

УДК 621.39

**АККУМУЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОТЫ НА АЭС  
HEAT STORAGE AT NPP**

В.С. Баянкова, А.Д. Белозёрова

Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** приведены концептуальные требования повышения маневренности АЭС с ВВЭР. Рассмотрена схема с аккумулятором питательной воды высокого давления, а также схема с аккумулятором фазового перехода. Описаны особенности регулирования нагрузки с применением аккумуляторов теплоты.

**Abstract:** the conceptual requirements for increasing the maneuverability of NPPs with VVER are given. A scheme with a high-pressure feed water heat accumulator, as well as a scheme with a phase transition heat accumulator, is considered. The features of load regulation with the use of heat accumulators are described.

**Ключевые слова:** маневренность, разгрузка, аккумуляторы питательной воды, аккумуляторы фазового перехода.

**Keywords:** maneuverability, unloading, feedwater heat accumulators, phase change heat accumulators.

**Введение**

В условиях возрастания доли АЭС в энергетике стран актуальным является вовлечение таких электростанций в регулирование частоты и мощности в энергосистеме. Рассмотрим способ повышения маневренности АЭС за счет аккумулялирования теплоты.

**Основная часть**

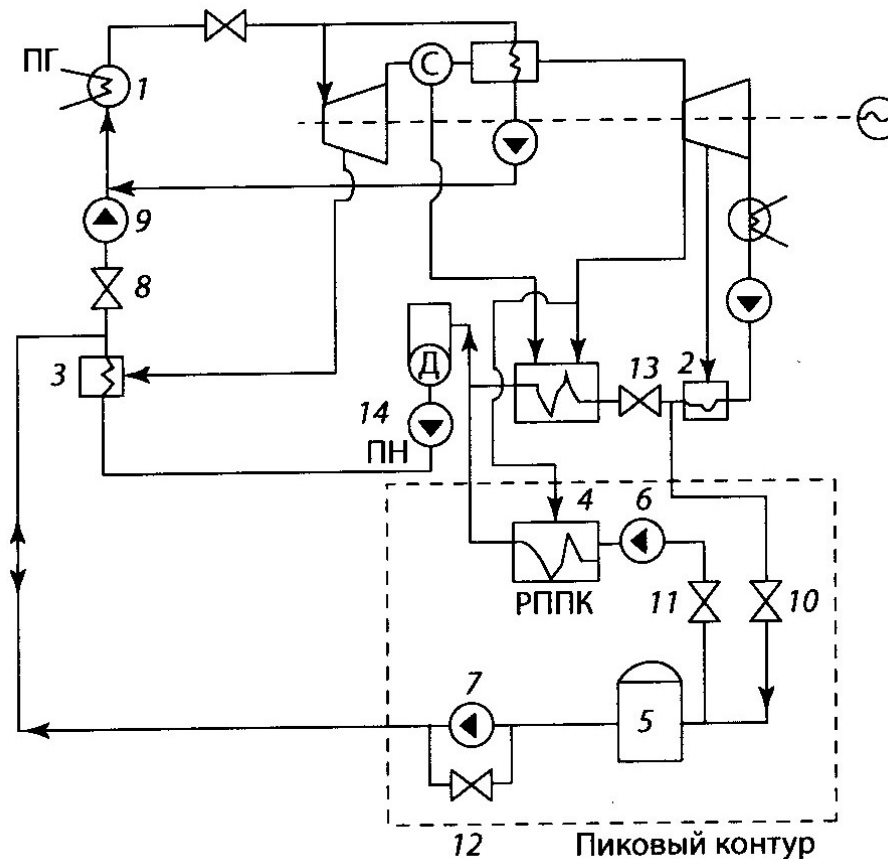
Для АЭС с ВВЭР требования к их маневренности сформированы в нормативных документах, нашли частичную реализацию в уже сооруженных, и более полную в проектируемых АЭС [1].

Приведем концептуальные требования повышения маневренности, обобщающие имеющийся зарубежный опыт [2]:

- обеспечение прохождения еженедельных провалов нагрузки в выходные дни и надежная работа на стационарных нагрузках до 50%;
- использование более совершенных систем регулирования мощности реактора по максимальному допустимому офсету активной зоны и другим параметрам;
- обеспечение надежности работы ТВЭЛов в плавнопеременных режимах без разрушающих взаимодействий топлива с оболочкой (ВТО);
- избежание попаданий в «йодную яму» при маневрировании – отравления  $^{135}\text{Xe}$  – за счет совершенствования водно-борного регулирования и другими путями, в том числе применением регулирующих стержней разной эффективности.

Разгрузка АЭС – прямой способ участия в регулировании графиков нагрузки. Из косвенных путей, когда тепловая мощность реакторной части при следовании блока за нагрузкой сети не изменяется (или меняется сравнительно мало) наиболее реальными являются схемы с аккумуляторами питательной воды (АПВ) высокого давления, а также схемы с аккумуляторами фазового перехода (АФП).

На рисунке 1 представлена упрощенная схема с АПВ и пиковым контуром.



- 1 – парогенератор; 2 – ПНД; 3 – ПВД; 4 – РППК регенеративный подогреватель пикового контура; 5 – бак-аккумулятор; 6 – насос холодной воды ПК; 7 – насос горячей воды ПК; 8 – регулирующий клапан; 9 – насос второго подъема; 10, 11, 12, 13, – задвижки; 14 – питательный насос [2]

Рисунок 1 – Схема установки аккумулятора питательной воды высокого давления на АЭС

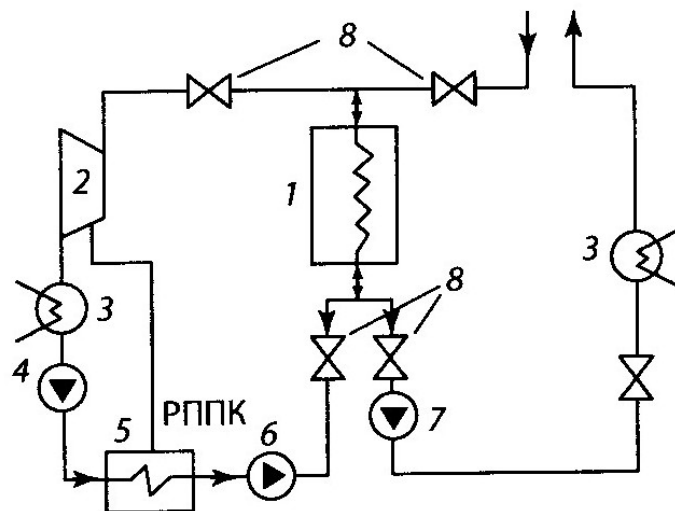
В периоды провалов нагрузки холодная вода из нижней части АПВ 5 насосом 6 прокачивается через регенеративный подогреватель пикового контура РППК 4 и поступает в верхнюю часть АПВ через деаэратор, питательный насос первого подъема, подогреватель высокого давления, линию байпасного питания (пикового контура), открытую байпасную задвижку 12. Задвижка 10 закрыта, задвижки 11, 12 и 13 открыты, насос 7 выключен. Из-за роста расхода греющего пара из отборов снижается электрическая мощность турбины.

При максимальной нагрузке регенеративная схема полностью отключается. Горячая вода из верхней части АПВ насосом подается на всас питательного насоса второго подъема 9 и далее в ПГ 1. Задвижка 10 открыта, задвижки 11, 12 и 13 закрыты. Высвободившийся регенеративный поток повышает мощность

турбины. Оптимальное число часов использования пикового контура в году от 500 до 1000 ч/год.

Схемы с разделенным хранением горячей и холодной воды надежнее, но дороже.

На рисунке 2 представлена принципиальная схема аккумуляции теплоты в аккумуляторах фазового перехода (АФП).



1 – аккумулятор фазового перехода (АФП); 2 – пиковая турбина; 3 – конденсаторы ПК;  
4,7 – конденсатные насосы; 5 – регенеративный подогреватель пикового контура;  
6 – питательный насос; 8 – задвижки [2]

Рисунок 2 – Схема пикового контура с АФП

В период минимальной нагрузки избыток тепловой энергии реактора отводится в АФП 1, где она аккумулируется в процессе плавления теплоаккумулирующего вещества (ТАВ).

В период максимальной нагрузки запасенная теплота передается рабочему телу в пиковый контур с турбиной 2. В пиковой турбине предусмотрена регенерация, что позволяет поддержать приемлемую температуру на входе в АФП для предотвращения сильного переохлаждения и кристаллизации ТАВ в период разряда. Требования к ТАВ для АЭС  $t_{njl} = 200\text{--}250$  °С, высокая теплопроводность, теплоемкость, химическая стабильность, антикоррозийность, небольшие изменения объемов при фазовом переходе, пожаробезопасность, дешевизна, нетоксичность.

В данной схеме процесс заряда-разряда проходит при атмосферном давлении теплоаккумулирующего вещества и его постоянной температуре.

Вместе с тем, в последний период застывания ТАВ (например, отверждения  $\text{LiNO}_3$  и др.) происходит снижение интенсивности теплообмена на участке «АФП – рабочее тело пикового контура», и, как следствие этого, плавное понижение параметров пиковой турбины («дрейф» параметров).

### Заключение

Отметим при этом, что ни один из типов аккумуляторов, например, на Российских АЭС пока не внедрен в основном из-за проблем, связанных с необходимостью дополнительного обоснования безопасности по условиям больших течей во втором контуре [2].

### Литература

1. АЭС с ВВЭР: режимы, характеристики, эффективность / Р.З. Аминов [и др.]. – М: Энергоатомиздат, 1990. – 264 с.
2. Региональная эффективность проектов АЭС / Под общ. ред. П.Л. Ипатова. – М: Энергоатомиздат, 2005. – 228 с.