

УДК 621.311.22

БЕЛОРУССКАЯ АЭС В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ СТРАНЫ

Ботько Е.Н.

Научный руководитель – д.т.н. профессор Карницкий Н.Б.

На современном этапе жизни планеты развитие экономики и рост благосостояния населения делает все более актуальным вопрос обеспечения возрастающих потребностей различных отраслей электрической и тепловой энергией.

Сегодня страны, которые обладают значительным опытом использования атомной энергетики продолжают ее развивать. Однако самые масштабные программы развития и самый большой вклад в темпы роста мировой атомной энергетики вносят новые государства, которые только начинают создавать атомную отрасль.

В настоящее время Республика Беларусь активно ведет сооружение атомной электростанции, которая позволит несколько ослабить острую нехватку собственных топливно-энергетических ресурсов. Развитие атомной энергетики имеет для республики стратегическое значение в обеспечении энергетической и экономической безопасности.

Планируемое внедрение двух энергоблоков АЭС в Беларуси, которые будут работать в базовом режиме, приведет к тому, что покрытие пиковых и полупиковых нагрузок в энергосистеме будет производиться энергоблоками КЭС, за счет их работы в широком диапазоне изменения нагрузок. Это обстоятельство повышает актуальность проблемы ввода в энергосистему страны новых мощностей для обеспечения «подхвата мощности», в случае отключения АЭС, а также существенного повышения качества регулирования мощности электрических станций, работающих в условиях переменных режимов и нагрузок. Кроме того, в настоящее время в энергосистеме наблюдается износ (достижение предельных наработок времени) основного оборудования большинства существующих электростанций, электрических и тепловых сетей, что приводит к снижению экономичности, надежности и долговечности работы теплоэнергетического оборудования. Поэтому ставится вопрос, связанный с обновлением основных производственных фондов за счет ввода новых мощностей либо модернизации существующих.

Основным направлением модернизации действующих генерирующих источников является внедрение высокоэффективных парогазовых технологий путем газовой надстройки на действующих паросиловых блоках, модернизация существующих турбин, замена устаревших и отработавших свой срок турбоагрегатов на новые, с улучшенными технико-экономическими показателями.

Включение АЭС в энергосистему требует тщательной проработки, поскольку режим работы АЭС в энергосистеме зависит от многих факторов: структура генерирующих мощностей; маневренность характеристик основного оборудования и т.д. Для энергоблоков с реакторами ВВЭР следует учитывать необходимость ежегодной остановки энергоблока на время около 30–40 суток для перегрузки топлива, а также изменение маневренности ядерной паропроизводящей установки в течении топливной компании.

Как правило, сегодня основным режимом работы энергоблока АЭС является работа в базовом режиме на 100 % мощности. Оборудование и системы энергоблока допускают возможность работы в маневренных режимах регулирования мощности.

Планируется, что работа энергоблоков Белорусской АЭС будет осуществляться в базовом режиме с КИУМ не менее 90 %. При этом регулировочный диапазон нагрузок будет лежать в диапазоне 20-100 % $N_{ном}$. В базовом режиме работы будет обеспечиваться поддержание заданного уровня мощности энергоблока с возможностью планового перехода с одного уровня мощности на другой. После включения АЭС в сеть предусматривается использование мощностей для работы в режиме поддержания частоты в энергосистеме.

Для оценки преимуществ от строительства АЭС был выполнен сравнительный анализ некоторых технико-экономических показателей АЭС (два энергоблока суммарной

электрической мощностью 2400 МВт) с аналогичными показателями для КЭС (шесть блоков по 400 МВт каждый).

К важнейшим экономическим показателям относят капиталовложения и эксплуатационные расходы, связанные с отпуском электроэнергии или тепла (себестоимость).

Поскольку для характеристики АЭС и эффективности ее работы используются технико-экономические показатели, аналогичные тем, которые приняты в теплоэнергетике [1], расчет осуществляется по схожей методике.

Таблица 1 – Таблица исходных данных для расчета [2-5]

Наименование показателя	Обозначение	Величина	Значение	
			АЭС	Электростанция на газе
Электрическая мощность	N	МВт	до 2400	2400
Тепловая мощность	Q_p	МВт	6400	170
Удельные капиталовложения	k	доллар США/кВт	2730	1500
Среднее выгорание топлива	B_u	МВт·сут/кг	55.5	-
КПД ЭС	η	%	33.7	55.5
Стоимость условного топлива	Π	доллар США /т.у.т.	60	250
Число часов использования	h	ч/год	7900	7000
Штатный коэффициент	$k^{шт}$	чел./МВт	0.8	0.78
Срок эксплуатации	T	лет	50	30
Собственные нужды	$\Delta \mathcal{E}^{сн}$	%	6	3

Удельные капиталовложения, или удельная стоимость установленного киловатта электрической мощности станции, являются важным экономическим показателем, влияющим не только на эффективность работы, но также на конкурентоспособность АЭС по отношению к другим типам электростанций (в данном случае к КЭС) при планировании развития энергетики в том или ином районе страны. На удельную стоимость установленного киловатта влияет ряд факторов: сложность и цена основного оборудования; район размещения станции; принятая тепловая схема; компоновочные решения; методы строительства, монтажа и т.д. Полные капиталовложения на электростанции K определяются по формуле:

$$K = k \cdot N,$$

где k и N - удельные капиталовложения в сооружение электростанции и ее мощность.

Себестоимость характеризует совокупность затрат в денежном выражении овещественного и живого труда в процессе производства электрической энергии на электростанции [1] и определяется по формуле:

$$C^{ээ} = \frac{И}{N \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\Delta \mathcal{E}^{сн}}{100}\right)},$$

где $\Delta \mathcal{E}^{сн}$ - доля электроэнергии из общей выработки для собственных нужд; $И = И_{п} + И_{пер}$ - суммарные годовые издержки (или затраты) производства электроэнергии на электростанции [4], где $И_{п} = И_{ам} + И_{зп} + И_{пр}$ - затраты на производство электроэнергии, зависящие от количества отпускаемой электроэнергии (постоянная составляющая), $И_{пер} = И_{топл}$ - затраты на производство электроэнергии, не зависящие от количества отпускаемой электроэнергии (переменная составляющая).

Основным из отличий АЭС и КЭС является использование различных видов топлива. Издержки на ядерное топливо составляют основную (более 90%) часть переменных расходов на производство электроэнергии на АЭС.

Для определения топливных издержек $\Pi_{тут}$ используется формула:

$$И_{топл} = B_{год} \cdot \Pi_{тут}$$

где $B_{\text{год}}$ - расход условного топлива в год.

Общий расход ядерного топлива, необходимый для работы реакторов в течение года определяется по формуле:

$$B_{\text{год}} = \frac{0,123 \cdot N \cdot h}{\eta},$$

где $C_{\text{тут}}$ - цена тонны условного топлива.

Показателем экономической эффективности капитальных вложений в энергетике является [3] минимум капитальных затрат. Значение приведенных затрат $Z_{\text{пр}}$ при допущении, что капиталовложения в электростанцию осуществляются в течение одного года, а ежегодные издержки производства остаются постоянными за весь срок службы электростанции, определяется по формуле [1]:

$$Z_{\text{пр}} = K \cdot E_{\text{н}} + И,$$

где $E_{\text{н}}$ – коэффициент эффективности.

Удельные приведенные затраты $Z_{\text{пр}}^y$ определяем по формуле:

$$Z_{\text{пр}}^y = \frac{Z_{\text{пр}}}{1000 \cdot N \cdot h \cdot \left(1 - \frac{\Delta \mathcal{E}^{\text{сн}}}{100}\right)},$$

Для определения степени использования установленной мощности электростанции в году, определяется КИУМ:

$$\text{КИУМ} = \frac{h}{T_{\text{календ}}}.$$

Исходя из полученных результатов сделан вывод о том, что на АЭС себестоимость электроэнергии (1,4 цент/кВт·ч) и расчетные затраты в основном определяются топливной составляющей и составляющими, зависящими от капитальных вложений. Очевидно, что чем меньше стоимость ядерного топлива и установленного киловатта, тем ниже, при прочих равных условиях, себестоимость электроэнергии и удельные расчетные затраты. В настоящее время на АЭС составляющая удельных расчетных затрат, зависящая от начальных капиталовложений ($K=6,388$ млрд. долларов США), заметно превосходит топливную ($И=26,7$ млн. долларов США). Поэтому снижение капиталовложений на сооружение станции является основной задачей атомной энергетики. Для ее решения проводят укрупнение единичных мощностей основных агрегатов. Однако следует иметь в виду, что требования к их надежности при этом существенно возрастают, так как потери от простоя при выключении одного блока резко увеличиваются. Реальным путем снижения стоимости сооружения АЭС является также совершенствование ее компоновки и отказ от некоторых проектных решений, принимавшихся ранее в связи с недостаточным опытом эксплуатации таких электростанций. Уменьшение капиталовложений в строительство АЭС связано также с использованием более дешевых и менее дефицитных конструкционных материалов. Это относится, например, к замене аустенитных нержавеющей сталей на перлитные в контурах реактора и всей станции, а также к отказу от применения аустенитных сталей при сооружении различных водяных емкостей станции вне зоны облучения и с использованием для этой цели различных защитных покрытий [2].

Таким образом, себестоимость электроэнергии, производимой на АЭС, на 15 % превосходит аналогичный показатель для КЭС. При этом капиталовложения в строительство АЭС примерно в два раза выше аналогичного показателя для КЭС. Последнее обусловлено «укрупнением» энергоблоков АЭС т.е. повышением единичной мощности, а также повышенной безопасностью таких сооружений. Кроме того эксплуатация КЭС экономически оправдана только первые 10-15 лет, с увеличением срока эксплуатации выгоднее эксплуатация АЭС (за счет суммарных затрат).

Литература:

1 Воронин Л.М. Особенности эксплуатации и ремонта АЭС / Л.М. Воронин. – М.: Энергоиздат, 1981 – 168 с.

- 2 Зорин, В.М. Атомные электростанции: учебное пособие / В.М. Зорин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 672 с.
- 3 Инструкция по определению экономической эффективности капитальных вложений в развитие энергетического хозяйства (генерирование, передача и распределение электрической и тепловой энергии). М., Энергия, 1973.
- 4 Методика расчета проектной себестоимости тепла и электроэнергии на ТЭС. ОСТ 34-255-75. М., Минэнерго СССР, 1975.
- 5 Нагорнов, В.Н. Методические указания к курсовой работе по курсу: «Экономика энергетики» / В.Н. Нагорнов. Минск, 2004.
- 6 Электронное издание «Реакторная установка АЭС – 2006: Стратегический выбор». Подольск., ОКБ «Гидропресс». 2006.