

ющи. Программа получила широкую поддержку государственных органов и в соответствии со следующим пятилетним государственным планом развития атомной энергетики будет расширяться. Если специальная стоимость АС-600 могла бы стать более низкой, чем стоимость теперешних реакторов PWR мощностью 1000 МВт_{эл.}, то АС-600 стал бы основным типом реактора в Китае на длительное время.

Китай возлагает большие надежды на появление усовершенствованных реакторов. Если бы такие реакторы, основанные на принципах пассивной безопасности, были приняты, то ядерная энергетика стала бы безопасней, системы проще, сроки строительства короче, а капитальные затраты значительно меньше. Такой прорыв в области передовой технологии оказал бы огромное влияние на развитие атомной энергетики в Китае. В связи с этим китайские специалисты в области атомной энергетики внимательно следят за тенденциями в ведущихся в мире разработках усовершенствованных реакторов, особенно за разрабатываемым в США реактором AP-600 и за модульными высокотемпературными реакторами с газовым охлаждением. При поддержке правительства составлены соответствующие программы и созданы исследовательские группы. Китай принимает и будет принимать участие в различных международных мероприятиях и обменах в этой области.

Использование атомной энергии для централизованного теплоснабжения в странах СЭВ

Разработан ряд подходов для использования АЭС в качестве источников тепла

В.Л. Лосев, М.В. Сигал и Г.Е. Солдатов

Исторически источники ядерной энергии использовались, главным образом, для производства электроэнергии. Энергетическая промышленность в СССР также следовала путем увеличения в первую очередь мощностей АЭС для производства электроэнергии. В настоящее время установленная мощность 45 энергоблоков АЭС в СССР составляет в сумме около 35 ГВт_{эл.}. Ядерная энергетика опирается в основном на использование корпусного типа реакторов под давлением с водяным охлаждением и замедлением — ВВЭР (эти серийные энергоблоки имеют электрическую мощность 440 и 1000 МВт) и канальные реакторы с водяным охлаждением и графитовым замедлителем типа РБМК (эти серийные энергоблоки имеют электрическую мощность 1000 и 1500 МВт). Реакторы типа ВВЭР, разработанные по советским проектам, послужили также базой для развития энергетики в странах — членах Совета Экономической Взаимопомощи (СЭВ).

Даже на ранних этапах развития атомной энергетики в СССР было очевидно, что сосредоточение усилий исключительно на производстве электроэнергии не способствует адекватному разрешению основной проблемы энергетической отрасли по замене скудного органического топлива в топливной и энергетической промышленности страны.

Г-н Солдатов — начальник отдела; а г-да Сигал и Лосев — старшие научные сотрудники Всесоюзного научно-исследовательского института по эксплуатации АЭС в Москве.



Единственным путем ее решения является расширение сферы использования атомной энергии и распространение ее на энергоемкую область производства тепла для коммунально-бытового теплоснабжения и использования для промышленных нужд (на эти цели идет в 1,5 раза больше топлива, чем для производства электроэнергии). В странах СЭВ, имеющих меньше запасов ископаемого топлива, чем СССР, эта проблема ощущается еще более остро.

План обеспечения «ядерного» теплоснабжения, разработанный советскими специалистами для удовлетворения потребностей топливного и энергетического сектора страны, предусматривает комбинацию четырех различных подходов:

- использование нерегулируемого отбора пара из турбин на конденсационных энергоустановках;
- строительство атомных теплоэлектроцентралей (АТЭЦ), где обычная работа конденсационной АЭС сочетается с производством тепла при использовании турбин с высоким противодавлением (централизованное теплоснабжение и конденсация с регулируемым отбором пара);
- строительство однопеллевых атомных станций, производящих только тепловую энергию для коммунальных и бытовых нужд (АСТ);
- строительство специализированных атомных станций, производящих тепло для промышленных целей (АСПТ), которые благодаря техническим

усовершенствованиям, заложенным в проекте, могли бы располагаться в непосредственной близости от мест потребления тепла и использоваться для производства одновременно тепловой и электрической энергии или только тепла.

В настоящее время наиболее технически разработаны первые три подхода. Использованию нерегулируемого отбора пара из турбин АЭС, которые уже находятся в эксплуатации или еще строятся, отводится особое место среди этих разных подходов. Фактически, это единственная форма ядерного производства тепла, которая до сих пор была испытана на практике. Этот метод начал применяться свыше 20 лет назад, когда была разработана система для подачи тепла с Белоярской АЭС для отопления и нагрева воды в зданиях и сооружениях непосредственно на площадке АЭС и в прилегающих жилых помещениях. В дальнейшем этот подход был применен на других АЭС. Общая выходная тепловая мощность уже действующих тепловых систем АЭС достаточно велика и превышает 3000 МВт на начало 1989 г.

Турбины, используемые в настоящее время на таких атомных станциях, а также те, которые находятся в процессе изготовления для строящихся станций, имеют разные мощности для производства тепла, предназначенного для теплоснабжения (см. таблицу).

Характеристики энергоблоков, используемых для ядерного теплоснабжения путем отбора пара

Тип турбины	Число турбин и тип реактора	Гарантированная тепловая мощность отведенного пара, МВт	Диапазон температур нагрева воды, °С
K-220-44	2хВВЭР-440	29 x 2	130/70
K-500-65/3000	2хРБМК-1000	87 x 2	150/70
K-750-65/3000	2хРБМК-1500	116 x 2	165/70
K-1000-60/1500-2	1хВВЭР-1000	232	150/70
K-1070-60/1500-3	1хВВЭР-1000	1047 и выше	170/70

Проекты систем передачи тепла от атомных станций отвечают современным требованиям безопасности в отношении потребителей тепловой энергии. Так, теплоноситель циркулирует в третьем (по отношению к активной зоне) контуре. Давление в этом контуре поддерживается выше максимально возможного давления пара при самом большом нерегулируемом отборе, что препятствует попаданию радиоактивных продуктов в теплоноситель в случае повреждения теплообменной поверхности в бойлере. На станциях с реакторами РБМК системы нагрева имеют промежуточный контур с охладителем между фазой отбора пара из турбины и теплоносителем. Давление в промежуточном контуре поддерживается выше давления пара, но ниже по сравнению с контуром теплоносителя. На станциях с реакторами ВВЭР вода сети теплоснабжения нагревается в сетевых нагревателях паром, отво-

димым с турбины. Самое высокое давление пара отбора ниже давления в реакторном и в сетевом контурах. Для предотвращения радиоактивного загрязнения теплоносителя в аварийной ситуации теплообменник изолирован как от нагревающего пара, так и от сетевого теплоносителя. Осуществляется также постоянный контроль уровней радиоактивности в теплоносителе (воде).

Важно, в том числе и с экономической точки зрения, максимально использовать существующие мощности систем теплоснабжения на АЭС. Даже с учетом некоторого снижения уровня производства электроэнергии из-за отвода пара на нужды теплоснабжения двухцелевое использование АЭС с энергоблоками ВВЭР-440 для получения электрической и тепловой энергии уменьшает потребление неорганического топлива на 30000 т эквивалента угля в год на каждый энергоблок. Включение в цент-

рализованное теплоснабжение энергоблоков ВВЭР-1000 обеспечит экономию органического топлива в еще более крупных объемах: до 130000–750000 т эквивалента угля ежегодно, в зависимости от типа установленной турбины.

Несмотря на этот важный стимул, на большинстве АЭС эти мощности для производства тепла не используются в максимальной степени. Основная причина – не всегда идеальное расположение станции для возможных потребителей тепла. „Гарантированные“ потребители (на самой станции или в жилых помещениях для персонала) обычно в состоянии потребить лишь небольшую часть потенциального выхода тепла с энергоблока теплоснабжения. Расчетное суммарное потребление тепла на месте, как правило, составляет приблизительно 30 МВт на один энергоблок мощностью от 1000 до 1500 МВт_{эл.}. И расчетное потребление тепла в жилом поселке АЭС не превысит 260 МВт. В системах коммунального и бытового теплоснабжения (отопление, горячая вода, вентиляция) ядерные источники тепла включаются в основную нагрузку совместно с пиковыми источниками, использующими органическое топливо. В результате для станции с 4 блоками серийных ВВЭР-1000 и турбиной К-1000-60/1500-2 оптимальная „нагрузка“ ядерной части теплоснабжения благодаря потребностям на месте (на территории АЭС и в жилых помещениях) не превышает 230 МВт, тогда как суммарная мощность по крайней мере в четыре раза выше. Таким образом на современных АЭС, работающих на проектной мощности, имеется достаточно большой запас мощности для производства тепла, который мог бы быть пущен в дело.

Наиболее разумным решением было бы использование наличного резерва мощности для централизованного теплоснабжения потребителей в промышленных и жилых секторах прилегающего региона. Но существует ряд ограничений, затрудняющих реализацию таких возможностей. Технические и экономические соображения диктуют конкретный размер района централизованного теплоснабжения для каждой АЭС*. За пределами этого района сумма расходов на компенсацию недопроизводства электроэнергии (из-за работы станции в режиме производства тепла), и на доставку тепла к месту потребления превысит экономию от замены органического топлива. Размер района охвата определяется местными климатическими условиями (которые влияют на выход тепла), стоимостью заменяемого органического топлива, объемом тепла, получаемого от АЭС, реальными условиями прокладки пути доставки тепла со станции к промышленным и жилым комплексам, где тепло должно использоваться, типом энергетического оборудования, установленного на АЭС, и рядом других факторов. Другим важным соображением, которое следует учитывать, является вопрос об альтернативных моделях теплоснабжения, которые можно практически использовать в

данном районе, и реальном сравнении их с вариантом доставки тепла от АЭС.

Учет всех этих факторов представляет нелегкую задачу при решении вопроса о строительстве АЭС, поскольку близость потенциального потребителя является не единственным и зачастую не самым важным критерием в процессе утверждения площадки для ее строительства. Действующие в настоящее время в СССР нормы радиационной безопасности определяют минимально допустимое расстояние от площадки АЭС до районов массового заселения. Так например, в случае АЭС мощностью 4000 МВт_{эл.} это расстояние варьируется примерно от 25 км (если плотность населения не превышает 100000–500000) до 100 км (если плотность населения свыше 2 млн.). Однако, по целому ряду причин, строительные площадки АЭС приходится размещать далеко за пределами стандартных расстояний, упомянутых выше. Поэтому большинство АЭС, действующих в настоящее время, имеют значительные резервы по производству тепла, которые остаются неиспользованными.

Действующие и планируемые станции

Планируется несколько вариантов эффективного использования ядерного тепла. Так, Балаковская АЭС обеспечит теплом г. Балаково (город расположен в 12 км от станции, потребность в тепле – свыше 1000 МВт), Ростовская станция дает тепло г. Волгодонску (в 13 км от АЭС, потребность в тепле – свыше 1000 МВт), Татарская АЭС обеспечивает теплоснабжение г. Нижнекамска (в 40 км от станции, потребность в тепле – до 2000 МВт) и Башкирская АЭС обогревает г. Нефтекамск.

В настоящее время осуществляется или планируется доставка тепла потребителям в странах-членах СЭВ. Так, в Германской Демократической Республике АЭС Бруно Лейшнер с 1984 г. обеспечивает теплоснабжение г. Грайфсвальда (22 км от АЭС, выход тепла – 260 МВт). В стадии планирования находится отопительная система г. Магдебурга на базе строящейся АЭС Стендаль (расстояние от АЭС – 95 км).

В Чехословакии планируется оснастить все АЭС реакторами ВВЭР-440 (всего 12 энергоблоков) для централизованного теплоснабжения: АЭС Богумице будет давать тепло в г. Трнава, АЭС Дукованы – в г. Брно, АЭС Моковице – в г. Левице. Планируется также организовать отопление г. Ческе-Будеёвице доставкой тепла с АЭС Темелин. Сетевые транспортные линии по доставке тепла имеют большую протяженность и достаточно высокую мощность (например, трубопровод с АЭС Дукованы в Брно длиной в 40 км при расчетной тепловой мощности 500 МВт).

В Польше рассматривается вариант использования АЭС Жарновец для теплоснабжения района Гданьск-Гдыня (станция расположена в 75 км от Гдыни). Есть также план снабжения теплом г. Познань намеченной к строительству АЭС Варта.

В Болгарии разрабатывается проект системы районного теплоснабжения на базе Беленской АЭС для города Плевна (58 км), Свистов и Белены. Расчетная тепловая мощность для отопления этих городов составит около 700 МВт. Планируется

* „Использование АЭС в качестве источников централизованного теплоснабжения для промышленных и жилых комплексов, а также для сельскохозяйственных энергетических комплексов“, В.Л. Лосев, М.В. Сигал и др. Журнал Теплоэнергетика № 8 за 1988 г. (на русском яз.).

также использовать АЭС Козлодуй для теплоснабжения г. Козлодуй.

Намечаемые технические характеристики тепловых систем на этих АЭС во многих отношениях схожи с уже упомянутыми характеристиками систем, используемых в СССР для подачи тепла со станций, оснащенных реакторами ВВЭР. Необходимо отметить, что страны СЭВ осуществляют тесное сотрудничество в разрешении проблем, связанных с использованием атомной энергии для централизованного теплоснабжения. Это сотрудничество координируется в рамках широкой программы научно-технического прогресса на период до 2000 г., принятой этими странами.

Наряду с использованием действующих и строящихся АЭС для централизованного теплоснабжения, о котором рассказано выше, разработаны технические решения по созданию специализированных ядерных источников для производства тепла — как двухцелевых атомных теплоэлектростанций (АТЭЦ), так и моноцелевых атомных станций теплоснабжения (АСТ). Энергетическая программа СССР, которая уже принята, включает планы строительства ряда таких станций на период до 2000 г.

Проект АТЭЦ был разработан для Европейской части СССР на базе реактора ВВЭР-1000 и новых турбин (ТК-450/500-60/3000) с регулируемым отбором пара и высокой тепловой мощностью*. Двухблочная АТЭЦ этого типа может обеспечить выход тепла до 2100 МВт. Планировалось ввести в эксплуатацию до 2000 г., по крайней мере, три станции этого типа, в Одессе, Минске и Харькове. Следует указать, что эти станции предназначены не только для централизованного теплоснабжения, но являются комбинированными тепловыми и конденсационными установками (благодаря тому, что используемые на них турбины имеют большую дополнительную конденсационную мощность). Это неизбежно при использовании реакторов большой единичной мощности.

Рассмотрение технической политики в отношении ядерной энергетики вслед за Чернобыльской аварией привело к изменению позиции относительно уже разработанных проектов с АТЭЦ. Поскольку площадки для строительства Одесской и Минской АТЭЦ выбирались в конце 70-х и начале 80-х гг. (т.е., при действии менее строгих требований, чем в настоящее время), эти станции оказались не соответствующими новому подходу в отношении безопасности и их строительство было остановлено. Проектные работы по Харьковской станции также прекратились.

* На Дальнем севере СССР первая АТЭЦ в стране успешно функционирует с 1974 г. Она включает четыре энергоблока, имеющих реакторы конверторного типа с электрогидравлической и турбины для съема тепла с регулируемым отбором пара (Билибинская АТЭЦ).

См. „Атомные тепловые и энергетические установки для теплоснабжения горьков и поселков“, Ю.А. Кузнецов, А.Г. Сахаров, А.Ф. Абросимов. Сборник докладов V Международной конференции по централизованному теплоснабжению, Киев, 7–10 сентября 1982 г., часть II, гл. I, доклады 11–29 (на русском яз.).

Одновременно с проектированием АТЭЦ в СССР был разработан проект моноцелевой атомной станции теплоснабжения (АСТ).

Необходимость разработки такого рода проекта вызвана тем, что возможности строительства станций, где предусмотрена комбинация производства тепла и конденсации пара в ряде случаев ограничены нехваткой воды, большие количества которой требуются для охлаждения конденсаторов турбин с большой дополнительной мощностью для конденсации, а также, помимо других причин, отсутствием в ряде районов потребности в дополнительных мощностях по производству электроэнергии. Для АСТ был специально разработан проект водо-водяного реактора с единичной тепловой мощностью 500 МВт. Такая моноцелевая станция АСТ-500 может быть расположена в непосредственной близости от населенных центров — до 5 км от городской черты*.

В настоящее время АСТ-500 строится в Горьком и в Воронеже. Планировалось построить еще несколько АСТ в Европейской части СССР, однако негативное отношение населения к ядерной энергетике после Чернобыльской аварии задержало (а в ряде случаев поставило под сомнение) осуществление некоторых ядерно-энергетических проектов, которые были до этого включены в планы строительства.

В странах СЭВ проявляется явный интерес к АСТ. Следует отметить, однако, что из-за специфического характера городского строительства в этих странах им требуются установки значительно меньшей мощности по сравнению с теми, которые обычно используются в советской атомной энергетике. С учетом этого обстоятельства в СССР был разработан проект реакторной установки единичной тепловой мощностью 300 МВт, технические характеристики которой схожи с АСТ-500. Кроме того в сотрудничестве со специализированными организациями стран-членов СЭВ ведется работа по созданию установок еще меньшей мощности.

Наряду с работой по усовершенствованию проектов специализированных ядерных установок для производства тепла и разработкой для них новых типов реакторов, большое практическое значение имеет поиск путей повышения степени использования потенциала тепловой мощности существующих АЭС. Анализ показывает, что именно этот источник будет доминировать в инфраструктуре ядерной энергетики СССР и стран СЭВ в течение длительного времени в будущем.

Два подхода представляются наиболее обещающими в этом отношении:

- использование наличных мощностей по производству тепла на существующих АЭС для передачи тепла на дальние расстояния с целью удовлетворения промышленных нужд;
- конверсия АЭС, переживших стандартный срок службы, в АСТ (с работой реактора на пониженной мощности и с меньшей интенсивностью).

* Станция подробно описана в статье „Ядерные электростанции“ В.Л. Каца, Ю.А. Кузнецова, Г.И. Плесскова и В.П. Татарникова, опубликованной в журнале Атомные электростанции № 4 за 1981 г. (на русском яз.).