

**ТЕПЛОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАМЕНЫ ПАРОВОГО
ТУРБО-ПРИВОДА ПИТАТЕЛЬНОГО НАСОСА
ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ЭНЕРГОБЛОКЕ АЭС
СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ**

Цибульский С.А., Галашов Н.Н., к.т.н.
Томский политехнический университет, г. Томск
E-mail: s.tzibulsky@yandex.ru

В институте атомной энергии И.В. Курчатова, начиная с 60-х годов прошлого века, был выполнен комплекс работ по исследованию перехода на сверхкритическое давление в энергетических реакторах с водным теплоносителем.

В настоящее время международное сотрудничество по инновационным ядерным технологиям развивается в рамках программы Generation-IV, играющей важную роль в определении основных направлений развития атомной энергетики России. На международном уровне были выбраны шесть ядерно-энергетических систем, внедрение которых после соответствующих разработок может быть начато не позднее 2030 г. Среди выбранных – система с легководным реактором со сверхкритическими параметрами теплоносителя (рабочее давление 25 МПа, максимальная температура 500–550 °С).

В России начаты исследовательские проработки одноконтурного варианта реакторной установки сверхкритического давления и продолжены работы по созданию двухконтурной установки. Разрабатываются две реакторные установки со спектральным регулированием и с быстрорезонансным спектром нейтронов [1]: мощностью 670 МВт с температурой теплоносителя на выходе из активной зоны в начале кампании 395 °С (В-370) и мощностью 600 МВт с наибольшей температурой теплоносителя 427 °С (В-600). Применительно к этим установкам разрабатываются парогенератор и паротурбинная установка.

В данной работе для исследования был выбран энергоблок номинальной мощностью 600 МВт с параметрами пара перед турбиной $P_0 = 23,5$ МПа и $t_0 = 407$ °С с установкой при двух разделительных давлениях двух СПП, обогреваемых свежим паром при большем разделительном давлении и паром из отбора – при меньшем. При выборе схемы и параметров блока использована статья [2].

Принципиальная схема энергоблока приведена на рисунке 1.

Система регенерации принята состоящей из 5-ти ПНД, деаэратора постоянного давления (0,69 МПа) и 4-х ПВД с конечной температурой питательной воды 275 °С. Все регенеративные подогреватели поверхно-

стного типа. Нагрев питательной воды и основного конденсата в группах ПВД и ПНД, соответственно, приняты равномерными. Дренаж ПВД4 сливается каскадно в ПВД3, дренаж которого, затем, сливается в деаэратор, который подключен как самостоятельная ступень. Дренаж ПВД2 и ПВД1 каскадно сливается в смешивающий узел. Схема слива дренажа группы ПНД – комбинированная: дренаж ПНД5 и ПНД4 каскадно сливаются в ПНД3, откуда дренажным насосом перекачиваются в точку смешения за ПНД3. Дренажи ПНД2 и ПНД1 каскадно сливаются в сливной бак конденсатора.

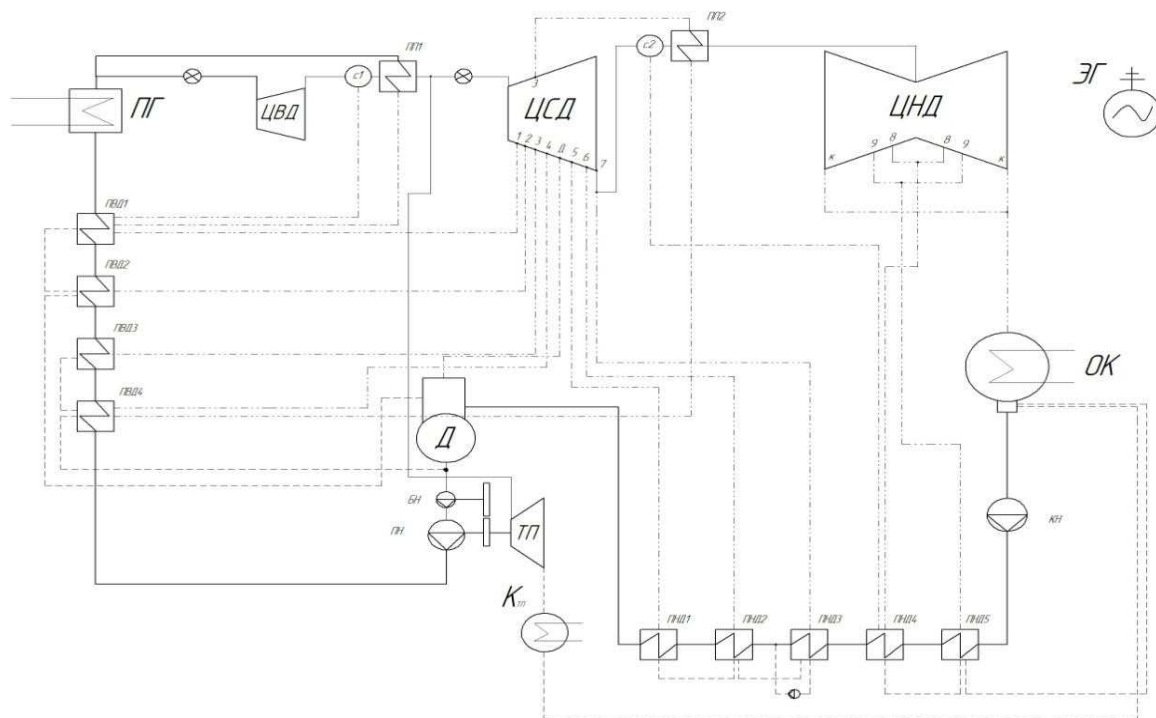


Рис. 1. Тепловая схема энергоблока АЭС на сверхкритическое давление

Дренаж первого сепаратора сливается в ПВД4, дренаж второго – в ПНД2. Применение в схеме промежуточных сепараторов позволяет увеличить степень сухости пара на входе в ТТ до 0,99. Первый пароперегреватель обогревается острым паром, конденсат которого направляется в ПВД4. Второй промежуточный подогреватель обогревается паром из третьего отбора, дренаж которого направляется в ПВД1. Пар на турбопривод берется из нитки горячего пара после СПП1. Турбопривод имеет собственный конденсатор, конденсат из которого направляется в сливной бак основного конденсатора.

Цилиндр высокого давления не имеет отборов. У цилиндра среднего давления имеются восемь отборов: четыре на ПВД, один на деаэратор и три на подогреватели низкого давления. Из цилиндра низкого давления выходят два отбора на ПНД.

Питательный насос создает давление в тракте питательной воды до 32,9 МПа. Мощность турбопривода питательного насоса составляет 36 МВт.

На основе принципиальной тепловой схемы (см. рис. 1) с помощью программы «SXTU_PRO», разработанной на кафедре «Атомных и тепловых электрических станций» Томского политехнического университета [3] создана модель тепловой схемы турбоустановки, информация которой приведена на рисунке 2.

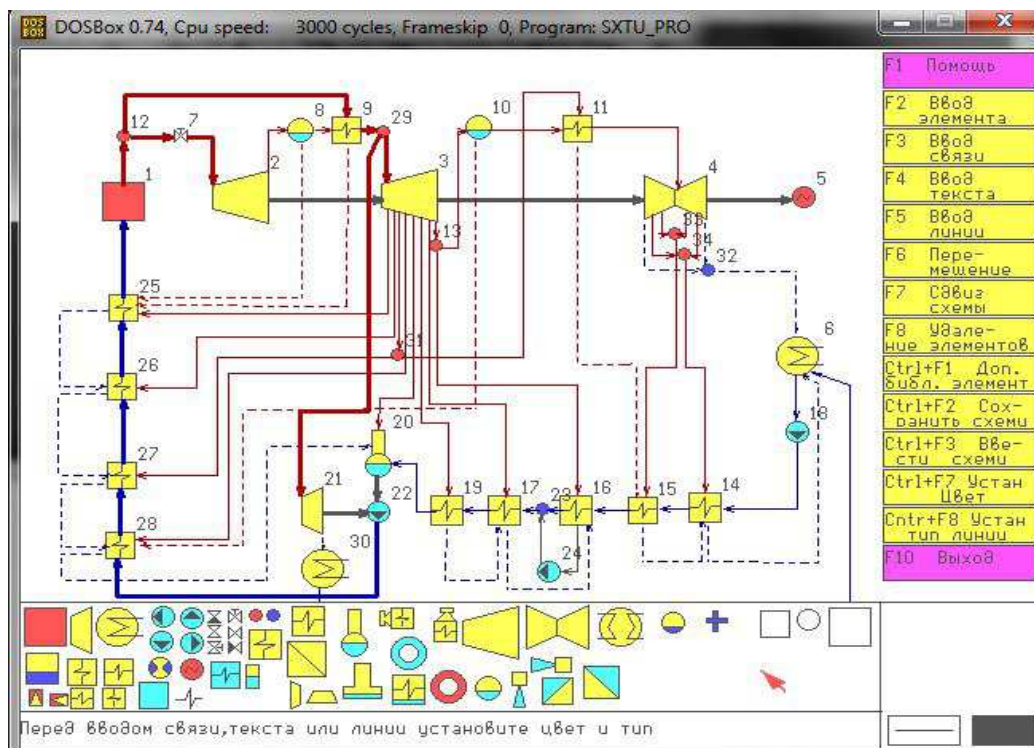


Рис. 2. Фрейм программы «SXTU_PRO» с информационной тепловой схемой энергоблока

Данные для моделирования энергоблока были взяты из [2] и представлены в виде таблицы 1.

В результате расчета тепловой схемы были получены следующие показатели эффективности блока: расход пара на блок 896 кг/с; расход пара на турбину 733 кг/с; электрический КПД брутто 46,79 %; электрический КПД нетто 43,56 %; удельный расход топлива по отпуску электроэнергии – 282,37 г у.т./(кВт·ч), что в переводе на ядерное топлива составляет 0,123 г я.т./(МВт·ч).

В качестве нового привода питательного насоса выбраны два газотурбинных двигателя ОАО «НМПО» НК-18СТА с эффективным КПД = 33 %, номинальной мощностью 18 МВт каждый. Эти двигатели были введены в модель вместо парового привода (см. рис. 2). Уходящие

газы двигателей с температурой 470 °С использованы для перегрева пара перед ЦВД.

Таблица 1. – Исходные данные для моделирования энергоблока [2]

Показатель	Значение
Начальное давление P_0 , МПа	23,5
Начальная температура t_0 , °С	407
1-е разделительное давление, МПа	7,5
Располагаемый теплоперепад в ЦВД, кДж/кг	109
Температура пара на входе в ЦСД, °С	387
2-е разделительное давление, МПа	0,14
Располагаемый теплоперепад в ЦСД, кДж/кг	770
Температура пара на входе в ЦНД, °С	210
Располагаемый теплоперепад в ЦНД, кДж/кг	570
Недогрев в ПНД, °С	5
Недогрев в ПВД, °С	4

В результате расчета тепловой схемы с газотурбинным двигателем в качестве привода питательного насоса были получены следующие показатели экономичности блока: электрическая мощность – 647 МВт; электрический КПД брутто – 50,22 %; электрический КПД нетто – 46,76 %; удельный расход топлива по отпуску электроэнергии в пересчете на условное – 263,06 г у.т./кВт·ч; удельный расход ядерного топлива – 0,115 г/(МВт·ч).

Сравнивая два полученных варианта энергоблока АЭС сверхкритического давления с паровым турбоприводом и с газотурбинным двигателем, можно сделать выводы: дополнительно генерируемая электрическая мощность на энергоблоке 47 МВт; прирост электрического КПД брутто 3,44 %; прирост электрического КПД нетто 3,20 %; снижение удельного расхода топлива в переводе на условное – 19,32 г у.т./(кВт·ч); снижение удельного расхода ядерного топлива – 0,008 г я.т./(МВт·ч).

Таким образом, замена парового турбопривода питательного насоса газотурбинным двигателем дает существенное увеличение мощности и КПД энергоблока сверхкритического давления на АЭС.

Список литературы:

1. Силин В.А. Двухконтурный вариант ВВЭР-СКДИ с одноходовой активной зоной со спектральным регулированием // Росэнергоатом. – 2009. – №9. – С. 10–13.
2. Силин В.А., Зорин В.М., Тагиров А.М. О тепловой схеме энергоблока АЭС с реактором, охлаждаемым водой сверхкритического давления. // Теплоэнергетика. – 2010. – № 12. – С. 32–37.
3. Галашов Н.Н. Объектное моделирование тепловых схем паротурбинных установок. // Электрические станции. – 2008. – № 12. – С. 14–17.