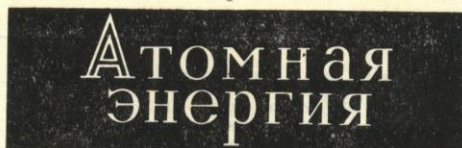


Ж 53
A92

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР



Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ТРИНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 25 ■ Ноябрь ■ Вып. 5

Главный редактор
М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ

Заместители главного редактора
Н. А. ВЛАСОВ, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, И. Н. ГОЛОВИН,
Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, А. К. КРАСИН,
А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, П. Н. ПАЛЕЙ,
Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО

СОДЕРЖАНИЕ

СЕДЬМОЙ КОНГРЕСС МИРОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ (секция «Атомные электростанции»)		355
А. П. Александров. Ядерная энергетика и ее роль в техническом прогрессе		356
С. М. Фейнберг. Атомные электростанции		363
А. И. Лейпунский, И. И. Африкантов, О. Д. Казачковский, В. В. Орлов, М. С. Пинхасик, М. Ф. Троянов. Развитие ядерной энергетики с реакторами на быстрых нейтронах в СССР		380
Н. А. Доллежал, Ю. И. Корякин. Некоторые вопросы работы АЭС в энергосистемах		387
А. И. Чурин, В. А. Клячко, Ю. И. Корякин, Г. М. Соловьев, А. А. Логинов, В. В. Рыбачев. Совмещение крупных атомных электростанций с опреснительными установками		394
А. И. Лейпунский, И. И. Африкантов, И. С. Головин, Ф. М. Митенков, В. В. Орлов, М. С. Пинхасик, А. А. Ринейский, В. В. Стекольников, М. Ф. Троянов, В. И. Ширяев. Атомная электростанция с реактором БН-600		403
В. В. Стекольников, В. А. Сидоренко, В. П. Татарников, Б. С. Язвенко, В. П. Денисов. Атомная электростанция с двумя реакторными блоками мощностью по 440 Мвт (2 × 440 Мвт)		408
Рефераты иностранных докладов секции «Атомные электростанции»		416
АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ		
Н. С. Николаев, А. Т. Садигова. Комплексные соединения гексафторида урана с фторидами щелочных металлов (Сообщение первое)		422
В. А. Храмченков. Радиолиз смесей насыщенных и ароматических фторуглеродов		423
В. Н. Смирнов, М. И. Ушкова, А. М. Новиков. Использование изотопа Te^{125m} качестве источника рентгеновского излучения		424
Е. М. Войнов, Г. Д. Ефремова, Н. А. Колокольцов. Теоретическое и экспериментальное исследование естественной конвекции газа в замкнутом контуре		425
Б. В. Окулов. О зависимости интенсивности тормозного излучения от энергии ускоренных электронов		426
С. А. Чурин. Расчет матричным методом спектрально-угловых характеристик излучения внутри плоских барьеров		426
ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ		
Ю. А. Шуклюков, Г. Ш. Ашкенадзе. Определение константы скорости спонтанного деления U^{235} по накоплению изотопов ксенона в урановых минералах		428
А. В. Безносикова, Е. С. Смотряцкая, Н. Т. Чеботарев. Структура соединения PuPd		430
Н. Т. Чеботарев, Ю. Н. Сокурский, М. А. Андрианов, А. А. Иванов. Магнитная восприимчивость сплавов плутония с палладием		431
Л. В. Павлинов. Диффузия урана в титан-молибденовых сплавах		434
А. А. Лукьянов, С. А. Эль-Вакиль. Многоуровневое описание энергетической структуры нейтронных сечений		435
Ф. Насыров. Средние по спектру нейтронов деления сечения реакций $(n, 2n)$, (n, p) , (n, α)		437
Э. Т. Шипатов, Б. А. Кононов. Энергетическое распределение протонов с энергией 6,72 Мэв, прошедших через монокристаллы		439
В. Н. Байер, В. А. Хоае. Эффекты рассеяния частиц внутри пучков поляризованных электронов в накопителях		440
А. М. Кольчужкин, В. В. Учайкин. К расчету прохождения γ -излучения через неоднородный барьер		442
В. Д. Виленский, В. В. Емельянов. Концентрация Si^{32} в атмосфере		444

235408



РГ

с высоким ϕ , допускает использование дорогих сменяемых (используемых повторно) и несменяемых конструктивных элементов тепловыделяющих сборок, так как интенсивность использования этих элементов в данном случае высокая.

12. Тот или иной режим работы электростанции оказывает разное влияние на к. п. д. термодинамического цикла преобразования тепловой энергии в электрическую (η). То обстоятельство, что величина η входит в выражение для всех составляющих себестоимости электроэнергии, оказывает значительное влияние на экономичность производства электроэнергии. Следовательно, чем меньше величина ϕ , тем более важно повышение к. п. д. цикла для некоторой компенсации отрицательного влияния на экономику АЭС уменьшения числа часов использования мощности АЭС. Не менее важно и то, что при одной и той же электрической мощности чем больше η , тем меньше тепловая мощность реактора, а значит, и его стоимость, занимающая значительную долю в стоимости АЭС. Наблюдаемая тенденция повышения к. п. д. атомных электростанций является экономически оправданным процессом, в том числе и в свете возможной работы АЭС с тепловыми реакторами при пониженном значении ϕ .

Наконец, чем выше значение к. п. д., тем меньше трудности с обеспечением необходимого количества воды для охлаждения конденсаторов турбин. Как известно, проблема обеспечения необходимой акватории водоема при ТЭС или АЭС в связи с бурным развитием энергетики уже стала весьма серьезной, приводящей к трудностям выбора площадок для строительства электростанций.

Выводы

Вопрос о режимах работы АЭС в энергосистемах пока еще нельзя считать окончательно разрешенным. В настоящее время, когда ядерная энергетика еще не достигла значительных,

соизмеримых с обычной энергетикой масштабов использования, могут быть высказаны по этому вопросу в основном качественные соображения. По-видимому, должно пройти некоторое время, пока данные об эксплуатации большого числа АЭС позволят судить о режимах их работы в тех или иных конкретных условиях с большей определенностью.

Однако уже сейчас становится ясным, что объективные условия и характер потребления электроэнергии в энергосистемах свидетельствуют о неизбежности использования АЭС с тепловыми реакторами в режиме с умеренными коэффициентами использования установленной мощности. Поэтому даже в условиях, когда будут созданы мощные экономичные энергетические реакторы на быстрых нейтронах и окажется возможным их широкое использование для наращивания электрогенерирующих мощностей, использование АЭС с тепловыми реакторами по изложенным причинам также окажется возможным и необходимым. Все это доказывает перспективность работ по усовершенствованию тепловых реакторов на отдаленное будущее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д. Г. Жимерин. Энергетика и экономика. М., «Знание», 1966.
2. А. М. Некрасов, Г. С. Зелевинский. Доклад № 316, представленный СССР на Третью Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
3. Л. А. Мелентев, М. А. Стырикович, Б. О. Штейнгауз. Топливо-энергетический баланс СССР. М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
4. А. А. Бесчинский и др. Проблемы перспективного электробаланса СССР. Доклад на Всесоюзной конференции по проблемам топливо-энергетического баланса СССР (Москва, май 1966). М., Изд. Мингазпрома, 1966.
5. Н. М. Синев и др. Доклад № 294, представленный СССР на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).
6. А. Я. Аврух. Проблемы себестоимости электрической и тепловой энергии. М.—Л., «Энергия», 1966, стр. 172.

Совмещение крупных атомных электростанций с опреснительными установками

А. И. ЧУРИН, В. А. КЛЯЧКО, Ю. И. КОРЯКИН, Г. М. СОЛОВЬЕВ,
А. А. ЛОГИНОВ, В. В. РЫБАЧЕВ

УДК 621.039.576:621.039.577

Острый недостаток пресной воды для водоснабжения городов, сельских населенных мест и промышленных предприятий в южных и юго-восточных районах СССР настоятельно требует

развития опреснения соленых вод, запасы которых в этих районах практически неисчерпаемы.

Использование ядерной энергии для опреснения воды открывает перспективы такого

снижения стоимости опреснения воды, которое позволит использовать опресненную воду не только для водоснабжения, но и для орошения ценных сельскохозяйственных культур.

При современной степени технической освоенности различных способов опреснения воды (дистилляция, электродиализ, вымораживание, гиперфльтрация) дистилляция соленой воды с использованием тепла ядерного реактора является наиболее перспективным способом опреснения воды в крупных масштабах.

Учитывая успехи советского реакторостроения, а также достижения в области технологии опреснения воды дистилляцией и накопленный опыт, можно утверждать, что уже сейчас практически осуществимо строительство мощных ядерно-энергетических опреснительных установок.

Расчеты показывают, что один из путей удешевления воды — увеличение масштаба ее производства на каждой опреснительной установке. Особенно сильно влияет увеличение масштаба производства на снижение стоимости опреснения воды на ядерно-энергетических установках.

Поэтому ядерно-энергетические опреснительные установки будут применяться главным образом на станциях с опреснительными блоками производительностью в сотни тысяч и даже в миллионы кубических метров пресной воды в сутки. Такие установки будут применяться только для водоснабжения крупных промышленных центров с развитой промышленностью и большим населением. Например, в СССР в одном из крупных промышленных центров (г. Шевченко на п-ве Мангышлак) строится первая в мире ядерно-энергетическая опреснительная установка производительностью 120 тыс. м³/сутки.

Размещение опреснительных установок в промышленных центрах дает дополнительные экономические преимущества — эти установки могут быть построены как трехцелевые, т. е. вырабатывающие одновременно три вида продукции: электрическую энергию, тепло и пресную воду.

Из этих видов продукции трехцелевой водотеплоэлектростанции (ВТЭС) вода является продуктом, который может накапливаться в резервуарах в часы минимального потребления с тем, чтобы запасы ее расходовались в часы максимального потребления воды.

Периоды максимального потребления воды (лето, жаркая погода) не совпадают с периодами высокой потребности в тепле (зима, холод-

ная погода) и пиками потребления электроэнергии. Если далее рассмотреть недельные и суточные графики потребления тепла и электроэнергии для промышленных целей и быта, то и здесь также будет благотворно сказываться наличие производства пресной воды.

Такое несовпадение максимальных нагрузок на ВТЭС по воде, теплу и электроэнергии позволяет при наличии запасных резервуаров для пресной воды эксплуатировать реактор станции в неизменном оптимальном режиме большую часть года, что обеспечивает высокие экономические показатели по ВТЭС в целом.

Тип реактора для опреснительной установки

Если различать энергетические реакторы по конструктивным признакам (обеспечивается давление теплоносителя прочным корпусом — корпусные реакторы или же трубами — канальные реакторы), то станет ясно, что эти конструктивные признаки не в одинаковой степени позволяют увеличивать единичную тепловую мощность реактора.

Известно, какие большие усилия приходится предпринимать, например, в США для обеспечения производства металлических корпусов водо-водяных реакторов. Не менее серьезные трудности возникают при транспортировке корпусов и установке их на место. Сейчас в большинстве случаев единственным путем транспортировки корпусов является транспортировка их по воде, хотя тепловые мощности, развиваемые в корпусных реакторах, пока не превышают 3000—5000 Мвт. К существенным недостаткам реакторов корпусного типа следует отнести также трудности обеспечения их безопасности, если учесть, что прочность больших корпусов под давлением в процессе эксплуатации контролируется недостаточно. Далее, несмотря на успехи в технологии изготовления корпусных реакторов (разработка технологии сварки корпусов на месте сооружения АЭС [1], работы по созданию корпусов из предварительно напряженного железобетона [2]), позволяющие существенно увеличить их единичную тепловую мощность, получение в них тепловых мощностей порядка десяти миллионов киловатт, по крайней мере в ближайшем будущем, весьма сомнительно.

В отличие от корпусных реакторы канального типа свободны от указанных недостатков и в большей степени отвечают требованию увеличения единичной тепловой мощности [3].

При наличии отработанной конструкции рабочего канала весьма значительная тепловая мощность может быть получена относительно несложным увеличением числа каналов. Практически предел увеличения тепловой мощности канального реактора определяется надежностью всей системы.

Одним из важных преимуществ реакторов канального типа является возможность реализации более высоких параметров пара и их повышения за счет осуществления ядерного перегрева. Использование большей доли имеющегося теплоперепада на производство электроэнергии приводит к увеличению при прочих равных условиях отношения выработки электроэнергии к выработке пресной воды и тепла, а в целом — к улучшению экономики трехцелевой установки [4].

При изучении технико-экономических возможностей использования для опреснения энергетических ядерных реакторов в первую очередь было обращено внимание на возможность использования канальных реакторов уже освоенных типов или их модификаций [3].

Схемы трехцелевых установок

На рис. 1 представлены принципиальные технологические схемы энергетических контуров трехцелевых установок с двумя модификациями водо-графитовых реакторов — с ядерным перегревом пара (до сверхкритических параметров) и без перегрева пара. На этом же рисунке показана схема энергетического контура трехцелевой установки с быстрым реактором. Хотя активная зона реактора такого типа (с натриевым теплоносителем) располагается внутри металлического бака и на этом основании такие реакторы в принципе относятся к корпусным реакторам, тем не менее отсутствие значительного давления внутри корпуса позволяет решить проблему увеличения единичной мощности реактора за счет увеличения размеров активной зоны несравненно проще, чем в водо-водяных реакторах со значительным давлением в корпусе. Кроме того, экономическая перспективность быстрых реакторов обуславливается расширенным воспроизводством ядерного горючего и, следовательно, возможностью получения весьма низких значений топливной составляющей стоимости тепла. Это, в свою очередь, говорит о перспективности использования быстрых реакторов в мощных опреснительных установках.

Для принятых типов реакторов со свойственными им параметрами пара к. п. д. имеют следующие значения: при работе в конденсационном режиме для водо-графитового реактора с ядерным перегревом пара — 45%, водо-графитового без перегрева пара — 30%, быстрого с натриевым теплоносителем — 40%.

Вопрос о том, какой тип испарителя на ядерной опреснительной установке является наиболее перспективным и экономичным, пока нельзя считать окончательно решенным.

В Советском Союзе (г. Шевченко) уже в течение ряда лет надежно действует опреснительная установка с вертикально-трубными испарителями производительностью 5 тыс. $m^3/сутки$ [5]. Накопленный большой опыт по ее эксплуатации и усовершенствованию послужил основанием для разработки проектов новых вертикальных выпарных аппаратов с более высокой производительностью, более эффективным использованием тепла и меньшей удельной металлоемкостью.

В настоящее время там же введена в эксплуатацию промышленная пятикорпусная установка производительностью 15 тыс. $m^3/сутки$.

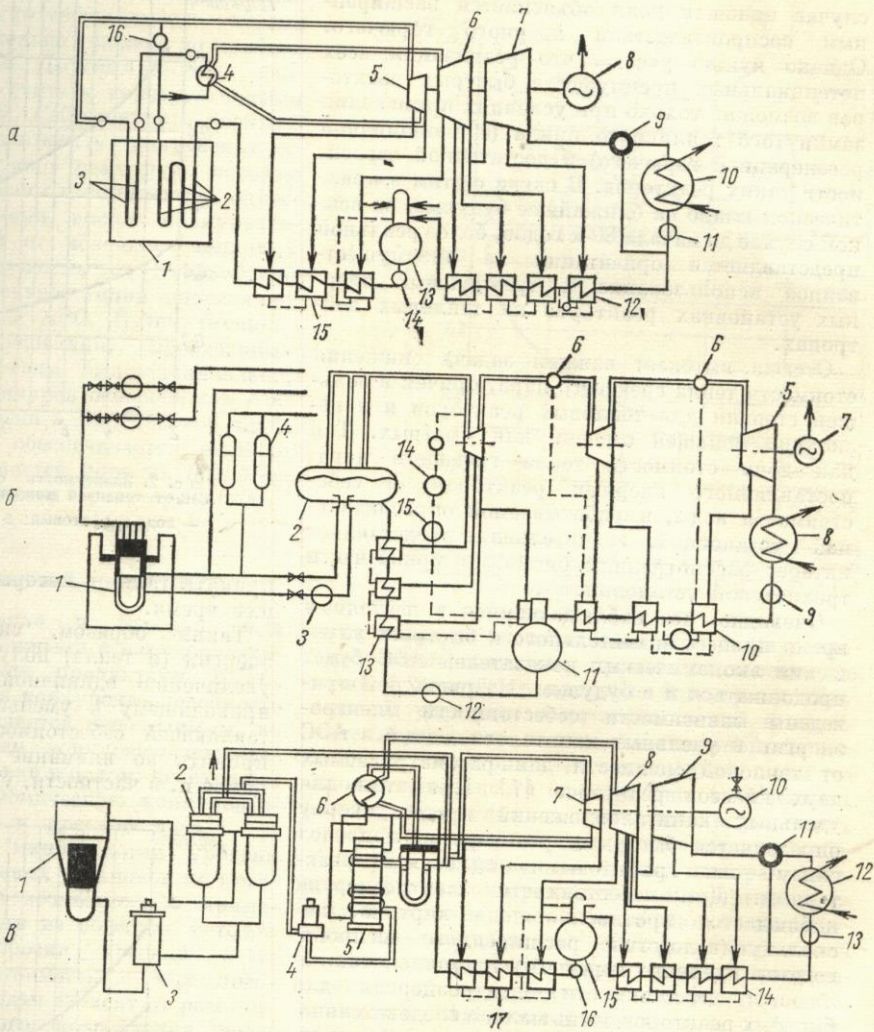
Это говорит о том, что метод многоступенчатого испарения обладает большими неиспользованными резервами для дальнейшего существенного улучшения экономических показателей производства пресной воды. Несомненно, что этот метод получит дальнейшее развитие и применение. Сейчас в г. Шевченко строится десятикорпусная вертикально-трубная дистилляционная установка производительностью около 18 000 $m^3/сутки$ с более высокими показателями, чем у первых двух блоков опреснительных установок.

Конкурирующим с описанным выше методом является метод многоступенчатого мгновенного испарения, позволяющий вести процесс испарения при большей степени упаривания воды. Этот метод имеет некоторые преимущества в районах с высокой стоимостью греющего тепла, и наоборот, в районах с низкой стоимостью тепла (например, на нефтепромыслах и др.) система с вертикально-трубными испарителями дает лучшие результаты по стоимости пресной воды.

Обнадеживающие результаты по интенсификации процесса испарения воды при многоступенчатом испарении получены в опытах с барботированием испаряемой воды паром или воздухом [6]. Применение барботирования позволяет значительно уменьшить водяной объем испарителя и снизить его стоимость.

Р и с. 1. Принципиальные технологические схемы энергетических контуров трехцелевых установок:

а — водо-графитовый реактор с перегревом пара: 1 — реактор; 2 — паропроизводительные каналы; 3 — перегревательные каналы; 4 — пароперегреватель; 5 — цилиндр высокого давления; 6 — цилиндр среднего давления; 7 — цилиндр; 8 — генератор; 9 — парохладитель; 10 — конденсатор-бойлер морской воды; 11 — конденсатный насос; 12 — подогреватель низкого давления; 13 — деаэрактор; 14 — питательный насос; 15 — подогреватель высокого давления; 16 — дроссель; 17 — водо-графитовый реактор без перегрева пара; 1 — реактор; 2 — парогенератор; 3 — главный циркуляционный насос; 4 — компенсатор объема; 5 — турбина; 6 — сепаратор; 7 — цилиндр низкого давления; 8 — конденсатор-бойлер морской воды; 9, 15 — конденсатные насосы; 10 — подогреватель низкого давления; 11 — деаэрактор; 12 — питательный насос; 13 — подогреватель высокого давления; 14 — технологический конденсатор с натриевым теплоносителем; 1 — реактор; 2 — промежуточный теплообменник; 3 — насос первого контура; 4 — насос второго контура; 5 — паропроизводитель; 6 — промежуточный перегреватель; 7 — цилиндр высокого давления; 8 — цилиндр среднего давления; 9 — цилиндр низкого давления; 10 — парогенератор; 11 — парохладитель; 12 — конденсатор-бойлер морской воды; 13 — конденсатный насос; 14 — подогреватель низкого давления; 15 — деаэрактор; 16 — питательный насос; 17 — подогреватель высокого давления.



Весьма перспективной с точки зрения повышения экономичности крупных испарительных опреснительных установок является схема комбинированной опреснительной установки, состоящей из вертикально-трубных выпарных аппаратов с падающей пленкой испаряемой морской воды (в области температур 120—70° С) и многоступенчатого испарителя с мгновенным вскипанием, в котором теплоносителем служит вторичный пар последних ступеней вертикально-трубных выпарных аппаратов.

В Советском Союзе в настоящее время разрабатывается проект такой комбинированной

опреснительной установки. Для более точной оценки комбинированных установок в дальнейшем предполагается соорудить один экспериментальный блок в г. Шевченко.

Экономика ядерной части ВТЭС

При средних масштабах производительности по пресной воде (порядка сотен тысяч м³/сутки) для трехцелевой установки с реактором на тепловых нейтронах доля стоимости тепла в себестоимости воды составляет 40—45%, а для быстрых реакторов — 25—30% [4]. Во втором

случае меньшая доля объясняется расширенным воспроизводством ядерного горючего. Однако нужно учесть, что реализация всех потенциальных преимуществ быстрых реакторов возможна только при условиях применения замкнутого топливного цикла (с экономичной регенерацией горючего) и достаточной освоенности таких реакторов. В связи с этим в практическом плане на ближайшее будущее, во всяком случае до начала 80-х годов, более реальной представляется ориентация на преимущественное использование в трехцелевых ядерных установках реакторов на тепловых нейтронах.

Отсюда вытекает важная задача снижения стоимости тепла греющего пара, причем в большей степени для тепловых реакторов и в несколько меньшей степени для быстрых. Так как доля стоимости тепла греющего пара, поставляемого ядерным реактором, в себестоимости воды, вырабатываемой опреснительной установкой, значительна, представляет интерес рассмотрение экономики ядерной части трехцелевой установки.

Очевидно, что наблюдающийся в настоящее время процесс значительного и быстрого улучшения экономических показателей АЭС будет продолжаться и в будущем. На рис. 2 и 3 приведены зависимости себестоимости электроэнергии и удельных капиталовложений в АЭС от тепловой мощности для рассматриваемых двух классов реакторов [7]. При этом для удельных капиталовложений предел сверху определяется быстрыми реакторами, а предел снизу — водо-графитовыми каналными реакторами. Для себестоимости электроэнергии наблюдается противоположная картина, поскольку (вследствие расширенного воспроизводства ядерного горючего) топливная составляющая себестоимости электроэнергии для быстрых реакторов очень мала, а следовательно, и полная себестоимость энергии имеет по сравнению с другими реакторами наименьшее значение.

При любом способе распределения издержек производства трехцелевой установки по видам продукции стоимость тепла будет снижаться адекватно снижению стоимости электроэнергии. Следовательно, чем дешевле электроэнергия, тем дешевле и поставляемое тепло. Кривые себестоимости электроэнергии построены без учета возможного прогресса в топливном цикле АЭС. Затраты на изготовление твэлов, стоимость ядерного горючего, глубина его выгорания и другие характеристики топливного цикла

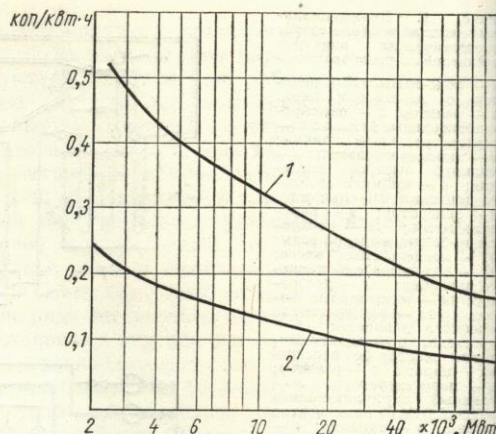


Рис. 2. Зависимость себестоимости электроэнергии АЭС от тепловой мощности реактора: 1 — водо-графитовый; 2 — быстрый реактор.

приняты такими, которые существуют в настоящее время.

Таким образом, снижение себестоимости энергии (и тепла) получено только благодаря увеличению единичной мощности установки, приводящему к уменьшению постоянной составляющей себестоимости энергии. Если же принять во внимание прогресс в топливном цикле и, в частности, увеличение в ближайшем

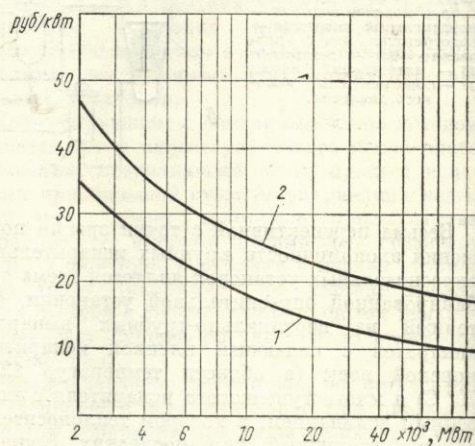


Рис. 3. Зависимость удельных капиталовложений в АЭС от тепловой мощности реактора: 1 — водо-графитовый; 2 — быстрый реактор.

будущем глубины выгорания ядерного горючего в 1,5—2 раза, то себестоимость энергии может быть дополнительно снижена по крайней мере еще на 15—20%. Другими словами, данные рис. 2 следует считать консервативными и взятыми с запасом. Себестоимость электроэнергии менее 0,5 коп/квт·ч, получаемая от принятых в расчет типов реакторов, которые могут быть использованы в комплексе с опреснительными установками, вполне конкурентоспособна с энергией от новейших тепловых электростанций, сооружаемых в Европейской части СССР. Эти электростанции определяют уровень экономичности АЭС. Путем технико-экономических исследований, проведенных в СССР за последние годы, было установлено, что экономическая конкурентоспособность АЭС по себестоимости энергии в Европейской части СССР, как правило, обеспечивается начиная с электрических мощностей порядка 500 Мвт (при тепловой мощности реактора 1200—1700 Мвт).

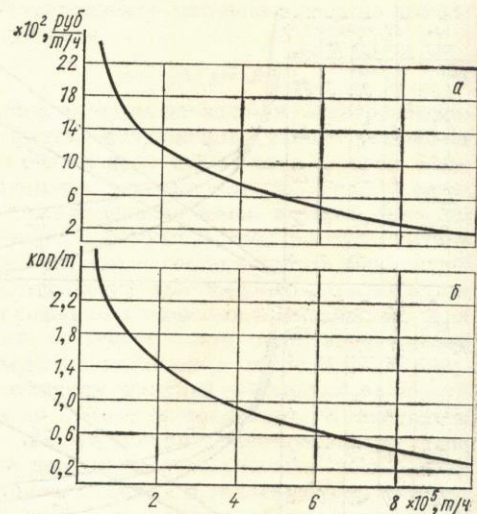
Экономика опреснительной части ВТЭС

Электроэнергия, тепло и пресная вода являются одинаково важными с народнохозяйственной точки зрения продуктами ВТЭС. Поэтому экономическая конкурентоспособность по электроэнергии является необходимым, но недостаточным условием конкурентоспособности трехцелевой установки в целом: необходимо обеспечить также экономическую конкурентоспособность по теплу и пресной воде.

В условиях СССР минимальный уровень экономичности трехцелевых установок по пресной воде определяется возможностью применения наиболее дешевого из обычных методов водоснабжения — переброски пресной воды трубопроводами. Себестоимость подачи пресной воды по трубопроводам зависит от расстояния, размера суточного потребления воды и затрат на электроэнергию для перекачки.

При удельных затратах на электроэнергию 1 коп/квт·ч стоимость подачи 1 м³ пресной воды питьевого качества на расстояние 100 км составляет ориентировочно: 33 коп.— при подаче 5000 м³/сутки, 20 коп.— при подаче 10 000 м³/сутки, 9 коп.— при подаче 50 000 м³/сутки, 7 коп.— при подаче 100 000 м³/сутки, 3,5 коп.— при подаче 500 000 м³/сутки и 3 коп.— при подаче 1 000 000 м³/сутки.

На основании анализа капиталовложений в опреснительную часть трехцелевой установки



Р и с. 4. Зависимость удельных капиталовложений в опреснительную часть (а) и эксплуатационной составляющей себестоимости опресненной воды (б) от производительности установки.

и расходов на эксплуатацию этой части в рассмотренном диапазоне производительности по пресной воде были получены примерные зависимости удельных капиталовложений в опреснительную часть и эксплуатационной составляющей себестоимости опресненной воды от производительности по воде (рис. 4). Удельные капиталовложения в опреснительную часть определяют капитальную составляющую себестоимости опресненной воды, которая подсчитана с учетом принятых норм амортизационных отчислений от стоимости зданий, сооружений и оборудования. Сумма капитальной и эксплуатационной составляющих представляет собой постоянную составляющую себестоимости опресненной воды, т. е. себестоимость воды при бесплатном тепле.

Из рис. 5 следует, что единичная мощность реактора опреснительной установки оказывает существенное влияние на себестоимость опресненной воды. Это подтверждает известное положение, что укрупнение установки является одной из наиболее эффективных мер для улучшения ее экономических показателей.

Ввиду того что создание мощных опреснительных установок связано не только со значительными затратами на подготовку большой территории, но и с определенными трудностями в выборе площадки необходимых размеров, представляет интерес зависимость габаритов

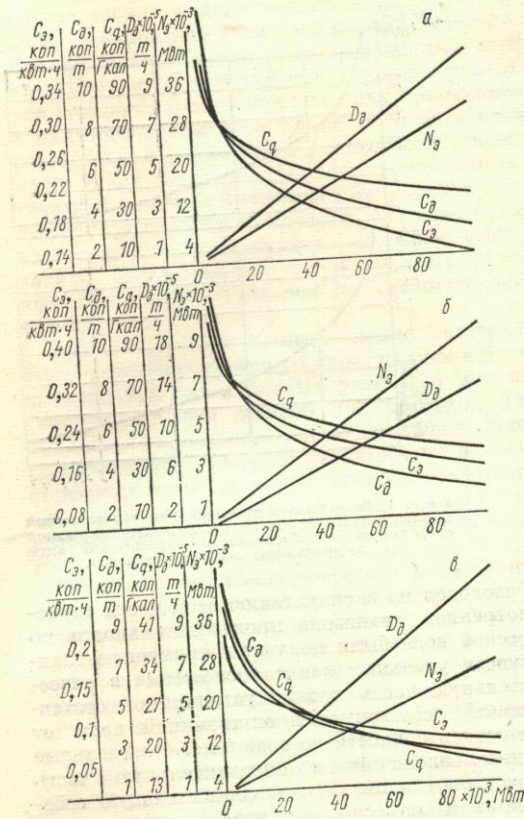


Рис. 5. Технико-экономические показатели трехцелевых опреснительных установок при различной тепловой мощности водо-графитовых реакторов с перегревом пара (а); водо-графитовых реакторов без перегрева пара (б); быстрых реакторов с натриевым теплоносителем (в).
 $C_э$ — себестоимость электроэнергии; $C_д$ — себестоимость опресненной воды; $C_г$ — себестоимость тепла; $D_д$ — производительность по воде; $N_э$ — электрическая мощность.

собственно опреснительной части установок от ее производительности по воде. Такие зависимости, характеризующие примерные масштабы фронта строительных работ, приведены на рис. 6.

Экономическая конкурентоспособность

Зависимость себестоимости электроэнергии, опресненной воды, тепла, а также производительности по пресной воде и электроэнергии

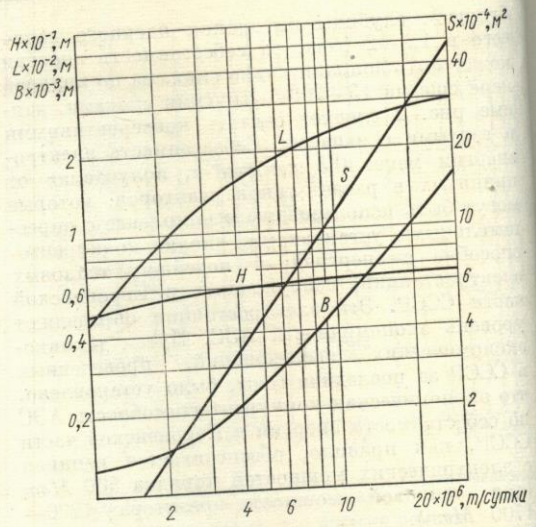


Рис. 6. Изменение габаритных размеров опреснительных систем с аппаратами мгновенного вскипания от производительности по воде:
 L — длина; S — площадь; H — высота; B — ширина.

от тепловой мощности реактора трехцелевых установок приведены на рис. 5 для трех типов реакторов: водо-графитового с перегревом пара, водо-графитового без перегрева пара и быстрого. Следует подчеркнуть, что указанные значения себестоимости электроэнергии и тепла для каждого данного значения тепловой мощности реактора носят до некоторой степени условный характер. Кривые рис. 5 определяют не столько абсолютную величину себестоимости электроэнергии и воды, сколько характер изменения величины этих экономических категорий в зависимости от масштаба и мощности установки. Имеющиеся методы распределения суммарных издержек производства (руб/год) по видам продукции позволяют проводить оценку характеристик трехцелевой установки и определить зависимость между техническими параметрами и экономическими показателями при расчете и проектировании. Все имеющиеся методы распределения этих издержек отражают попытки определить с той или иной степенью точности затраты труда (в денежном выражении) на конкретный вид продукции при многоцелевом производстве. В настоящем докладе использован метод, описанный в работе [4].

Расчет по этому методу показал, что в зависимости от района расположения установки и других условий тепловая мощность реакто-

ров, обеспечивающая экономически конкурентоспособную себестоимость и электроэнергию, и пресной воды (3—5 коп/м³), составляет для тепловых реакторов 3000—4000 Мет, а для быстрых реакторов несколько ниже 1500—2000 Мет.

Следует подчеркнуть, что наибольший эффект в снижении себестоимости пресной воды при повышении себестоимости электроэнергии до уровня средней производственной себестоимости электроэнергии в энергосистеме достигается при использовании реакторов, обеспечивающих высокие начальные параметры пара, поскольку такие реакторы имеют большую величину отношения выработки электроэнергии к выработке пресной воды.

Однако выработка трехцелевой установкой электроэнергии, тепла и пресной воды по конкурентоспособной себестоимости еще не свидетельствует о народнохозяйственной экономичности и конкурентоспособности установки в целом. В соответствии с принятой в СССР методикой, критерием экономической эффективности любого производства (а в данном случае трехцелевой установки) являются так называемые приведенные затраты, определяемые выражением

$$Z = \Sigma C + P_n \Sigma K, \quad (1)$$

где ΣC — сумма издержек производства электроэнергии, тепла и пресной воды, руб/год; ΣK — сумма производственных фондов ядерной и опреснительной части трехцелевой установки, руб.; P_n — нормативный коэффициент экономической эффективности производственных фондов, 1/год.

Минимальное значение приведенных затрат определяет наиболее экономичный вариант. Это значит, что (при прочих равных условиях) для выявления экономической конкурентоспособности трехцелевой установки по сравнению со способом раздельного электро-тепло-водоснабжения, определяющим минимальный уровень экономичности трехцелевой установки (переброска воды по трубопроводу или сооружение двухцелевых или одноцелевых установок на обычном топливе для производства электроэнергии и пресной воды), экономия на издержках производства электроэнергии, пресной воды и тепла должна быть сопоставлена с соответствующей разницей капиталовложений в сравниваемые и одинаковые по масштабам варианты электро- и водообеспечения. Другими словами, для экономической конкурентоспособности

ядерной трехцелевой установки должно выполняться условие

$$\Sigma_{\Delta C} \geq P_n \Sigma_{\Delta K}. \quad (2)$$

Как правило, вариант водо- и электрообеспечения путем сооружения такой установки является более дорогим (за счет дорогой ядерной части), чем вариант обычного водо- и электроснабжения. Однако здесь имеется одно дополнительное обстоятельство, которое заключается в том, что в составе капиталовложений в любую установку должны учитываться и капиталовложения в смежные производства. Для ядерной установки — это капиталовложения в предприятия топливного цикла, для установки на обычном топливе — капиталовложения в топливную базу и транспорт. В последнем случае для установки, работающей на угле шахтной добычи, они весьма велики и близки к капиталовложениям в тепловую электростанцию. В то же время для ядерной установки из-за малых объемов циркулирующего в топливном цикле ядерного горючего они значительно меньше и составляют 15—25% от суммарных капиталовложений в ядерную энергетику в зависимости от масштаба ее развития. Это значит, что в принципе ядерная часть двухцелевой установки «имеет право» быть более дорогой и условие (2), как правило, выполняется, а значит, экономическая конкурентоспособность обеспечивается, по-видимому, начиная от единичных тепловых мощностей реактора порядка нескольких миллионов киловатт.

Вообще говоря, выявление степени экономической конкурентоспособности трехцелевых ядерных установок по минимуму приведенных затрат является весьма трудоемкой задачей, решение которой требует обширного и, главное, комплексного рассмотрения водно-топливно-энергетического баланса данного экономического района с дефицитом пресной воды. Решение задачи существенно осложняется многообразием применяемых для этого методических приемов (например, разнесение приведенных затрат на производство данной продукции) и меняющимся во времени масштабом оптовых цен на промышленную продукцию. Тем не менее, учитывая важность проблемы, решать ее следует в ближайшем будущем, так как на основании выбранного решения могут быть сделаны более точные количественные выводы о народнохозяйственной эффективности ядерных трехцелевых установок в широком диапазоне тепловых и электрических мощностей

реакторов и их производительности по опресненной воде. При этом, конечно, должно быть также учтено то обстоятельство, что подчинение работы трехцелевой установки электрическому графику нагрузок в гораздо меньшей степени (по сравнению с чисто конденсационными установками) сопряжено с нежелательными с экономической точки зрения последствиями работ в таком режиме (увеличение себестоимости электроэнергии за счет роста ее постоянной составляющей при уменьшении коэффициента нагрузки установки). В случае трехцелевой установки вне зависимости от ее работы (либо производство пресной воды, либо электроэнергии) в отличие от одноцелевой электростанции может быть обеспечено постоянство номинальной тепловой мощности реактора, т. е. режима эксплуатации, наиболее выгодного с экономической точки зрения. Использование трехцелевой установки в качестве регулятора потребителя энергосистемы требует гибкой технологической схемы, позволяющей переходить от максимальной выработки электроэнергии (конденсационный режим турбин либо отбор пара от них) к максимальной выработке воды (режим работы турбин с противодавлением). Это значит, что должна быть предусмотрена установка либо комбинированных турбин, работающих и в режиме противодавления, и в конденсационном режиме, либо раздельно конденсационных турбин и турбин с противодавлением. Последнее решение, например, принято на строящейся в СССР (г. Шевченко) трехцелевой установке с быстрым реактором. При этом, как показывают экономические оценки, отключение или неполная нагрузка соответствующего оборудования для обеспечения максимальной выработки одного из видов продукции из-за сокращения производства другого сказывается на экономике трехцелевой установки в целом в гораздо меньшей степени, чем одноцелевых установок, работающих по электрическому или тепловому графику нагрузок.

Выводы

1. Советский Союз относится к большой группе стран, заинтересованных в решении проблемы водообеспечения районов с дефицитом пресной воды. С учетом масштабов существующих потребностей в воде и их перспективного роста важное значение в решении

этой народнохозяйственной проблемы приобретает использование энергетических ядерных реакторов отработанных типов, совмещаемых с опреснительными системами, работающими по принципу дистилляции морской воды (Черного, Каспийского, Азовского, Аральского морей).

2. Решение проблемы экономичного производства пресной воды ($3-5 \text{ коп/м}^3$) следует искать на пути создания мощных и сверхмощных ядерных установок, одновременно вырабатывающих электроэнергию, тепло и опресненную воду с производительностью по воде порядка сотен тысяч и даже миллионов кубометров в сутки. Успехи энергетического реакторостроения и технологии дистилляции соленых вод подтверждают, что технические возможности для создания таких установок имеются.

3. Учитывая весьма значительные масштабы потребности СССР в пресной воде и электроэнергии, а также жесткие требования к экономике их производства (налагаемые минимальным уровнем экономичности трехцелевых установок), можно сказать, что наиболее перспективными источниками тепла для таких установок являются быстрые реакторы и тепловые реакторы канальной конструкции (водо-графитовые). Предварительные технико-экономические оценки показывают, что в условиях СССР экономическая конкурентоспособность трехцелевых установок достигается, начиная с единичных тепловых мощностей реакторов указанных типов порядка нескольких миллионов киловатт, уже освоенных энергетическим реакторостроением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Т. Стамер. Nucleonics, No. 11, 58 (1966).
2. G. Reu. Nucleonics, No. 11, 41 (1966).
3. А. И. Чуринов, В. А. Клячко. «Вестн. АН СССР», вып. 6 (1965).
4. Ю. И. Корякин, А. А. Логинов. «Атомная энергия», 20, 232 (1966).
5. Ф. П. Заостровский и др. Доклад, представленный СССР на Первый международный симпозиум по опреснению воды. Вашингтон, 3-9 октября 1965.
6. В. Ф. Коваленко. Термическое опреснение морской воды. М., «Транспорт», 1966.
7. И. М. Синев, Б. Б. Батуров, В. М. Шмелев. Доклад № 294, представленный СССР на Третью международную конференцию по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1964).