

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭНЕРГБЛОКА ПГУ-230

С.Н. Хуторненко, И.Д. Фурсов, Г.П. Пронь

В статье рассмотрен опыт разработки математической модели котла-утилизатора, предназначенного для работы в составе энергоблока ПГУ-230. Приведены основные результаты расчётов котла-утилизатора.

Ключевые слова: энергетика, комбинированный цикл, парогазовая установка, котёл-утилизатор, модернизация, газотурбинная установка.

Для введения новых мощностей по выработке тепловой и электрической энергии в настоящее время широко распространены энергоблоки комбинированного цикла (парогазовые установки - ПГУ). Среди основных целевых индикаторов и показателей технологической подпрограммы "Модернизация тепловых электростанций на период до 2020 года" предусмотрено доведение установленной мощности газовых ТЭС на основе передовых технологий (ПГУ и ГТУ) с 6600 до 50900 МВт в 2020 году. [1] В состав современных ПГУ входят: газовая турбина (ГТ), котёл-утилизатор (КУ), паровая турбина (ПТ) В данной статье рассмотрен котёл-утилизатор, предназначенный для работы в составе энергоблока ПГУ-230. Согласно действующей нормативной документации [2] данный энергоблок представляет собой двухвальный моноблок в состав основного оборудования которого входят: одна газотурбинная установка типа ГТЭ-160, котёл-утилизатор типа Е-236/40,5-9,3/1,5-514/299-13,5вв (индексы в обозначении КУ представлены в таблице 1) и одна паровая турбина типа Т-63/76-8,8. Принципиальная схема энергоблока представлена на рисунке 1.

Таблица 1 - Индексы в обозначении КУ

Индекс	Обозначение
Е	Тип циркуляции – естественная
236	Паропроизводительность тракта ВД, т/ч
40,5	Паропроизводительность тракта НД, т/ч
9,3	Давление перегретого пара ВД, МПа
1,5	Давление перегретого пара НД, МПа
514	Температура перегретого пара ВД, °С
299	Температура перегретого пара НД, °С
13,5 вв	Номинальная тепловая нагрузка ВВТО, МВт

Основными элементами гидравлической схемы энергоблока являются:

- тракт высокого давления;

- тракт низкого давления;
- тракт ГПК
- паровая турбина (ЦВД, ЦНД);
- деаэратор;
- питательные насосы высокого и низкого давления (ПЭНВД, ПЭННД);
- конденсатный электронасос (КЭН).

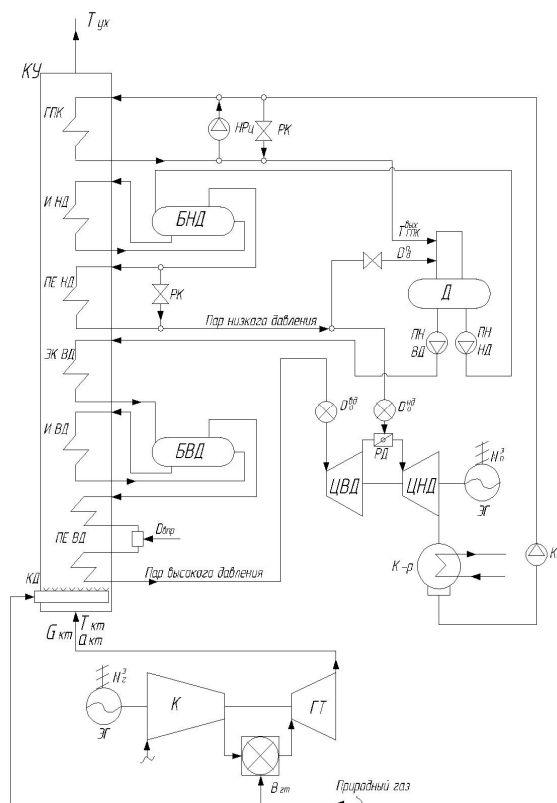


Рисунок 1 – Принципиальная схема энергоблока ПГУ-230

При разработке конструкции поверхностей нагрева котла-утилизатора принят ряд унифицированных решений, основными из которых являются:

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭНЕРГБЛОКА ПГУ-230

- шахматное расположение труб в поверхностях нагрева (для интенсификации теплообмена);
- оребрение труб поверхностей нагрева (кроме первой ступени пароперегревателя высокого давления по ходу газов). Высота ребра 13мм, ширина ребра 1мм;
- все поверхности нагрева набраны из типовых секций;
- секции объединены верхним и нижним коллекторами.

Ширина и высота газохода котла-утилизатора постоянна по всей его длине и составляет 8,43 м и 20,5 м соответственно.

Схема газового тракта КУ, тракта ВД, тракта НД и тракта ГПК представлены на рисунках 2,3,4 и 5 соответственно. Все выводы и анализ режимов работы основного оборудования энергоблока основаны на результатах поверочных расчётов, выполненных при помощи программного продукта Boiler Designer (разработчик ООО "ОПТСИМ", Россия).

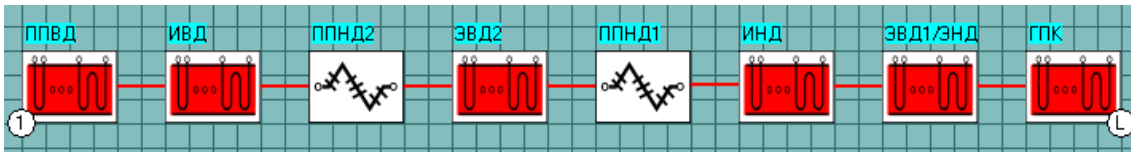


Рисунок 2 – Схема газового тракта котла-утилизатора

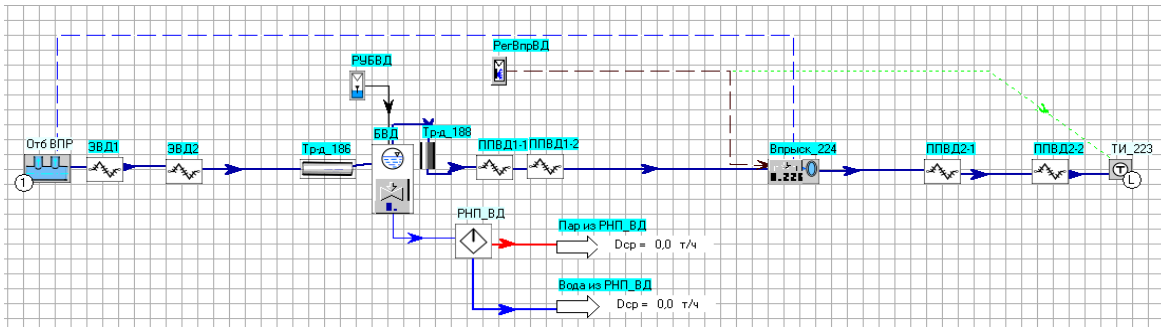


Рисунок 3 – Гидравлическая схема тракта высокого давления

Основными элементами газового тракта являются последовательно расположенные поверхности нагрева, а именно:

- пароперегреватель высокого давления (ППВД);
- испаритель высокого давления (ИВД);
- вторая ступень пароперегревателя низкого давления (ППНД2);
- вторая ступень экономайзера высокого давления (ЭВД2);
- первая ступень пароперегревателя низкого давления (ППНД1);
- испаритель низкого давления (ИНД);
- расположенные в одном сечении газохода первая ступень экономайзера высокого давления (ЭВД1) и экономайзер низкого давления (ЭНД);
- газовый подогреватель конденсата (ГПК).

Тракт высокого давления включает в себя три группы поверхностей нагрева:

1. экономайзер;
2. испаритель;
3. пароперегреватель.

Сначала вода от ПЭНВД поступает в первую ступень ЭВД, откуда подогретая вода идёт во вторую ступень ЭВД и далее в барабан ВД. Барабан ВД, представленный на рисунке 3, является сложным элементом и имеет вложенную группу "циркуляционный контур", в которой вложены элементы поверхностей нагрева ИВД. Далее после элемента БВД сухой насыщенный пар поступает в первую ступень ППВД, где происходит частичный перегрев пара. Окончательный процесс перегрева пара происходит во второй ступени ВД. Все поверхности нагрева тракта ВД включены по противоточной схеме для интенсификации теплообмена. Между ступенями ППВД расположен элемент впрыск для поддержания температуры перегретого пара на выходе из тракта ВД на уровне 514 °С. Для впрыска используется питательная вода ВД, отбираемая перед ЭВД. Для сброса воды с непрерывной продувкой применяется расширитель непрерывной продувки ВД (РНП_ВД), который имеет по одному выходу по пару и по воде.

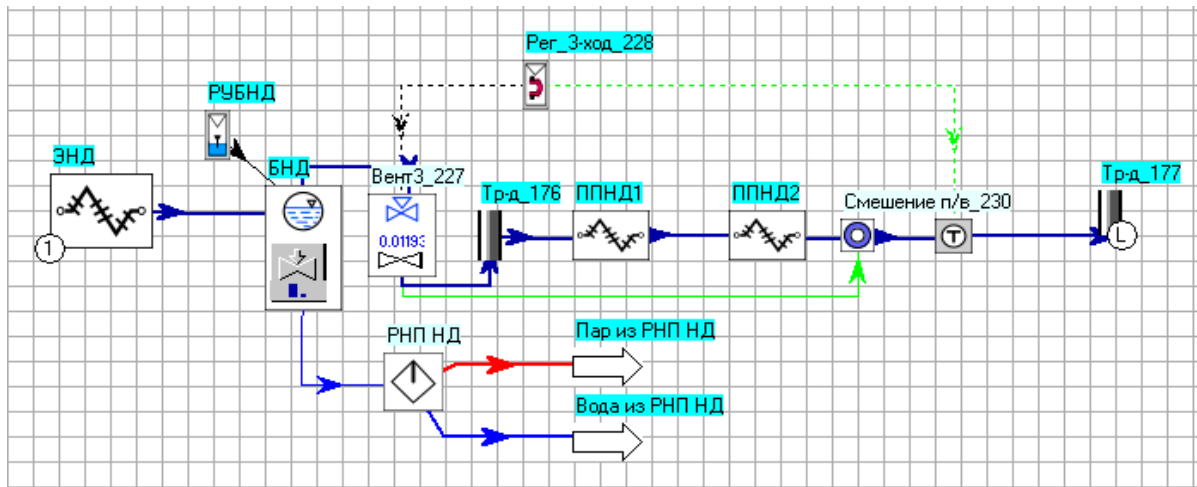


Рисунок 4 – Гидравлическая схема тракта низкого давления

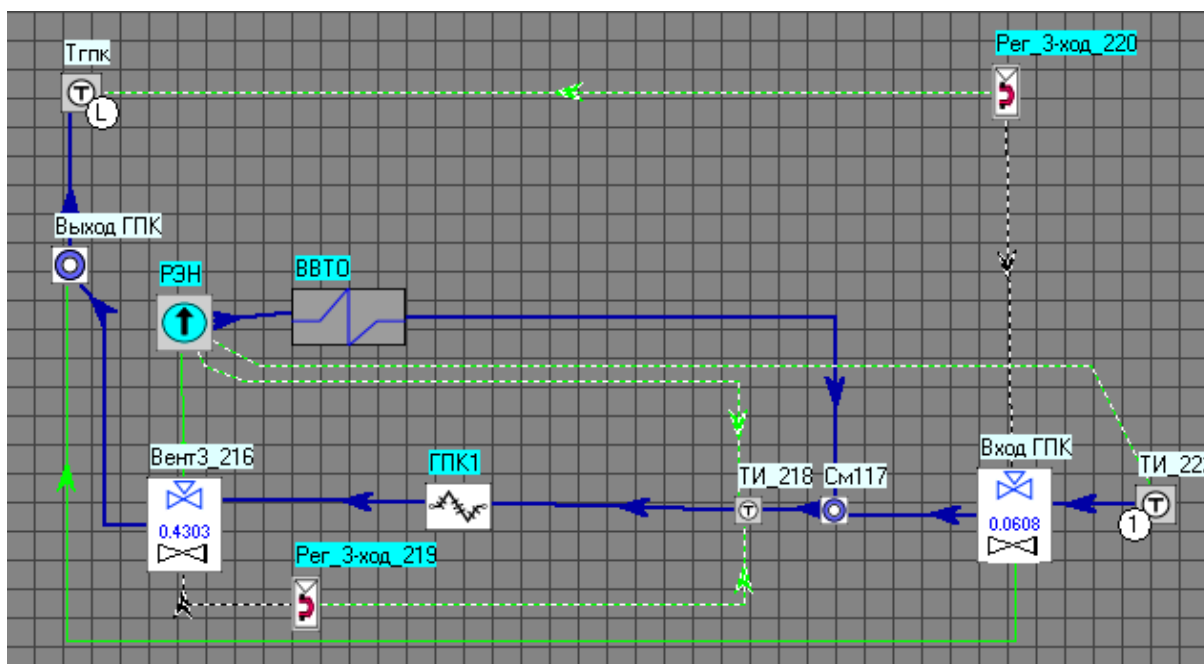


Рисунок 5 – Гидравлическая схема тракта газового подогревателя конденсата

Тракт НД по сравнению с трактом ВД имеет более простую тепловую схему. Так, например, экономайзерная часть представлена одной ступенью, ППНД также имеет две ступени, они представляют собой два ряда труб, расположенные в рассечку. Для регулирования температуры перегретого пара НД применяется частичное байпасирование насыщенного пара, отбираемого перед ППНД1.

Для подогрева конденсата после конденсатора паровой турбины в схемах энергоблоков ПГУ применяются газовые подогреватели конденсата (ГПК). [3] Газовый по-

догреватель конденсата для данного КУ представляет собой газо-водяной рекуперативный теплообменник, включенный по противоточной схеме. Для поддержания температуры конденсата на входе в ГПК в рекомендуемых пределах (55-60°C) применена система рециркуляции. Принцип работы системы рециркуляции заключен в отборе необходимого количества подогретого конденсата на выходе из ГПК и подачей его на вход ГПК. Также в ходе предварительных расчетов установлено, что существует возможность снятия дополнительной тепловой энергии за счёт более глубокого ох-

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РАБОТЫ В СОСТАВЕ ЭНЕРГБЛОКА ПГУ-230

лаждения уходящих газов. Для этого потребовалось усложнить схему ГПК, установив на линии рециркуляции дополнительный водо-водяной теплообменник, предназначенный для подогрева сетевой воды. Номинальная тепловая нагрузка этого теплообменника составляет 13,5МВт. Усложнение тепловой схемы тракта ГПК потребовало ещё одно условие. Для обеспечения надёжной термической деаэрации рекомендуется подавать в деаэратор среду, недогретую до температуры насыщения при давлении в деаэраторе. [4] Поддержание недогрева до кипения (для данного КУ недогрев принят 5°С), в данном случае осуществляется с помощью байпасирования части холодного конденсата.

Основные результаты теплового расчёта котла-утилизатора, при номинальной нагрузке ГТУ, сведены в таблицу 2. По результатам теплового расчёта КУ построена Q-t диаграмма (рисунок 6).

Таблица 2 – Основные результаты теплового расчёта

Параметр	Значение
Паропроизводительность тракта ВД, т/ч	236
Температура перегретого пара ВД, °С	514
Давление перегретого пара ВД, МПа	9,3
Температура питательной воды ВД, °С	160
Паропроизводительность тракта НД, т/ч	43
Температура перегретого пара НД, °С	299
Давление перегретого пара НД, МПа	1,5
Температура питательной воды НД, °С	159
Температура дымовых газов перед КУ, °С	540
Температура дымовых газов на выходе из КУ, °С	96
Расход дымовых газов через КУ, кг/с	539,6
Температура конденсата на входе в КУ, °С	25

Заключение

Разработана математическая модель котла-утилизатора, предназначенного для работы в составе энергоблока ПГУ-230. Дальнейшие работы по исследованию возможности оптимизации тепловой схемы котла-утилизатора планируется проводить на основании данной модели.

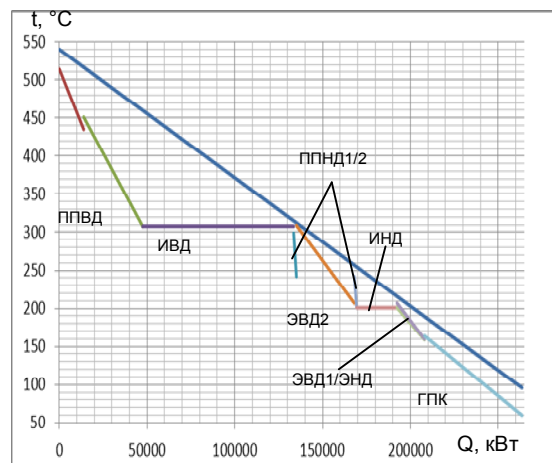


Рисунок 6 - Q-t диаграмма

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков Э. П., Баринов В. А., Маневич А.С., Сапаров М. И., Развитие электроэнергетики России // Электрические станции, 2013 №3с. 3-8
2. СТО 70238424.27.100.007-2008. Парогазовые установки. Условия поставки. Нормы и требования. М.: НП "ИНВЭЛ", 2008.
3. Цанев С.В. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / С.В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; Под. Ред. С.В. Цанева. М.: Издательство МЭИ, 2002 – 584 с.
4. Буров В. Д. Тепловые электрические станции: учебник для вузов / В.Д. Буров, Е.В. Дорохов, Д.П. Елизаров и др.; под ред. В.М. Лавыгина, А.С. Седлова, С.В. Цанева. — 3-е изд., стереот. — М. : Издательский дом МЭИ, 2009. — 466 с.

Хуторненко С.Н., аспирант,
sergeykhutornenko@gmail.com,

Фурсов И.Д., к.т.н., проф.,
kirs_barnaul@mail.ru

Пронь Г.П., доц.,

gennadij_pron@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет имени И. И.

Ползунова»,

кафедра «Котло- и реакторостроение»,

+7 (3852) 29-09-41.