

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Российский статистический ежегодник за периоды с 2000 по 2013 гг.
2. Национальный Доклад о теплоснабжении Российской Федерации.// Новости теплоснабжения. 2001., № 4.
3. ГОСТ 27.002-89 «Надежность в технике».
4. Сурис М.А., Липовских В.М. Защита трубопроводов тепловых сетей от наружной коррозии. –М.: Энергоатомиздат, 2003. –216 с.
5. Беляйкина И.В., Витальев В.П. и др. Водяные тепловые сети: Справ. пособ. по проектированию.– М.: Энергоатомиздат, 1988.– 376 с.

Научный руководитель: В.В. Литвак, д.т.н., профессор кафедры атомных и тепловых электростанций ТПУ.

## РЕАКТОРЫ БН С ТЖМТ

Д.Э. Вдовин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Энергетический Институт, Атомные и Тепловые электростанции

### ВВЕДЕНИЕ

Современная ядерная энергетика переживает не самый простой период. Свидетельством этого является то, что она подвергается критике, вплоть до требования ее полного запрета. Несмотря на то, что в подобной критике часто присутствует субъективизм, а то и полная необъективность, следует признать, что веские основания для критики имеются. Развивающаяся ядерная энергетика, как и любая технология, должна постоянно совершенствоваться. Рассматривая роль ядерной энергетики в мировой энергетической системе имеет смысл выделить основную проблему - экологическая безопасность.

Решить эту проблему в значительной мере помогает использование ТЖМТ в ЯР. Наиболее распространенными являются свинец и эвтектика свинец-висмут. Например, при применении легких теплоносителей, таких как натрий и литий при рабочих температурах горят на воздухе и активно реагируют с водой и пароводяной смесью – рабочим телом в цикле Ренкина. Продукты, образующиеся при поступлении воздуха и воды в энергетический контур с этими теплоносителями, кроме водорода образуют массы нерастворимых примесей с температурой плавления существенно выше, чем у жидкого металла. Эти примеси могут изменять физико– химические характеристики элементов контура, условия теплообмена в них и необратимо влиять на эксплуатационные свойства оборудования и контура.

Использование воды в качестве теплоносителя тоже имеет ряд значительных недостатков. Одним из них является возможность замерзания воды в системе при температуре ниже 0°C и, как следствие, вывод последней из строя, и опасность разрушения контура. Ещё одной проблемой является необходимость изменения химического состава воды перед использованием для в виде теплоносителя или рабочего тела, однако не всегда требуется очистка воды. При температуре воды выше 80°C начинается интенсивное разложение карбонатных солей и отложение накипи на стенках парогенератора и трубах, что является причиной ухудшения теплоотдачи и выхода из строя нагревательных элементов из-за их перегрева.

Эвтектика свинец-висмут и свинец при рабочих температурах слабо реагируют с компонентами воздуха и воды; данные процессы взрыво – пожаробезопасны. Образующиеся продукты реакции – оксиды теплоносителя, независимо от их места расположения в контуре, технически просто восстанавливаются газовыми смесями, например, на основе водорода.

Продуктами реакции восстановления являются теплоноситель и водяной пар, выводимый из газовой системы контура. В отличие от систем со щелочными металлами, при этом не происходит накопления радиоактивных продуктов в контуре, требующих последующего удаления и переработки.

Эвтектика свинец-висмут является наиболее освоенным тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. Значительный объем исследований и его практическое освоение осуществлялось в нашей стране в период 60-90-х годов прошлого века на исследовательских и промышленных стендах, опытных и серийных транспортных реакторных установках.

Висмут обладает худшими магнитными свойствами из всех металлов, его удельная теплопроводность меньше других металлов, ниже его по теплопроводности только ртуть. Плотность висмута (н.у.) –  $9,84 \text{ г/см}^3$ . Температура плавления –  $271,3^\circ\text{C}$ . Содержание висмута в земной коре составляет  $3,4 \cdot 10^{-6}\%$ . Металлические модификации висмута не окисляются кислородом воздуха и устойчивы по отношению к воде.

### **ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Первые проекты реакторов с ТЖМТ появились в 1950-х годах, работы велись в СССР и в США. В СССР разработка проводилась в Физико – энергетическом институте, научным руководителем проекта стал академик Академии наук Украинской ССР А. И. Лейпунский. Одним из первых вариантов практического применения реактора стало использование установки на опытной подводной лодке К-27. Этот тип реакторов был выбран по причине компактности, быстрого набора мощности, необходимой для маневрирования в боевых условиях, а также повышенной потенциальной безопасности реактора, в том числе и способности реактора самопроизвольно уменьшать мощность в аварийных ситуациях.

При турбулентном течении жидкостей в трубах передача тепла осуществляется как за счет турбулентного перемешивания потока, так и путём молекулярной теплопроводности теплоносителя. Жидкометаллические теплоносители обладают лучшей по сравнению с другими теплоносителями молекулярной теплопроводностью.

Жидкие металлы являются единственными теплоносителями, удовлетворяющими всем требованиям в отношении теплоотвода и ядерных свойств, предъявляемым к энергетическим реакторам на промежуточных, быстрых нейтронах и к реакторам – размножителям.

### **ДОСТОИНСТВА**

Использование жидкометаллических теплоносителей в ядерных установках имеет ряд преимуществ:

1. Жидкие металлы имеют малую упругость паров. Давление в системе определяется только потерей напора в контуре, которое обычно меньше 7 бар, что существенно упрощает конструкцию и эксплуатацию как ЯР, так и вспомогательного оборудования станции.

2. Высокая температура кипения жидких металлов обеспечивает большую гибкость в работе. Например, если температура теплоносителя на выходе из реактора значительно повысится, то расплавления тепловыделяющего элемента, обусловленного образованием паровой плёнки, как это происходит при охлаждении водой, не произойдет.

3. Высокая электропроводность жидких щелочных металлов позволяет полностью использовать герметизированные электронасосы (постоянного и переменного тока). По расходу энергии на прокачивание жидкие металлы лишь немногим уступают воде. Из жидких металлов лучшие характеристики по расходу энергии на прокачивание имеют щелочные металлы. Если, например, расход энергии на прокачивание жидкого натрия принять за единицу, то для ртути это будет 2,8, а для висмута 4,8.

4. В отличие от других жидких металлов, Na и Na-K оказывают малое коррозионное и эрозионное воздействие на конструкционные материалы. Для натрия и эвтектики Na-K можно применять многие из обычных материалов.

5. Наиболее дешёвым из жидких металлов является натрий, затем свинец и калий. Поскольку объём теплопередающей системы обычно относительно невелик, а перезарядка производится редко, затраты на теплоноситель незначительны.

### **НЕДОСТАТКИ**

Щелочные металлы обладают большой химической активностью. Наибольшую опасность представляет реакция с водой. Поэтому в системах с пароводяными циклами должны быть предусмотрены устройства, обеспечивающие взрывобезопасность. Соприкосновение с паром или с кислородом воздуха неопасно (поддерживающейся реакции горения нет), но чтобы избежать окисления металла, соприкосновение его с воздухом должно быть исключено, так как окись Na не растворима в жидком Na и Na–K, а включение окислов может привести к закупорке отдельных каналов. Наличие в жидком Na и Na–K окислов натрия ухудшает также коррозионные свойства теплоносителей. Натрий и Na–K должны храниться в среде инертного газа (He, Ar), а использование инертного газа, такого как He пока невозможно вследствие его текучести.

1. Активация теплоносителя приводит к необходимости устраивать для наружной части контура теплопередающей системы биологическую защиту. Решение этой проблемы усложняется при  $\gamma$ -излучении высокой энергии или при тормозном излучении. Изотопы Na и K имеют малые периоды распада, но при загрязнении металла активными примесями с большим периодом распада задача защиты от активности усложняется, и требуется создание такой конструкции, которая позволяла бы выводить весь жидкий металл из системы при ее ремонте. Отмеченные обстоятельства вынуждают предъявлять повышенные требования к химической чистоте жидких металлов. Жидкие металлы являются одноатомными веществами, поэтому проблема радиационных нарушений в теплоносителях не возникает. Хотя некоторая часть атомов жидкого металла и превращается в другой металл (например,  $^{24}\text{Na}$  переходит в  $^{24}\text{Mg}$ ), но количество таких превращений при существующих нейтронных потоках в реакторах ничтожно мало.

2. Дополнительные устройства, применение которых необходимо в связи с использованием жидкометаллических теплоносителей, значительно усложняют технологическую схему ядерно-энергетической установки. Такими дополнительными устройствами являются: установка для плавления и перекачивания жидкого металла в контур (для Na–K – эвтектики плавильный бак не требуется); устройство для удаления окислов. Через это устройство, включенное параллельно основному контуру, устанавливается небольшой расход жидкого металла; таким образом, осуществляется непрерывная очистка теплоносителя от окислов; ловушки для паров жидкого металла, уносимых газовым потоком из системы при её опорожнении и заполнении. Газовые потоки с парами жидкого металла возможны и из других аппаратов (буферные бачки и пр.).

К недостаткам использования жидкого натрия необходимо отнести также его способность проникать в поры графита. Наличие большого количества балластного натрия в порах привело бы к большим потерям нейтронов из-за относительно большого сечения захвата нейтронов натрием. Для предотвращения контакта между натрием и графитом, последний обычно защищается фольгой из металла (например, циркония), слабо поглощающего нейтроны.

### **ВЫВОД**

Основной причиной перспективности использования тяжелых теплоносителей в энергетических контурах объектов атомной энергетики является то, что они в большей степени удовлетворяют требованиям обеспечения безопасности, чего не скажешь о лёгких теплоносителях. Применение ТЖМТ позволяет практически реализовать высокоэффективные технологические процессы, а также создавать новые ядерные энергетические установки с оригинальными научно – техническими решениями.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Марюшин Л.А. Высокотемпературные теплотехнические процессы и установки, Л.: Москва, 2012. 186с.

Научный руководитель: Лавриненко С.В., Ассистент, кафедра «Атомных и тепловых электрических станций» НИ ТПУ.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Я.В. Лисова, И.А. Рябиков

ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина», факультет информатики  
и вычислительной техники, кафедра систем управления

«Наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немислима без меры». Эта цитата русского ученого Дмитрия Ивановича Менделеева очень точно подчеркивает, что прогресс науки неотделим от прогресса измерений. В свою очередь наука изыскивает новые, более совершенные методы измерений. Без точных измерений не существовало бы современной техники. Для современных исследований необходимы точные измерения во всем: в инженерных расчётах, лабораторных испытаниях, конструкторских схемах и проектах и многих других сферах человеческой деятельности [1].

В настоящее время автоматизация применяется в подавляющем большинстве технологических процессов. При эксплуатации и наладке современных АСУТП важное значение имеют точность и качество выполненных измерений. Значения величин должны постоянно обновляться и бесперебойно поступать на приборы для дальнейшей обработки. Управление технологическим процессом немислимо без точных и своевременных показаний приборов. На них строится вся дальнейшая работа системы и последующие шаги оператора. Самыми распространенными являются температурные измерения [2].

Существует огромное множество технических средств для измерения температуры, отличающихся принципом действия, диапазоном измерений, условиями эксплуатации, конструкцией, возможностью дистанционной передачи показаний и т.п. Однако можно выделить и общие показатели, применимые к большинству датчиков температуры, такие как класс допуска (характеризующий точность измерений) и время термической реакции (характеризующее быстродействие датчика). Определение погрешности датчиков температуры, являющейся статической характеристикой – штатная процедура, регулярная для технологических объектов управления. К тому же вопросы поверки датчиков давно изучены и широко описаны в литературе и нормативной документации.

По-другому обстоят дела с определением динамических свойств датчиков температуры. В каталогах и паспортах для датчиков температуры приводят лишь время термической реакции, зачастую не указывая даже среду, для которой представлена данная величина. Очевидно, что на динамические свойства будут оказывать влияние, как минимум, характеристика среды и скорость обтекания датчика технологической средой. Динамические свойства датчиков оказывают влияние на параметры настройки автоматических регуляторов и, соответственно, на качество работы АСУТП в целом. Поэтому задача исследования динамических свойств датчиков температуры является актуальной и востребованной.

Целью работы является исследование датчиков температуры и определение их динамических характеристик.

Наиболее распространенными в промышленности датчиками температуры являются термопреобразователи сопротивления (ТС) [2]. Они представляют собой универсальные измерительные приборы, предназначенные для измерения температуры жидких, твердых,