

## Целевые показатели и характеристики АЭС для обеспечения конкурентоспособности на мировом рынке

Махин В.М., Пиминов В.А., Кулаков А.В., Семишкин В.П., Чусов И.А.  
АО ОКБ «ГИДРОПРЕСС», 142103, г.Подольск Московской обл., ул. Орджоникидзе,21

makhin@grpress.podolsk.ru

Ключевые слова: реактор, установка реакторная, энергоблок, безубыточность, конкурентоспособность, себестоимость, индикаторы, императивный, индикативный.

Рассматриваются целевые показатели АЭС для использования при конструировании реакторной установки и проектировании АЭС: приведенная стоимость электроэнергии, производимой энергоблоком – Levelised Unit Energy Costs (LCOE), относительный уровень стоимости капиталовложений, отнесенный к 1 кВт производимой электроэнергии – Total Capital Investment Cost (TCIC) и индикативные показатели.

LCOE определяет условия «безубыточности» АЭС за время ее эксплуатации. TCIC необходим для оценки стоимости капитальных вложений. LCOE и TCIC являются императивными, то есть показателями, обязательными для исполнения показателями.

Подтверждены условия конкурентоспособности: LCOE должно быть менее LCOE действующих установок (АЭС, установок тепловой энергетики и других энергоустановок); TCIC должен быть менее  $0,8 TCIC_{\text{минимум}}$  действующих АЭС.

Рассматриваются зарубежные индикативные показатели (индикаторы), которые применяются на стадии выполнения конструкторских и проектных работ. При их использовании возможно создание условий для выполнения указанных императивных требований по LCOE и TCIC.

По значениям TCIC можно выделить две группы стран: первая группа стран - OECD и США; вторая группа - Республика Корея и Китай. Значения TCIC для этих групп различаются в 2- 3 раза (максимальное значение: 6220 долл./кВт – Венгрия и минимальное значение: 2020 долл./кВт- Республика Корея).

Различие в TCIC и LCOE в Корее и Китае (2-я группа) в сравнении с США и OECD (1-я группа) составляет:

TCIC –3000-6220 долл./кВт (1-я группа) и 1500-3000 долл./кВт (2-я группа);

LCOE -5-8 цент/(кВт ч) и 3-5 цент/(кВт ч). Ставка дисконтирования при расчетах LCOE и TCIC принята равной 5%. Возможные отклонения значений LCOE и TCIC составляют  $\pm 15\%$ .

Причиной отмеченного различия для двух групп стран является не только разница в оплате труда и стоимости материалов и комплектующих, но и технические различия конструкций энергоблоков, в т.ч. отличие в электрической мощности.

В Корее разработан и эксплуатируется энергоблок с реактором APR-1400 (разработчик – KERSCO/KHNP ) с электрической мощностью, выдаваемой в сеть – 1400 МВт, КПД энергоблока - 35%. В реакторной установке APR-1400 применяются 2 петли (по 2 насоса на «холодной» части каждой петли) и 2 парогенератора (по одному парогенератору на каждую петлю аналогично, как в AP-1000) . В Венгрии планируется строительство энергоблока ВВЭР-1200 мощностью 1200 МВт эл. с 4 петлями (4 насоса и 4 парогенератора, т.е. в 2 раза больше, чем в APR-1400). Таким образом, имеется различие в конструкции и мощности используемых реакторов и АЭС и, соответственно, в их стоимости.

В Китае в результате строительства различных по конструкции энергоблоков с водоохлаждаемыми реакторами (ВВЭР-1000 – четырехпетлевая установка, AP-1000-двухпетлевая установка и HPR-1000-трехпетлевая установка) установлена экономичность создания трехпетлевых установок HPR-1000 (тепловая мощность - 3150 МВт, электрическая мощность -1212 МВт). Удельная стоимость капиталовложений в HPR-1000, отнесенная к 1 кВт эл. на 18% меньше, чем в CAP-

1000 (AP-1000, сооруженный в Китае). Ранее трехпетлевые установки применялись в PWR мощностью 900 МВт эл. Таким образом, проектные и конструкторские решения оказывают существенное влияние на экономические показатели.

Отмечается отличие в капитальных затратах первого и серии энергоблоков, выполненных по одному проекту. Строительство первого энергоблока дороже остальных примерно на 20%. Строительство на одной площадке двух энергоблоков по одному проекту приводит к снижению TCIC на ~15%.

Как показывает опыт строительства AP-1000 и EPR в Китае, различие проектной и реальной стоимостей строительства этих блоков не столь значительно, как это установлено в США и Финляндии. Основная причина различия значений стоимости строительства в Китае – наличие недоработок в проекте; в других странах наряду с отмеченными недоработками в проекте отмечаются недостатки в организации строительства.

При освоении технологии AP-1000 в Китае снижено время строительства от «первого бетона» до сдачи в коммерческую эксплуатацию, которое равняется 66,2 месяца, что меньше, чем при строительстве АЭС с ВВЭР и PWR.

Таким образом, энергоблоки с реакторами ВВЭР и PWR модернизируются и совершенствуются. При этом актуальной задачей является снижение стоимости установок, т.е. снижение TCIC.

На примере энергоблока с критическими параметрами воды HPLWR (установка «Поколение-4») рассмотрены используемые при проектировании индикативные показатели (индикаторы):

- удельная масса первого контура, отнесенная к электрической мощности;
- удельный объем контайнмента, отнесенный к электрической мощности;
- отношение массы турбины к электрической мощности.

В качестве объектов для сравнения использованы данные для PWR (1400МВт эл.) и BWR (1344 МВт эл.), которые были сооружены в Германии. Установлено, что одноконтурные установки HPLWR (Германия) по большинству показателей имеют меньшие значения индикаторов, чем установки, принятые для сравнения. Прогнозируемые значения LCOE равны от 5,0 до 7,8 цент/(кВт ч) и среднее значение равно 6,2 цент/(кВт ч); TCIC –от 2874 до 4818 долл/кВт эл и среднее значение – 3320 долл/кВт эл.

Указанное значение  $TCIC_{HPLWR} = 3320$  долл/кВт эл меньше 0,8 TCIC для энергоблока в OECD:  $TCIC \leq 0,8 \times 4249 = 3400$  долл/кВт (эл). Таким образом, выполнено требование по стоимости конкурентоспособной установки.

В Китае проектируется аналогичный энергоблок с CSR-1000 (Китай), который близок по конструкции и параметрам HPLWR.

Таким образом, рассмотрены основные технико-экономические характеристики энергоблоков с ВВЭР и PWR, определяющие их экономическую конкурентоспособность. Установлена связь экономических характеристик с техническими показателями и показана полезность индикативных показателей (индикаторов), которые на стадии разработки проекта ориентируют разработчиков на создание конкурентоспособной установки.