

АТОМНОЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ ПОСЕЛЕНИЙ
NUCLEAR HEAT SUPPLY TO REMOTE SETTLEMENTS

Кокурина Д. А., Малыгина Д. А., Басов А. А., к-т. техн. наук, доцент;
Семенов А. Н., ст. преподаватель,
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексева, г. Нижний Новгород, Россия
D. Kokurina, D. Malygina, A. Basov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Semenenko, Senior Lecturer,
Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia

Аннотация. Рассмотрен вопрос радиационной безопасности АСТ. Описан принцип работы, а также процесс эксплуатации АСТ. Выявлены положительные и отрицательные стороны в использовании ядерной энергетики.

Abstract. The issue of AST radiation safety is considered. The principle of operation, as well as the process of operation of the AST, are described. The positive and negative sides in the use of nuclear energy are revealed.

Ключевые слова: атомная станция теплоснабжения, ядерное топливо, естественная циркуляция, радиация, атомная энергетика.

Key words: nuclear power plant, nuclear fuel, natural circulation, radiation, nuclear power engineering.

ВВЕДЕНИЕ

Атомная энергетика является одним из наиболее перспективных и обсуждаемых видов альтернативной энергетики в мире. Атомные станции теплоснабжения – одно из наиболее инновационных направлений использования атомной энергии. Эти станции являются стабильным и надежным источником тепловой и электрической энергии для городов и промышленных предприятий.

Развитие атомного теплоснабжения закономерно для нашей северной страны, имеющей традиции централизованного теплоснабжения, и преследует следующие цели:

– экономическую – сократить использование органического топлива (поскольку расход углеводородного топлива на отопление и горячее водоснабжение достигает 30–35 % топливных ресурсов), топливо-транспортных потоков, а также получить прямой экономический эффект за счет более дешевого атомного тепла;

– экологическую – сокращение выбросов продуктов сгорания, химически вредных и канцерогенных веществ, убыли кислорода из воздуха.

В то же время, использование атомной энергии вызывает опасения и требует строгого соблюдения требований безопасности. В данной статье

мы рассмотрим основные преимущества и недостатки атомных станций теплоснабжения, их принцип работы, а также влияние на окружающую среду и меры безопасности, которые необходимо принимать при использовании такого вида энергетики.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Принцип работы и защита реактора АСТ. Принцип работы атомной станции теплоснабжения основан на процессе ядерного деления, который происходит в специальных реакторах, а именно водо-водяных, в которых замедлителем нейтронов и теплоносителем является вода. Реакторы работают на базе ядерного топлива, которое может быть различного вида – уран, плутоний, торий и др.

В процессе работы реактора ядерное топливо подвергается делению, при этом выделяется большое количество тепловой энергии. Энергия передается теплоносителю – обычно воде – через систему охлаждения. Пар, полученный в результате нагрева воды, приводит в движение турбину, которая в свою очередь приводит в действие генератор электроэнергии. Электроэнергия поступает на трансформаторную подстанцию, где происходит ее преобразование для передачи в электрическую сеть.

Следует отметить важную особенность конструкции – естественная циркуляция теплоносителя. Циркуляция не зависит от работоспособности механизмов и подачи энергии на них. Данный фактор исключает сложные динамические режимы, связанные с отказами и пусками насосов, приводящие к перегреву активной зоны, термомеханическим нагрузкам на реакторные конструкции и твэлы. Такая особенность обеспечивает надежный теплосъем с активной зоны в условиях нормальной эксплуатации и ее охлаждение в аварийных режимах.

Использование естественной циркуляции позволило все кассеты активной зоны снабдить так называемыми тяговыми трубами, являющимися продолжением кассет. Это обеспечивает естественным образом распределение расхода воды по кассетам в соответствии с их мощностями.

Важным элементом работы атомной станции теплоснабжения является система безопасности. Реакторы оснащены множеством систем, обеспечивающих контроль за процессом деления ядерного топлива, регулирования мощности реактора, а также систему аварийного охлаждения. Эти системы должны работать надежно и эффективно, чтобы предотвратить возможные аварии и минимизировать риски для окружающей среды и жизни людей.

Так, одной из особенностей систем безопасности является внутренняя самозащищенность реактора АСТ.

В связи с тем, что в качестве замедлителя нейтронов используется вода, при повышении мощности, температуры или появлении пара количество замедлителя в зоне реакции сокращается, происходит самоглушение реактора и процесс тепловыделения прекращается. Таким образом, быст-

рое увеличение мощности или оснований для процессов типа взрыва в реакторах АСТ полностью исключено.

В реакторе АСТ отсутствуют циркуляционные насосы, а расход теплоносителя через активную зону обеспечивается за счет естественной циркуляции. Циркуляция теплоносителя и охлаждение активной зоны ни при каких условиях не прекращается. Соответственно, достигнуто новое качество внутренней самозащищенности – самоциркуляция теплоносителя в реакторе.

Новым решением в АСТ стало размещение реактора в прочном герметичном страховочном корпусе, рассчитанном на давление, устанавливаемое при разгерметизации корпуса реактора. Такую систему назвали «корпус в корпусе» Активная зона находится под уровнем воды и исключено ее плавление. Не требуется высокопроизводительной оперативной подпитки водой, исключена в течение длительного времени необходимость вмешательства персонала в ход аварии. Таким образом, реактор АСТ, имеющий второй корпус, не теряет воду при разгерметизации основного корпуса реактора.

Применение интегральной схемы реактора и размещение всей массы теплоносителя первого контура внутри корпуса реактора увеличивает суммарную теплоемкость системы и способность аккумулировать остаточное энерговыделение активной зоны при отказах в системах теплоотвода, тем самым обеспечивается значительный резерв времени для принятия мер. Интегральная компоновка оборудования, естественная циркуляция теплоносителя, низкий уровень энергонапряженности и параметров обеспечивает свойство внутренней самозащищенности реактора – самоохлаждение активной зоны.

Реактор АСТ обладает свойством самоохлаждения активной зоны в течение нескольких часов, достаточных для включения систем теплоотвода. Отвод остаточного тепла от реактора АСТ осуществляется при естественной циркуляции воды в контурах в течение нескольких суток без подвода электроэнергии и воды. Внутренняя самозащищенность обеспечивает неуязвимость реактора АСТ к ошибкам персонала, отказам и дефектам оборудования.

Таким образом в реакторе АСТ за счет оригинальных конструктивных решений значительно развиты качества внутренней самозащищенности, являющиеся основой повышенной безопасности реактора.

Влияние на окружающую среду. Все чаще мы слышим понятие – «экологическая катастрофа», т. е. проблемы необратимого антропогенного воздействия на окружающую среду. Концентрация углекислого газа в атмосфере сейчас на 23 % выше, нежели 150 лет назад, и она возрастает со скоростью 0,4 % в год. CO₂ и другие газы поглощают длинноволновую радиацию, излучаемую земной поверхностью, происходит рост температуры нижнего слоя атмосферы, – «парниковый эффект». Антропогенное воздей-

ствии на атмосферу при сжигании органического топлива вызывает все большую обеспокоенность ученых.

Острота проблемы охраны окружающей среды делает особенно актуальной задачу развития атомной энергетики. При работе атомной станции полностью исключаются выбросы в атмосферу опасных и вредных для здоровья людей химических продуктов и твердых частиц. Это объясняется свойствами уранового топлива, «горение» которого происходит без потребления атмосферного кислорода и не сопровождается какими-либо химическими реакциями. Поэтому развитие атомной энергетики есть ключ к решению не только энергетической, но и экологической проблемы, мощный фактор не только технического прогресса, но и оздоровления окружающей среды.

Конечно, в ядерной энергетике нет нерешенных проблем. Они есть, как и в любой современной высокотехнологичной отрасли. К числу наиболее важных экологических проблем относятся вопросы надежного долговременного захоронения высокорadioактивных отходов химпереработки облученного ядерного топлива. Однако, эта проблема не имеет драматичного и срочного характера. В этой области проводятся и научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки. В настоящее время существует целый ряд технологий обработки и захоронения высокоактивных отходов. Задача состоит в том, чтобы решить, какой подход из нескольких возможных следует выбрать, а также определить, когда его выбрать.

Ученые отмечают, что продолжает расти энерговооруженность общества. Энергонасыщенные и использующие опасные вещества объекты концентрируются. Во имя экономических показателей повышается их единичная мощность. Возрастает давление в основных промышленных аппаратах и транспортных коммуникациях, сеть которых становится все более разветвленной. Только в сфере энергетики ежегодно в мире добывается, транспортируется, хранится и используется около 10 миллиардов тонн условного топлива. По энергетическому эквиваленту эта масса топлива, способная гореть и взрываться, стала соизмеримой с арсеналом ядерного оружия, накопленного в мире за всю историю его существования. При этом, сдвиг структуры топливообеспечения в сторону все более широкого применения газожидкостных энергоносителей с одновременным увеличением мощности добывающих и использующих их производств заметно повысил риск взрывопожарных явлений крупного масштаба.

Влияние на человека. Воздействие радиация на организм человека заключается в расходовании поглощенной энергии на разрыв химических связей в клетках с образованием высокоактивных в химическом отношении соединений, так называемых свободных радикалов. Мерой радиационного облучения служит эквивалентная доза облучения. Эквивалентная доза ионизирующего излучения является основной величиной, определяющей уровень радиационной опасности при облучении человека. Человек

всегда был подвержен действию естественной радиации. Он подвергается воздействию космического излучения. Радиоактивные вещества находятся в земле, в зданиях, в которых мы живем, а также в пище и воде, которые мы потребляем. Радиоактивные газы находятся в воздухе, которым мы дышим, а наши тела сами являются радиоактивными. Уровни естественной радиации колеблются в значительных пределах в различных местах.

Помимо естественной радиации, человек подвержен действию источников излучения, которые он сам создал: рентгеновские лучи и другие виды излучения, используемые для медицинских целей, последствия осадков, выпавших при испытании ядерных зарядов и др.

Требования радиационной безопасности сводятся к тому, чтобы максимально ограничить утечку и выход радиоактивных веществ со станции. Выполнение этих требований достигается конструктивными решениями и технологическими параметрами реакторной установки и станции. Они состоят в следующем.

Реакторная установка АСТ выполнена герметичной, при ее работе отсутствует заметные технологические сдвиги среды 1 контура. Конструктивные решения по обеспечению герметичности первого контура отработаны на реакторах атомных ледоколов. Кроме того, реакторная установка размещена внутри прочного герметичного страховочного корпуса. Выброс радиоактивности из реактора установки при эксплуатации исключается. Это характеристика непрерывно контролируется различными способами. Появление продуктов деления в первом контуре в пренебрежимо малых количествах обусловлено потенциально возможной негерметичностью 1–2 твэлов из 18 000 штук. Выполнение этого требования подтверждено опытом эксплуатации АЭС и непрерывно контролируется спецсистемой контроля герметичности оболочек твэлов. Основным источником незначительного выхода активности из реактора является сброс паро-газовой среды перед перегрузкой топлива один раз в два года. Сброс осуществляется через угольные и аэрозольные фильтры и содержит инертные радиоактивные газы, в основном Хе и Кг. Воздух, охлаждающий оборудование станции слабо активизируется. Эта активность обусловлена также короткоживущим инертным газом аргоном. Указанные источники активности формируют годовое радиологическое воздействие при эксплуатации атомной станции теплоснабжения. Годовая доза облучения населения при эксплуатации АСТ составит около 0,01 мбэр за год и пренебрежимо мала по сравнению с естественным радиационным фоном, воздействующим на человека. Для обеспечения радиационной безопасности при использовании горячей воды в бытовых целях тепло от реактора в тепловую сеть передается посредством промежуточного водяного контура. Вода контура активного теплоносителя отделена от воды промежуточного контура, а вода промежуточного контура – от сетевого контура герметичными теплообменными поверхностями. В случае возникновения малейшей утечки теплообменники отсекаются от основного контура. Кроме того, для исключения утечки активности в сетевой контур в нем поддерживается более высокое давление воды, чем в промежу-

точным контуре. С той же целью в промежуточном контуре поддерживается активность теплоносителя на минимальном уровне: она не должна в процессе эксплуатации превышать более чем в 10 раз допустимую активность воды в открытых водоемах. Это позволяет обеспечить принятыми конструктивными мерами активность воды в сетевом контуре не больше, чем в воде открытых водоемов и других источниках водоснабжения.

Допустимые уровни активности теплоносителя и герметичность оборудования технологических контуров непрерывно контролируются автоматической системой радиационного технологического контроля. В случае превышения установленных пределов активности негерметичное оборудование или реакторная установка в целом выводятся из действия. Горячее водоснабжение производится по четырехконтурной схеме.

Попадание радиоактивности потребителю полностью исключено.

Энергетика. Подавляющая часть ресурсов органического топлива и сырья в России размещена в районах Западной и Восточной Сибири с суровыми условиями, в то же время около 80 % потребляемого топлива приходится на европейскую часть.

В наших географических условиях около четверти всей запасенной в транспортируемом газе энергии тратится на его перекачку по газопроводам, причем, в среднем протяженность газопровода к потребителю превышает 2400 км. Еще сложнее выглядит транспортировка угля. Поток топлива на единицу производимой электроэнергии в угольном топливном цикле превышает поток топлива в ядерном топливном цикле в десятки тысяч раз.

Наши запасы нефти и газа все еще велики, однако и они отнюдь не неисчерпаемы. Кроме того, нефть и газ – ценнейшее сырье, значение которого для общества будет постоянно возрастать, поэтому сжигать его в топках электростанций вряд ли целесообразно.

Единой панацее нет, это знали еще древние. Крайне важно энергосбережение, нужен газ, особенно для бытовых целей, для вытеснения угля и мазута в городах. Необходимо использование нетрадиционных возобновляемых источников для энергообеспечения местного значения. Но совершенно необходима атомная энергетика.

Сейчас определенно можно утверждать, что атомная энергетика в состоянии обеспечить народное хозяйство всеми видами энергоносителей: электроэнергия (АЭС), низкопотенциальное тепло (АСТ, АТЭЦ), высокотемпературное тепло на высокотемпературных гелиевых реакторах; производство водорода для транспорта (ВТГР), бридинг (воспроизводство ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах). То есть образуется замкнутая система энергообеспечения общества, полностью обеспеченная ресурсами на тысячелетия.

Несколько слов об экологических достоинствах атомной станции теплоснабжения. АСТ позволит уменьшить вредные для здоровья людей выбросы в атмосферу города: сернистого газа (на 20–30 тыс. тонн в год); окислов азота (на 7–9 тыс. тонн в год). Одновременно с этим в ат-

мосфере будет сохраняться около полутора миллиардов кубометров кислорода ежегодно.

АСТ имеет высокую тепловую экономичность – практически все выделившееся из топлива тепло направляется в сеть без сбросов тепла в водоемы и атмосферу. В связи с отсутствием на АСТ турбин водопотребление практически отсутствует. АСТ позволит высвободить около миллиона тонн условного топлива в виде газа. Этот газ может «вытеснить» 1,1 млн. тонн угля, а, например, в Нижегородской области сжигается 3 млн. тонн экологически вредного угля.

Реактор АСТ экологически очень благоприятен. И следует объективно рассмотреть ежедневные и ежегодные последствия воздействия «привычных» вредных выбросов энергетических и промышленных объектов и сопоставить риск от АСТ и городской «органической» энергетики «без повязки на глазах».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Атомная станция теплоснабжения с экологической социальной точки зрения – это наиболее предпочтительный, исторически неизбежный источник бытового теплоснабжения.

В АСТ инженеры и ученые вложили огромный потенциал знаний и технологического опыта. Энергетические водо-водяные реакторы имеют «стаж» свыше 5000 реактор-лет. Сотни реакторов ядерных двигателей подводных лодок у нас в стране, несомненно, также обогатили этот технологический и научный опыт.

Методология системных исследований безопасности, принятая сегодня в мире к сложным промышленным системам (энергетика, химия и т. д.) применена на АСТ в полном объеме. Использован и детерминистский подход постулированных аварий («все может быть»), и системные вероятностные оценки безопасности с исследованием сотен последовательностей аварийных событий, инициированных внутренними отказами, внешними событиями и ошибочными действиями (или бездействиями) персонала.

Все это дает основание утверждать, что АСТ имеет гарантированную безопасность. Да, аварии могут быть, хотя многое сделано чтобы вероятность была незначительна. Но главное, что радиологические последствия любой самой тяжелой аварии ограничены фоновыми значениями. Эти последствия и соответствующий риск много меньше аварийных последствий других видов промышленной деятельности.

В реакторе АСТ решены именно, те задачи, которые поставил Чернобыль перед ядерной энергетикой мира.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самойлов О. Б. Что такое атомная станция теплоснабжения / О. Б. Самойлов, В. С. Кууль, Б. А. Авербах и др; Под ред. О. Б. Самойлова, В. С. Кууля. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 96 с.: ил.