

Опреснение морской воды с помощью ядерной энергии: опыт, потребности и перспективы

Обзор демонстрационных установок и последних исследований

А. Барак, Л.А. Кочетков, М. Дж. Кринс и М. Халид

Рост населения мира, которое, как ожидается, к 2050 г. достигнет 11000 млн. человек, еще больше обострит ситуацию с водными ресурсами. Большие объемы воды требуются для удовлетворения хозяйственных, промышленных и сельскохозяйственных потребностей, главным образом в развивающихся странах, в которых уже сейчас ощущается нехватка водных ресурсов. Проблема водоснабжения особенно остро стоит в нефтедобывающих странах, продолжающих осуществлять крупные капиталовложения и предпринимать энергичные усилия по дальнейшей индустриализации своей экономики. Однако согласно расчетам неудовлетворенный спрос на питьевую воду в районе Средиземноморья к 2000 г. составит примерно 10 млн. м³/день.

В общем, лишь небольшая часть мировых водных ресурсов может использоваться в естественном виде. В качестве питьевой воды можно употреблять поверхностные воды, содержание солей в которых, как правило, составляет менее 500 миллиграммов на 1 литр воды (мг/л). В некоторых случаях при производстве определенной сельскохозяйственной продукции для ирригации можно использовать воду с содержанием солей от 500 до 1000 мг/л. Другие виды водных ресурсов, например, солоноватые воды (подземные и наземные воды или сточные воды с содержанием солей свыше 1000 мг/л), а также морскую воду нельзя использовать в их естественном виде. К счастью, разработаны тех-

нологические процессы опреснения воды, включая морскую, после которых ее можно потреблять, что превращает морскую воду в практически неистощимый источник воды.

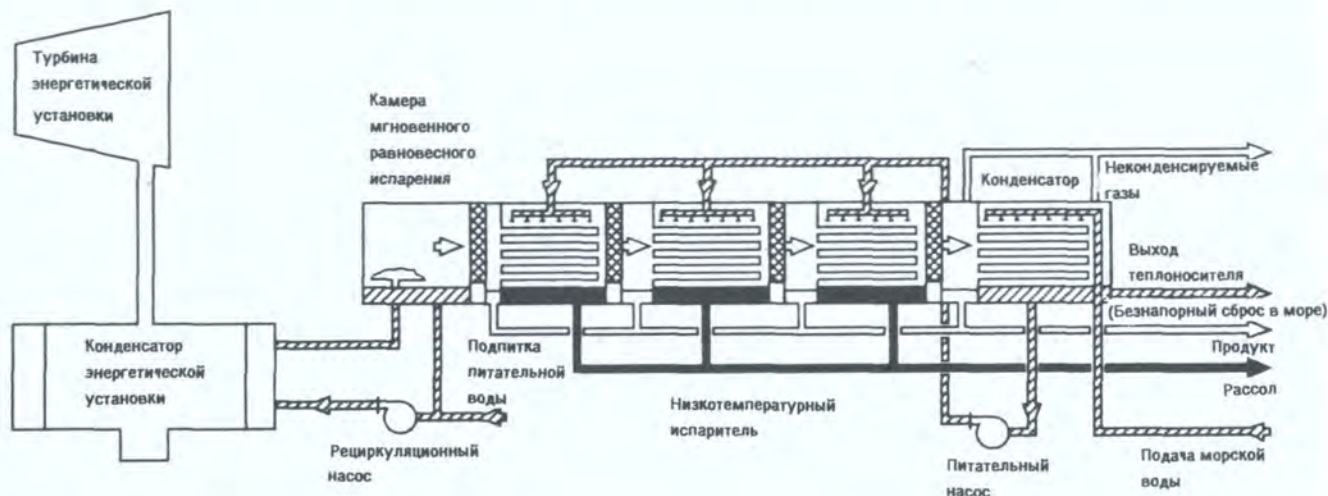
Существуют различные отработанные процессы опреснения морской воды, но наиболее перспективными являются низкотемпературная, многоступенчатая или многокаскадная перегонка с горизонтальным расположением труб (LT-HTMED), сжатие пара (VC) и обратный осмос (RO).

В настоящее время строятся крупные опреснительные установки, потребляющие значительные количества тепла, в связи с чем возникает вопрос наличия надежного, непрерывного и доступного источника тепла. Сейчас в качестве источника энергии, необходимой для процесса опреснения, в основном используется нефть. Однако повышение цен на нефть и тенденция к строительству крупных и более энергоемких опреснительных установок вносят свой вклад в поиск других источников. К числу альтернативных, изучаемых в течение длительного времени вариантов относится применение атомных электростанций в процессе опреснения. Такие „двухцелевые“ комплексы предназначены для производства электричества в целях удовлетворения энергетических потребностей и тепла для опреснения больших объемов воды.

В мире работает большое количество обычных опреснительных установок, и лишь в Советском Союзе имеется более ограниченный опыт опреснения морской воды с помощью ядерной энергии. Кроме того, в течение последних десятилетий техническая осуществимость изучалась на национальном и международном уровнях, включая работу, проделанную в рамках МАГАТЭ. (См. текст в рамке.)

Г-н Барак является сотрудником Комиссии по атомной энергии Израиля, а г-н Кочетков работает в Научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте энергетического машиностроения в СССР. Г-да Кринс и Халид являются сотрудниками Отдела ядерной энергии МАГАТЭ.

Технологическая схема израильской многоступенчатой опреснительной установки в Ашдоде -



Технические исследования и отчеты

Начиная с 60-х годов, МАГАТЭ изучает техническую осуществимость опреснения воды. В последнее время, после принятия Генеральной конференции в 1989 г. соответствующей резолюции, интерес государств-членов МАГАТЭ к этой технологии снова возрос. В резолюции, инициаторами которой выступили арабские страны, подчеркивалась реальная нехватка воды и возрастающие потребности в питьевой воде на национальном и региональном уровнях; в соответствии с этой резолюцией Агентство, *inter alia*, должно подготовить отчет о состоянии дел и потенциальной роли технологии опреснения воды с помощью ядерной энергии для оказания помощи в решении стоящих задач. Подготавливается технический отчет, который будет представлен на рассмотрение Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 1990 г.

В прошлом МАГАТЭ издало ряд технических публикаций по данной технологии. К их числу относятся:

- „Опреснение воды с использованием обычных и ядерных источников энергии”, Серия технических отчетов, № 24 (1964 г.).
- „Руководство по калькуляции издержек производства воды на ядерных опреснительных установках”, Серия технических отчетов, № 80 (1967 и 1973 гг.).
- „Использование тепла ядерных реакторов для опреснения морской воды”, IAEA-TECDOC-206 (1978 г.).

Данная статья посвящена рассмотрению опыта СССР в опреснении морской воды с помощью ядерной энергии, совместного американско-израильского проекта и последних исследований в Соединенных Штатах, Японии и Федеративной Республике Германии.

Опыт Советского Союза

В городе Шевченко был построен крупный многоцелевой ядерно-энергетический комплекс, обеспечивающий население города и его промышленные предприятия водой, электрической и тепловой энергией. Комплекс включает в себя быстрый реактор-размножитель БН-350 (FBR), три тепловые электростанции и опреснительную установку с тепловым опреснительным оборудованием, а также батареи по производству питьевой воды из опресненной морской воды.* Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы ведутся в области различных процессов опреснения, например, много-

*Техническая справочная литература по этому разделу (на русском языке) включает в себя „Обзор развития быстрых реакторов в СССР”, Л.А. Кочетков и Ю.Е. Багдасаров, материалы симпозиума в Болонье, МАГАТЭ, Вена (1978 г.); „Итоги десятилетней эксплуатации БН-350”, Д.К. Юрченко и др., журнал Атомная энергия, № 55 (1983 г.); „Основные итоги эксплуатации опытно-промышленных АЭС с быстрыми реакторами БН-350 и БН-600”, Л.А. Кочетков, материалы симпозиума в Лионе, МАГАТЭ, Вена (1986 г.); и „Водно-химический режим энергетического комплекса с быстрым реактором”, Р.Н. Мусихин и др., журнал Атомная энергия, № 55 (1983 г.).



Атомная электростанция в г. Шевченко, СССР.

каскадное испарение с вертикальным расположением труб (VTE), многокаскадная перегонка с мгновенным равновесным испарением (MSF), электролиз и ионный обмен.

Быстрый реактор-размножитель был выбран в качестве одного из основных энергетических источников комплекса. На той же площадке строится еще один источник энергии с использованием природного газа в качестве топлива. Две установки имеют общий турбинный зал и, что особенно важно, единую систему химической подготовки питательной воды.

С точки зрения водного режима данный комплекс является исключительно сложным. Генерируемый пар используется для производства энергии, опреснения морской воды и удовлетворения различных потребностей промышленности. Дистиллят применяется для приготовления питьевой и технической воды, а также воды, используемой для отопления домов и компенсации невосполнимых потерь питательной воды.

Ядерный реактор, электростанция и опреснительные установки образуют единый технологический комплекс с взаимодополняющими компонентами, который обладает целым рядом очевидных преимуществ.

Наличие установок, утилизирующих низкотемпературное тепло низкого давления, т.е. опреснительных установок, позволяет стабилизировать уровни использования тепла, требуемого в различные времена года. Зимой комплекс работает как станция теплоснабжения городских районов, а летом основное количество тепла идет на опреснение морской воды. Довольно постоянный уровень использования тепла обуславливает низкую удельную тепловую нагрузку при производстве электроэнергии.

Опреснительные батареи, поставляющие высокочистую деминерализованную воду для энергетической установки и ядерного реактора, в значительной степени способствуют снижению капитальных и эксплуатационных затрат, связанных с обработкой питательной воды для парогенераторов. Данная характеристика имеет особенно важное значение для систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, т.к. она позволяет эксплуатировать парогенератор без образования накипи и уменьшать удельное потребление тепла на единицу дистиллята (в теплогенерирующую систему подается горячий дистиллят).

Более того, наличие больших объемов опресненной воды позволяет частично использовать ее на технологические нужды местных промышленных предприятий. Это освобождает их от необходимости строить свои собственные небольшие опреснительные установки. Потребителям пара не нужно возвращать пароконденсат в цикл ядерного энергетического реактора.

Быстрый реактор-размножитель БН-350 и связанные с ним парогенераторы были пущены в эксплуатацию в 1973 г. Это был первый в Советском Союзе крупный многоцелевой реактор-размножитель, одновременно предназначенный для проведения испытаний и экспериментов и промышленного применения. Ядерный реактор мощностью 150 МВт(эл.) должен был производить 120 000 м³ дистиллята в день. После пуска в эксплуатацию он стал основным источником дистиллята в регионе, производя около 80 % общего объема. Кроме того, он вырабатывает до 25 % электроэнергии региона. Таким образом, с самого начала реактор БН-350 несет большую нагрузку по обеспечению нормальных жилищных и промышленных рабочих условий в данном регионе.

Стабильность эксплуатации всего комплекса зависит от целого ряда факторов, в частности, от надежности реакторной установки и связанных с ней парогенераторов. В начале эксплуатации парогенераторы оказались Ахиллесовой пятой станции. В течение первых 6 месяцев после пуска отказали 5 из 6 парогенераторов. Были составлены довольно подробные отчеты о причинах неполадок и проделанных в связи с этим ремонтных работах. Заводской брак, допущенный при изготовлении концевых участков трубных пучков, и дефектные сварные швы (переходников и трубопроводов) стали причиной утечки воды в натриевую сторону парогенераторов. Ремонт проводился на площадке без разборки испарителей и закончился в 1975 г.

Другой причиной эксплуатационной нестабильности реакторного блока стали многочисленные негерметичные твэлы, что было обусловлено недостатком большим компенсирующим пространством, предусмотренным между топливом и оболочкой твэла для аккумуляции газообразных продуктов деления, и привело к повышению напряжения и давления под оболочкой и, в конечном счете, к разрушению оболочки. Конструкционные усовершенствования фактически позволили устранить причины потери герметичности твэлов и достичь глубины выгорания топлива, превышающей проектные значения. В конечном счете удалось также добиться и стабильной работы парогенераторов, хотя для этого пришлось снизить первоначальную мощность реактора с 1000 до 750 МВт(т).

Первоначально конструкторы и операторы столкнулись с большими трудностями в области водного режима реактора. Питательная вода опреснительных батарей загрязнялась продуктами коррозии, а в аварийных случаях и солями морской воды; в силу этого ее стали подвергать дополнительной очистке на установке, работающей на природном газе, на которой были установлены как механические, так и смешанные фильтры. Однако, несмотря на принятые меры, качество дистиллята и питательной воды на начальном этапе было неудовлетворительным. В конструкцию опреснительной установки были внесены усовершенствования, а для очистки дистиллята, проходящего по парогенераторам реактора БН-350, была построена новая химическая опреснительная установка.

В поисках оптимальных технических решений и конструкции тепловых опреснительных установок проводились эксперименты с использованием различных модификаций процесса.

В целях предотвращения образования накипи на всех этих опреснительных установках использовался хорошо отработанный в Советском Союзе метод внесения затравочного в осадка. Затравочные кристаллы — мелко истолченный природный мел — инжестировались в систему один раз во время пуска и затем рециркулировались с помощью очистительного устройства (отстойника) и циркуляционного насоса.

Данный метод ограничения образования накипи за счет рециркуляции затравочных кристаллов мела гарантировал непрерывную эксплуатацию испарителей 10-каскадной испарительной установки с вертикальным расположением труб в течение одного года. У различных испарителей наблюдались различные линейные темпы образования накипи на нагреваемых поверхностях: 0,6–0,8 мм/г. на первом испарителе, 0,3–0,4 мм/г. на втором,

0,2–0,3 мм/г. на третьем, 0,1–0,2 мм/г. на четвертом и 0,05 мм/г. на остальных установках. На 10-каскадной установке производится дистиллят самого высокого качества.

Дистиллят, производимый на тепловых опреснительных установках, затем превращается в питьевую воду, отвечающую требованиям государственного стандарта СССР (ГОСТ 2874–82). Себестоимость производства дистиллята на 10-каскадной установке составляет примерно 50 коп/м³.

Таким образом, в г. Шевченко накоплен очень богатый и ценный технический материал и практический опыт в области производства высококачественной воды. Если накопленный там опыт будет широко использован в будущих опреснительных схемах и технологии производства „искусственной“ питьевой воды, то проблемы, связанные с обеспечением комфортабельных жилищных условий в пустынных и полупустынных районах мира, например, в Казахстане, можно будет решить не только успешно, но и быстро.

Опыт Израиля: совместный американо-израильский проект

В начале 80-х годов Израиль и США приступили к совместной разработке крупных опреснительных модулей с использованием процесса LT-HTMED. В городе Ашдод, Израиль, была построена установка, конструктивно совместимая с легководным реактором (LWR).

Число и размер ступеней LT-HTMED определялись таким образом, чтобы опреснительная установка могла утилизировать выхлопное тепло энергетической установки без дорогостоящих переделок при замене на ядерную паровую турбину. Система подачи тепла с (обычной) энергетической установки на испаритель имитирует конструктивное соединение с ядерным двухцелевым реактором. Это достигается за счет использования барьера реверсирования давления в целях предупреждения возможных протечек из парового цикла LWR в опреснительную установку. Этого добились благодаря конденсации отработавшего пара турбины в кожухотрубном конденсаторе при температуре около 65 °С. В качестве рециркулируемой охлаждающей воды использовали концентрированную морскую воду, содержание полностью растворенных твердых солей в которой составляло 5,7 % (55,5 °С на входе и 62 °С на выходе). Охлаждающая вода попадает в испаритель и отводит тепло благодаря частичному моментальному испарению. Охлаждающая вода в конденсаторе находится под более высоким давлением, чем конденсирующий пар с тем, чтобы в случае образования течи пар не мог попасть в опреснительную систему. Размер установки с такими испарителями был выбран максимально большим. В случае строительства крупного ядерного реактора несколько модулей будут располагаться параллельно.

В 1982 г. испаритель LT-HTMED производительностью 725 м³/ч был соединен с энергоблоком мощностью 50 МВт, работающим на мазуте и генерирующим около 120 т пара в час. Эксплуатация этой станции началась в 1983 г. После непродолжительных пусконаладочных работ она успешно прорабо-

тала в течение одного года. Эксплуатация была прекращена после накопления достаточного объема эксплуатационных данных и вследствие слишком большого повышения цен на нефть.

Не отмечалось никаких проблем, связанных с управлением, стабильностью работы, пуском и остановом станции или связанных с переменным режимом работы или переходом с двухцелевого „режима“ на одноцелевой „режим“, т.е. производство электроэнергии. Во всех условиях станция работала стабильно. С момента пуска на переход от холодного состояния и атмосферного давления в пустых испарителях к нормальным условиям эксплуатации уходило 3–3,5 ч. На повторный пуск установки после небольшого простоя в результате какой-либо неполадки (пока сохранялся вакуум) требовалось 30 мин. На останов энергетической установки с постепенным ее расхолаживанием затрачивалось около 20 мин. Переход с одного „режима“ на другой и наоборот осуществлялся очень легко, и на него уходило примерно 15 мин. Была успешно продемонстрирована эксплуатация станции в переменном режиме работы без каких-либо проблем в диапазоне от 35 до 110 % номинальной мощности.

Опреснительная установка может быть повторно пущена в эксплуатацию даже после нескольких месяцев простоя; время от времени ее запускали в работу на несколько часов, чтобы продемонстрировать посетителям. В 1986 г. из-за сильной засухи она непрерывно проработала в течение 3 месяцев. На неожиданные остановки в течение первого года эксплуатации ушло 749 ч, а на плановые – 2665 ч. Ожидается, что в нормальном режиме работы коэффициент готовности ТЭЦ составит по крайней мере 88 %.

В начале эксплуатации качество производимой воды было приемлемым (280 мг/л), хотя и ниже проектного показателя. После этого содержание солей в продукте при номинальной нагрузке уменьшилось до 40–80 мг/л. Количество производимого продукта превышало проектный уровень в зависимости от температуры морской воды. Если температура морской воды превышает проектное значение более чем на 4 °С, количество производимой продукции уменьшается до 92 %.

Штат станции в Ашдоде насчитывал 14 человек. На обычной станции потребуется еще меньшее количество персонала, т.к. в Ашдоде многие работы проводились „впервые“, включая сбор данных.

Конденсатор энергоблока оказался даже более чистым, чем при работе в одноцелевом режиме. В горячих ступенях было обнаружено очень низкое образование накипи (0,1 мм после одного года эксплуатации). В холодных ступенях накипи и коррозии обнаружено не было.

Последние исследования

Исследование в Южной Калифорнии. „Метрополитан уотер дистрикт“, южнокалифорнийская компания водоснабжения общего пользования, провела совместно с министерством энергетики США (US DOE) технико-экономическое обоснование использования тепла, производимого на АЭС, для опреснения морской воды. В декабре 1988 г. был

опубликован итоговый отчет компании „Дженерал атомикс“.* В данном исследовании в качестве источника тепла был выбран модульный высокотемпературный реактор с газовым охлаждением (MHTGR), а в качестве технологии опреснения – процесс LT-HTMED.

Реактор MHTGR был выбран в силу того, что его небольшие размеры и модульная конфигурация больше подходят для опреснения воды, чем конструкции современных реакторов с водяным теплоносителем, а в двухцелевом режиме он оказывает меньшее воздействие на процесс генерации электроэнергии. Кроме того, благодаря своим пассивным характеристикам безопасности и небольшим размерам отдельных модулей этот реактор можно размещать поблизости от опреснительных систем.

Было проведено сравнение процессов опреснения, которые продемонстрировали возможность их использования в промышленных масштабах, например MSF, VTE и LT-HTMED.

Изучавшаяся система состояла из четырех реакторных модулей мощностью 350 МВт(т.) каждый, двух систем преобразования энергии с паровыми турбинами по 273 МВт(эл.) и восьми опреснительных батарей LT-HTMED производительностью 50000 м³/день каждая. Полезная электрическая мощность станции составляла около 460 МВт, а полезный выход воды – 400000 м³/день. В зависимости от исходных предположений выравненные издержки опреснения воды варьировались от 0,44 до 0,49 долл. США/м³.

Исследование, проводившееся в Западной Германии. Компания „Ховальдтсверке Дойче верфт“ и фирма „Интератом“, Федеративная Республика Германия, недавно провели технико-экономическое обоснование использования установленного на барже реактора MHTGR для опреснения морской воды на основе метода обратного осмоса (RO).** Реактор MHTGR представлял собой реактор с шаровыми твэлами и гелиевым охлаждением, мощность которого может составлять от 400 МВт(т.) в случае двухмодульного варианта до 1600 МВт(т.) в случае восьмимодульной компоновки.

В данном исследовании изучалась двухцелевая электростанция, состоящая из двух модулей, способных производить 152 МВт электроэнергии и 100000 м³/день опресненной воды, содержание солей в которой составляет 450 мг/л (полностью растворенные твердые вещества). На собственные нужды станции уходило 30 МВт(эл.), а оставшиеся 122 МВт(эл.) можно было продавать другим потребителям электроэнергии.

Данное исследование исходило из содержания солей в воде Персидского залива. Морская вода сначала подвергалась в конденсаторе предварительному нагреву до 38 °С. Затем, после предварительной обработки, она подавалась на первую ступень процесса обратного осмоса (первая ступень состояла из 45 агрегатов по 40 модулей RO каждый). После первой ступени содержание со-

*Опреснение морской воды с использованием реактора MHTGR в Южной Калифорнии, GA-A19476, компания „Дженерал атомикс“, Сан-Диего, Калифорния (декабрь 1988 г.).

**„Автономная, установленная на барже электростанция с высокотемпературным реактором“, компания „Ховальдтсверке Дойче верфт“ и фирма „Интератом“ (июль 1985 г.).

лей в воде снижалось до 1470 мг/л, которая затем поступала на вторую ступень, состоящую из 9 агрегатов по 60 модулей RO каждый. На данной стадии содержание солей в воде составляло 190 мг/л. После этого вода перемешивалась с той, что получалась на первой стадии, чтобы окончательное содержание солей удерживалось на уровне 450 мг/л. Общий расход химикатов, использовавшихся для предварительной обработки воды, составлял около 5500 т/г; кроме того, для очистки модулей RO дополнительно требовалось 250 т химикатов (4–6 раз в год).

Себестоимость производства питьевой воды зависит от выбранного соотношения электроэнергия/питьевая вода. Если концепция эксплуатации заключается в генерации электроэнергии в качестве основного продукта (и производстве питьевой воды во время низкого спроса на электроэнергию), издержки производства питьевой воды составляют от 3,81 до 4,69 западногерманских марок за 1 м³. Предполагалось, что станция будет эксплуатироваться в течение 8000 часов в год.

Японское исследование. Японский Центральный научно-исследовательский институт электроэнергетической промышленности (CRIEPI) приступил к проведению исследования по борьбе с опустыниванием.* Кроме того, результаты данного исследования можно будет применять для оценки крупномасштабного производства питьевой воды из морской.

В этом исследовании изучается возможность объединения быстрого реактора-размножителя с жидкометаллическим теплоносителем (LMFBR) и процесса RO для опреснения 300000 м³ морской воды в день. Реактор мощностью 125 МВт(т.) имеет модульную конструкцию, которую характеризуют компактность, безопасность и простота, поэтому его назвали реактором „4S” (в соответствии с первыми буквами английских слов *super-safe, small, simple*). Активная зона состоит из бесчехловых ТВС с металлическими твэлами и рассчитана на 10 лет эксплуатации без перегрузки топлива.

Процесс обратного осмоса был выбран благодаря своему низкому энергопотреблению, простоте эксплуатации и технического обслуживания, небольшому пусковому времени и легкости эксплуатации на неполной мощности. В соответствии с выводами данного исследования энергопотребление составляет 4,1 кВт·ч/м³ произведенной воды, исключая энергию, необходимую для работы нагнетательных насосов.

квивается с трудностями. Обе эти технологии являются капиталоемкими, сложными и экономичными только в случае крупномасштабного применения.

В силу этого, развивающимся странам, испытывающим потребности в питьевой воде, прежде чем приступить к широкомасштабному опреснению морской воды, необходимо сначала рассмотреть другие меры. К их числу относятся: (1) использование всех природных водных ресурсов, если только это не связано с транспортировкой воды на большие расстояния, что также обуславливает большие издержки; (2) максимальная регенерация сточных вод для их использования в ирригационных и других целях; и (3) опреснение имеющейся солоноватой воды, содержание солей в которой меньше, чем в морской воде, с помощью процесса обратного осмоса или электролиза.

Эти меры связаны с меньшими затратами, чем опреснение морской воды, однако с их помощью можно производить лишь ограниченные объемы воды. Если требуются большие количества и имеется морская вода, внедрять технологию опреснения следует постепенно, начиная с одноцелевых установок. Таким образом будет накоплен опыт и создана инфраструктура, необходимые для опреснения, которые облегчат переход к следующему возможному этапу опреснения морской воды с помощью ядерной энергии. Однако первые ядерные энергоблоки должны генерировать только электроэнергию, чтобы можно было также накопить соответствующий опыт и создать необходимую инфраструктуру. Позднее атомные электростанции могут эксплуатироваться как двухцелевые.

Кроме того, можно рассмотреть еще две альтернативы. Одна из них заключается в строительстве атомной опреснительной станции (наиболее вероятно, что она также будет производить и электроэнергию) под ключ или на основании строительно-эксплуатационного контракта. В последнем случае поставщик принимает на себя полную ответственность за строительство и эксплуатацию станции в течение ограниченного периода времени. После этого заказчик будет оплачивать затраты на производство воды, а не издержки строительства станции.

Второй вариант предусматривает проектирование и строительство одноцелевой атомной электростанции, в основном предназначенной для производства электроэнергии. Он будет включать в себя лишь минимальные требования с учетом будущей конверсии в двухцелевую станцию (например, планировка площадки, турбинная секция и т.д.). Дополнительные расходы составят миллионы долларов США, однако через несколько лет они позволят объединить ядерную установку с опреснительными системами.

Потребности и перспективы развивающихся стран

В развивающихся странах, испытывающих острую потребность в водных ресурсах и страдающих от их нехватки, внедрение ядерно-энергетической технологии и технологии опреснения стал-

* „Использование сверхнадежных, небольших и простых реакторов с жидкометаллическим теплоносителем (LMR) для создания зеленых поясов в районах опустынивания”, С. Хаттори и Н. Ханда, *Труды Американского ядерного общества*, т. 60 (1989 г.).

Нефтедобывающие страны Ближнего Востока

Нефтедобывающие страны Ближнего Востока имеют развитую инфраструктуру и значительный опыт в области технологии опреснения. Более того, их доходы достаточны для оказания поддержки развитию этой технологии. Единственным потен-

циальным ограничением является отсутствие инфраструктуры, необходимой для ядерной технологии.

У этих стран имеются большие и насущные потребности в воде, что объясняет факт наличия большого количества действующих опреснительных установок; в начале 1988 г. эти государства обладали примерно 65 % всех установленных опреснительных мощностей в мире ($7,9 \times 10^6$ из 12×10^6 м³/день), на которых в основном использовались процессы MSF и RO.

Ожидается, что спрос на воду будет увеличиваться вместе с ростом населения. Темпы роста населения в этих странах очень высокие и варьируются от 2,5 до 5 % в год (по сравнению с 0,17 % в США и 1,7 % в среднем в мире). Многие из существующих опреснительных установок в течение нескольких следующих десятилетий будут заменены на усовершенствованные технологии. В следующем десятилетии водопроизводящие системы потребуют капиталовложений на сумму около 10 млрд. долл. США, а также еще несколько миллиардов долларов – в необходимые энергогенерирующие системы.

Один из принципиальных вопросов заключается в том, какой источник первичной энергии следует использовать в опреснительных системах. Наиболее привлекательными вариантами являются ядерная энергия и нефть.

С экономической точки зрения у нефтедобывающих стран имеется более сильный стимул, чем у остальных государств, отдать предпочтение нефти. Однако во внимание принимаются и другие аспекты, например охрана окружающей среды, социальные и психологические факторы. Один из подходов заключается в использовании того же источника энергии, которому отдано предпочтение в производстве электроэнергии в базовом режиме. Все аргументы „за” и „против” аналогичны как для использования ядерной энергии или нефти в целях производства энергии, так и для опреснения морской воды.

Выводы

- Опыт длительной эксплуатации, начиная с 1973 г., быстрого реактора-размножителя для опреснения морской воды в советском г. Шевченко доказал технико-экономическую целесообразность опреснения воды с помощью ядерной энергии в этом регионе.

- Привлекательность опреснения с использованием ядерной энергии в сравнении с обычными методами связана с относительно длительной стабильностью цен на ядерное топливо в отличие от повышающихся цен на ископаемое топливо, а также с экономическими преимуществами, обусловленными высоким коэффициентом мощности и минимальным влиянием на окружающую среду.

- Благодаря совершенствованию и разработке в 80-х годах различных процессов опреснения сейчас, кажется, отсутствуют какие-либо серьезные технические проблемы, связанные с использованием этих усовершенствованных технологий опреснения в совокупности с атомными электростанциями.

- Последние крупные исследования, проведенные в Соединенных Штатах, Федеративной Республике Германии и Японии, продемонстрировали технико-экономический потенциал опреснения морской воды с помощью ядерной энергии, хотя в некоторых случаях использование опресненной таким образом воды, например, в сельском хозяйстве, продолжает оставаться дорогостоящим. Сейчас трудно говорить о перспективах опреснения с использованием ядерной энергии, и в основном это обусловлено тем, что на принятие окончательных решений влияют факторы и политика правительств, которые выходят за рамки технического и экономического потенциала самой технологии.