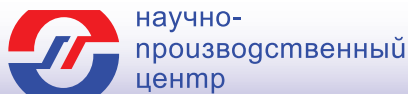


ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ТУРБИНОЙ НА СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ РАБОЧЕГО ТЕЛА К-500-240

**А.М. ЛИФШИЦ, В.Г. ФЕЙМАН (ООО “НПЦ Приоритет”),
О.Ю. КАВУН, В.В. СЕМИШИН (МГТУ им. Н.Э. Баумана)**



"Приоритет"



В статье приведено описание разработанной модели энергоблока тепловой электростанции с турбиной К-500-240, расчетные схемы котла и турбоустановки, применяемые программные средства. Показано, что разработанная модель позволяет проводить динамические расчеты различных переходных режимов. В качестве примера приведены результаты расчетов режимов с маневрированием мощности по схеме 100 % – 50 % – 100 % с различной скоростью изменения мощности.

Ключевые слова: модель энергоблока; программный комплекс РАДУГА-ЭУ; тепловая электростанция; турбоустановка.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка цифровых моделей объектов энергетики позволяет проводить анализ параметров энергоустановки в различных режимах работы, как номинальных, так и переходных, связанных с изменением различных параметров (мощности, расходы и т.д.), и с вводом в работу или отказом отдельных элементов оборудования энергоблока (насосы, задвижки и т.д.). Разработанная модель энергоблока электрической мощностью 500 МВт с турбиной К-500-240 на сверхкритических параметрах рабочего тела и паровым котлом Пп-3250-255 завода им. Орджоникидзе (основное топливо – Экибастузский бурый уголь, подсветка – мазут, дымовая труба – 300 м) предназначена для:

- демонстрации возможностей моделирующего комплекса программ РАДУГА-ЭУ [1] по моделированию энергоблоков тепловых электростанций;
- последующей привязки модели “идеализированного” энергоблока электрической мощностью 500 МВт к характеристикам энергоблоков реальных ТЭС.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Для разработки модели использовался программный комплекс РАДУГА-ЭУ, включающий в себя программное средство TPP (Thermal Power Plant) [2], предназначенное для моделирования аварийных, нестационарных и установившихся теплогидравлических процессов в любом оборудовании ТЭС и АЭС [3] (описание смотри здесь: www.priortelecom.ru) и программный комплекс МВТУ (Моделирование В Технических Устройствах) [4], предназначенный для моделирования систем АСУ ТП, создания интерактивных пультов управления и решения систем алгебро-дифференциальных уравнений произвольной сложности.

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА И СОСТАВ МОДЕЛИ

Разработанная цифровая модель энергоблока включает в себя:

- модель турбинного отделения;
- модель парового и газового тракта парового котла;

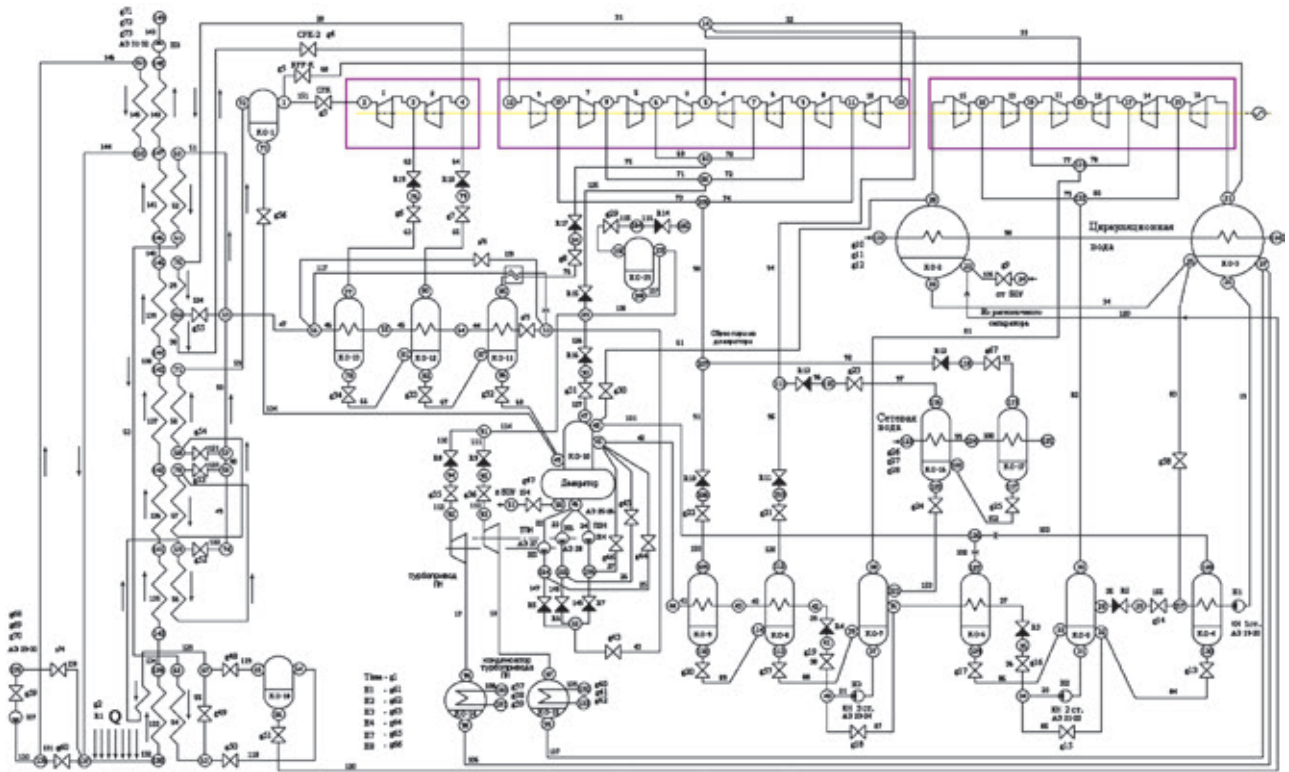


Рис. 1. Расчетная схема модели энергоустановки

- систему АСУ ТП энергоблока;
- виртуальные пульта управления энергоблоком в интерактивном режиме.

Теплогидравлическая модель турбинного контура включает в себя все основные элементы турбоустановки К-500-240: цилиндры высокого, среднего и низкого давлений; конденсаторы; насосы и другое оборудование конденсатного тракта; регенеративные подогреватели; запорно-регулирующую арматуру; деаэраторы; насосы питательного тракта (электропитательный насос и два турбопитательных); СРК; систему сброса пара в конденсатор БРУ-К и т.д. Модель котла состоит из: модели газового тракта котла; дутьевого вентилятора; дымососа; воздухо- и газодоводов; дымовой трубы; запорной и регулирующей арматуры. На (рис. 1) представлена расчетная схема энергоблока, подготовленная в стандарте программного комплекса ТРР.

Для облегчения управления энергоблоком и более наглядного отображения параметров энергоустановки в ПС МВТУ разработаны мнемосхемы и пульта управления оборудованием. На (рис. 2) приведен пульт интерактивного управления турбоустановкой, на (рис. 3) — пульт интерактивного

управления котлом. Цифры на виртуальных пультах отображают параметры энергоблока при работе на номинальном уровне мощности. На мнемосхемах отображается текущее состояние оборудования (положение задвижек, состояние насосов, уровни в конденсаторах и деаэраторах и т.д.), а также основные параметры рабочего тела в различных частях тракта.

Реализованная модель АСУ ТП энергоблока позволяет осуществлять управление энергоблоком и отдельными элементами оборудования как в автоматическом, так и в ручном режимах. Например, работа СРК возможна в ручном режиме с заданием его положения, либо в режиме автоматического поддержания расхода, давления или мощности. На (рис. 4) приведен фрагмент АСУ ТП энергоблока, набранного в формате п/к МВТУ. На (рис. 5) приведена модель автоматики управления расходом питательной воды.

Для моделирования режимов, связанных с пуском энергоблока и его остановки, предусмотрена модель пускового барабансепаратора, позволяющая выполнять пуск энергоблока с постепенным разогревом рабочего теплоносителя и пуском турбоустановки.

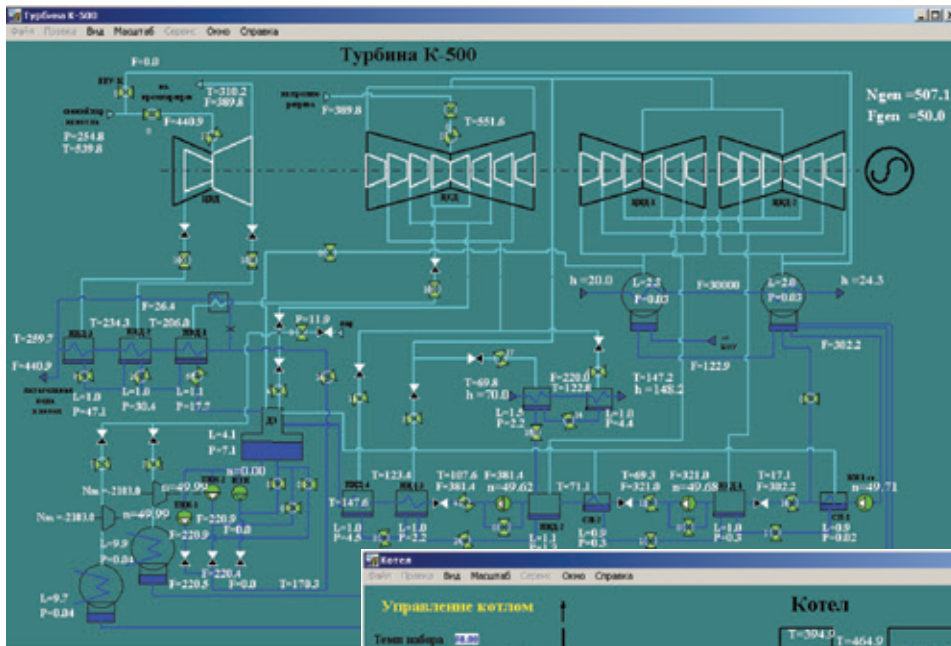


Рис. 2. Пульт управления турбоустановкой

Рис. 3. Пульт управления котлом

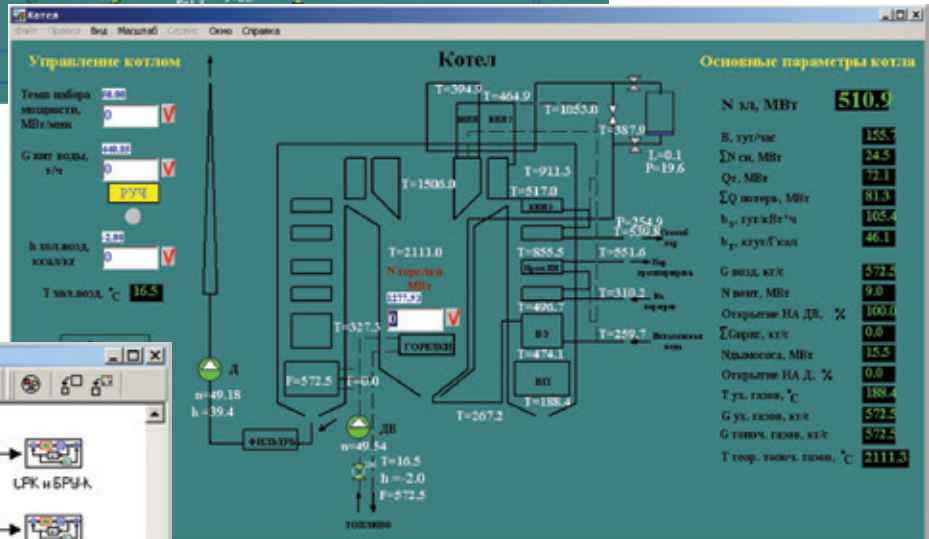


Рис. 4. Фрагмент модели АСУ ТП энергоблока

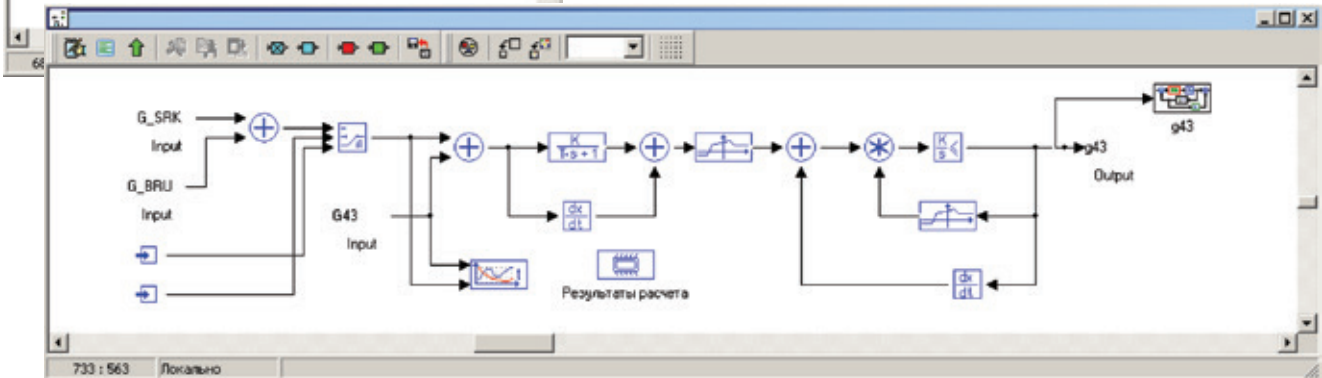
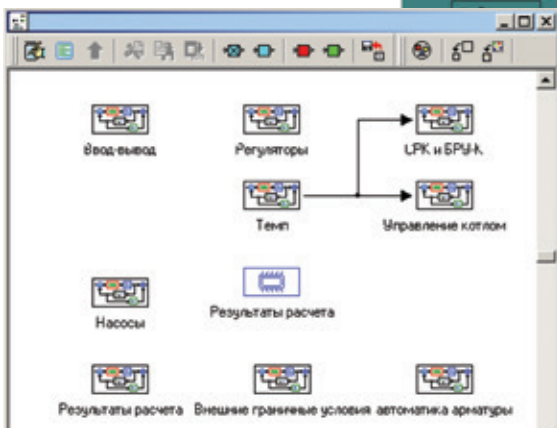


Рис. 5. Регулятор расхода питательной воды

Таблица 1. Параметры установки на номинальном уровне мощности

Параметр	Значение
Мощность электрическая, МВт	510,8
Мощность тепловая, МВт	1277,9
КПД энергоблока, %	39,9
Давление перед СРК, атм.	254,9
Температура пара основного перегрева, °С	539,8
Расход питательной воды, кг/с	440,9
Температура питательной воды, °С	259,7
Температура пара промежуточного перегрева, °С	551,6
Расход пара промежуточного перегрева, кг/с	389,8

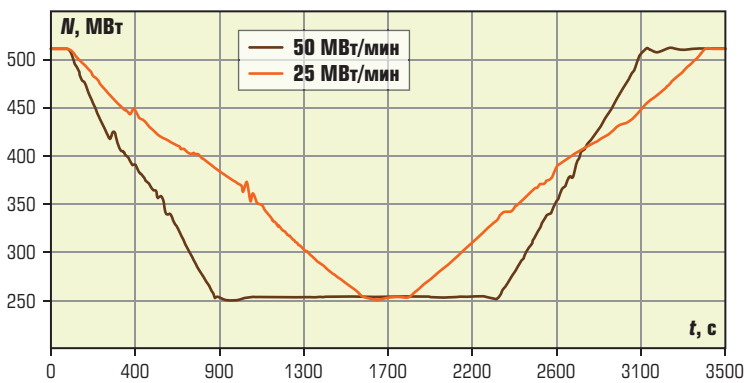


Рис. 6. Электрическая мощность турбоустановки

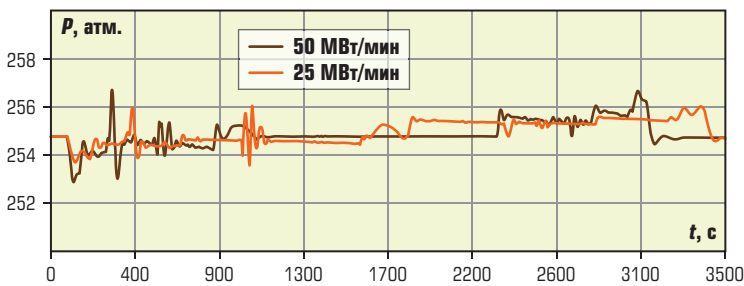


Рис. 7. Давление в ГПК

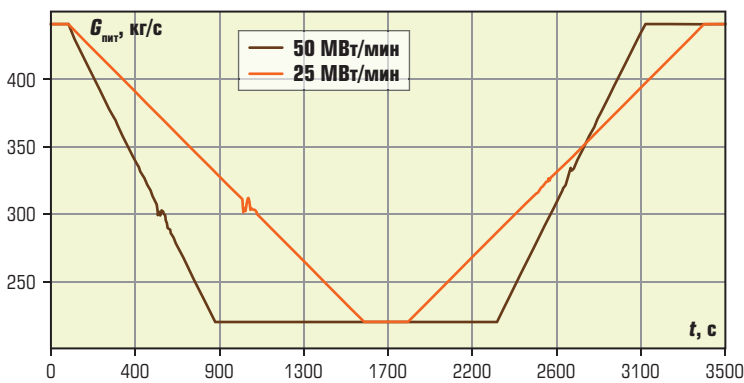


Рис. 8. Расход питательной воды

Перечень моделируемого оборудования позволяет осуществлять приведение ТПН как отбором пара с турбины, так и паром от котельной собственных нужд, в случае падения расхода пара с ЦСД или отключения турбоустановки. Циркуляция питательной воды в случае моделирования режимов с отказом ТПН возможна с помощью электропитательного насоса.

Таким образом, созданная компьютерная модель энергоблока тепловой электростанции с турбиной К-500-240 позволяет в интерактивном режиме моделировать следующие режимы:

- работа энергоблока на номинальном уровне мощности;
- пуск из холодного состояния и остановка энергоблока;
- маневрирование мощностью в ручном и в автоматическом режимах;
- моделирование отказов оборудования и отказов АСУ ТП энергоблока.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УСТАНОВКИ В НОМИНАЛЬНОМ И ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ

В таблице 1 приведены параметры установки при работе на номинальном уровне мощности.

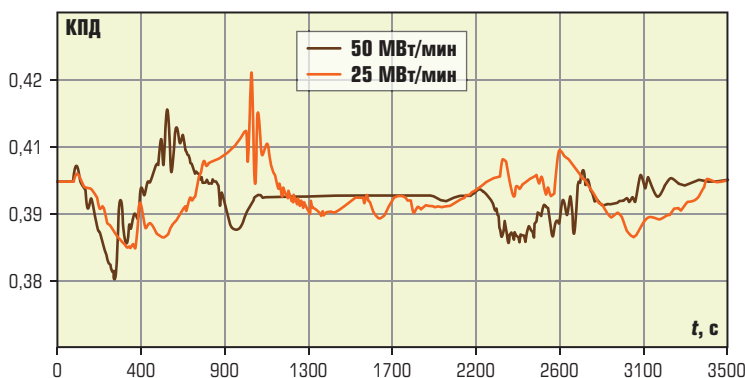
При работе установки в номинальном режиме СРК находится в режиме поддержания давления, расход питательной воды определяется исходя из расхода на номинальном уровне мощности и текущего значения мощности. Циркуляция рабочего тела осуществляется двумя турбопитательными насосами, турбины которых приводятся паром с отбора с ЦСД турбины.

Для демонстрации возможности моделирования динамических режимов работы энергоустановки выполнен расчет переходного режима с глубоким маневром мощности энергоблока по схеме 100 % – 50 % – 100 %. Начальное состояние установки соответствует работе на номинальном уровне мощности. На (рис. 6 – рис. 10) приведены графики изменения основных параметров установки во время рассматриваемого переходного режима. Расчеты проводились для двух скоростей изменения мощности 25 МВт/мин и 50 МВт/мин.

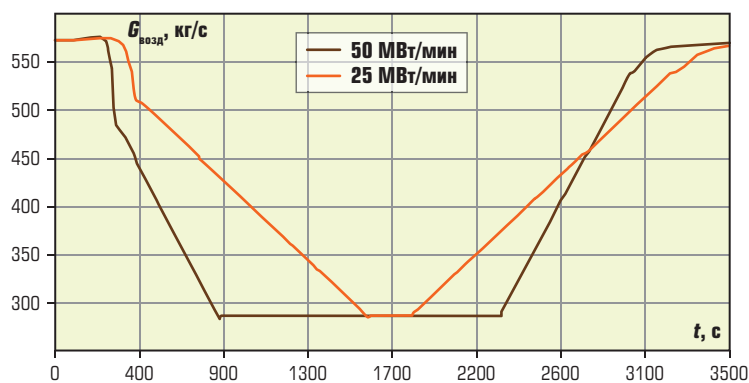
Во время маневрирования мощностью СРК работает в режиме поддержания давления в общем паровом коллекторе. Как видно из приведенных выше рисунков, разработанная модель позволяет проводить расчеты как при работе на номинальном уровне мощности, так и на различных переходных режимах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью программного комплекса РАДУГА-ЭУ разработана модель тепловой электростанции с турбиной К-500-240. Перечень моделируемого оборудования и система автоматического управления позволяет проводить расчеты широкого спектра динамических режимов работы энергоустановки. Применяемая при моделировании методика и программные средства могут быть использованы для разработки цифровых моделей как тепловых, так и атомных станций с турбинами других мощностей и с другими параметрами пара. Интерактивные мнемосхемы позволяют оперативно оценивать параметры модели и осуществлять управление оборудованием, что может быть полезно при обучении персонала энергоустановок.



▲ Рис. 9. КПД энергоблока



▲ Рис. 10. Расход воздуха

Список литературы

1. Кавун О.Ю. Методика моделирования динамики энергоблока АЭС, реализованная в программном комплексе “РАДУГА-ЭУ” // Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Физика ядерных реакторов, вып. 2, М., 1999.
2. Кавун О.Ю., Куно М.Я., Фейман В.Г. Программа “ТРР” для теплогидравлического расчета сложных теплогидравлических сетей. // Алгоритмы и программы для нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов НЕЙТРОНИКА-97: Сб. трудов семинара МАЭ РФ. Обнинск. 1998, с. 111-118.
3. Кавун О.Ю., А.М. Лифшиц, Семишин В.В. Концепция газоохлаждаемого внутренне безопасного ядерного реактора на быстрых нейтронах // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2021, № 4(141), с. 12-23.
4. Козлов О.С., Кондаков Д.Е., Скворцов Л.М., Тимофеев К.А., Ходаковский В.В. Инструкция пользователя программным комплексом “Моделирование в технических устройствах” (ПК “МВТУ”, версия 3.5) – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2007, 187 с.

ООО “НПЦ Приоритет”:

Лифшиц Александр Михайлович — генеральный директор,
Фейман Виктор Григорьевич — научный сотрудник.

МГТУ им. Н.Э. Баумана:

Кавун Олег Юрьевич — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Семишин Виктор Вадимович — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана.