту.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на отчётном этапе исполненными надлежащим образом.