

УДК 621.9

А. В. Замятина, А. И. Вальцева

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Alex-Liga@yandex.ru

СИСТЕМА ОЧИСТКИ НАТРИЯ I КОНТУРА IV ЭНЕРГОБЛОКА БЕЛОЯРСКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

В данной статье рассматривается система очистки натрия I контура IV энергоблока Белоярской атомной станции.

Ключевые слова: *очистка натрия; первый контур; фильтр-ловушка; рекуператор; насос.*

A. V. Zamyatina, A. I. Valtseva

Ural Federal University, Ekaterinburg

THE CLEANING SYSTEM OF I CIRCUIT SODIUM OF UNIT IV OF BELOYARSKAYA NUCLEAR POWER PLANT

This article discusses the cleaning system of I circuit sodium of IV unit of the Beloyarskaya nuclear power plant.

Key words: *cleaning of sodium; the first circuit; entrainment filter; heat exchanger; pump.*

На атомных электростанциях мира в настоящее время используются реакторы на тепловых нейтронах, сжигающих только уран-235 (^{235}U). Содержание данного изотопа в природном уране составляет лишь 0,72 %, а для его использования требуется технически сложное изотопное обогащение до уровня порядка 5 %. Но и это количество урана-235 технически трудно полностью использовать. Реакторы на быстрых нейтронах позволяют сжигать весь природный уран, а также торий, не имеющий изотопов, делящихся тепловыми нейтронами. В качестве теплоносителя в

реакторах на быстрых нейтронах используется жидкий натрий. Однако для безопасной эксплуатации реактора с натриевым теплоносителем требуются специальные системы.

Основные свойства натрия, которые делают его предпочтительным теплоносителем – это небольшие сечения поглощения и рассеяния нейтронов, высокая температура кипения, скрытая теплота парообразования и коэффициент теплопередачи, коррозионная пассивность по отношению к нержавеющей стали, топливу, высокая теплостойкость и температура замедления. Последнее позволяет проводить работы на участках с замороженным теплоносителем. Натрий имеет высокую термическую стойкость, низкую вязкость при рабочих температурах и для его прокачки можно применять надежные, не имеющие движущихся частей электромагнитные насосы [2].

Натрий серебристо-белый щелочной металл с удельным весом $0,95 \text{ г/см}^3$ при $200 \text{ }^\circ\text{C}$, температура плавления – $980 \text{ }^\circ\text{C}$, температура кипения – $8830 \text{ }^\circ\text{C}$, минимальная температура воспламенения в воздухе – $2000 \text{ }^\circ\text{C}$.

Можно выделить следующие преимущества Na, как теплоносителя: возможность работы на низком давлении в первом контуре; натрий позволяет перекачивать относительно малые объемы, следовательно, уменьшаются диаметры трубопроводов и расходы на собственные нужды; обеспечивает большой коэффициент теплоотдачи от поверхности оболочки ТВЭЛа к теплоносителю; высокое энерговыделение в активной зоне, что позволяет снизить размеры активной зоны; низкая температура плавления [3].

Однако, натрий обладает рядом и недостатков, которые затрудняют его широкомасштабное применение как теплоносителя: появление O_2 в жидком Na приводит к коррозии металла; жидкий металл – трудность в обращении, в том числе необходимы специальные электромагнитные насосы для прокачки; необходимость обеспечивать замкнутый круг циркуляции теплоносителя с двойной герметизацией; Na_2O может частично закупоривать систему охлаждения теплоносителя; необходимо ставить радиационную

защиту в систему циркуляции и охлаждения возможности образования ^{24}Na . Он является изотопом, испускает β -частицу и 2 γ -кванта [1].

Система очистки натрия 1 контура состоит из трех равнозначных контуров, каждый из которых подключен к общему трубопроводу подачи натрия из реактора и трубопроводу возврата. Каждый контур состоит из рекуператора и фильтр-ловушки.

Все контура системы очистки связаны между собой коллекторами что позволяет производить очистку теплоносителя на любой из установленных фильтр-ловушек. Очистка натрия от примесей в период первоначального накопления теплоносителя перед заполнением реактора производится на одной из установленных фильтр-ловушек, которая вводится в работу до начала заполнения натрием первого контура.

Натрий на очистку в период накопления подается электромагнитными насосами системы бакового хозяйства 1 контура. После очистки натрий возвращается в баковое хозяйство 1 контура (рисунок).

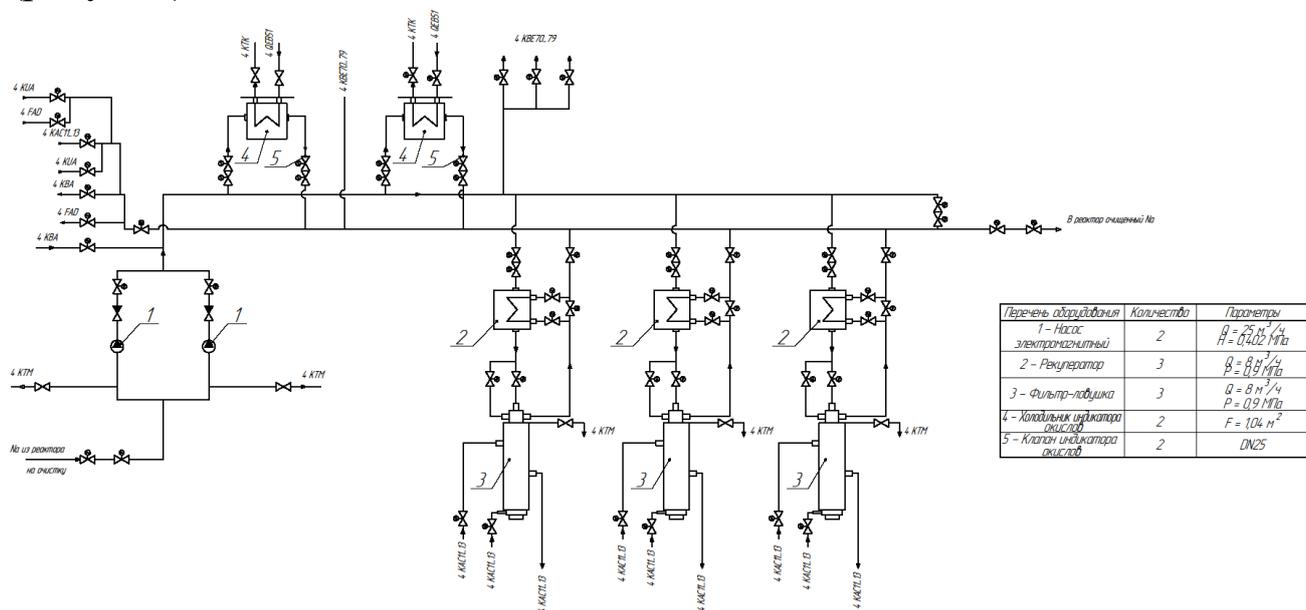


Схема работы системы очистки

Во время эксплуатации блока циркуляция натрия в системе контроля и очистки осуществляется электромагнитными насосами системы очистки, которые подключаются непосредственно к

трубопроводу, выходящему из реактора. Сброс также подключен к патрубку реактора. К этим же коллекторам подключаются системы контроля чистоты натрия 1 контура.

Очистка натрия производится в фильтр-ловушке, принцип действия которой основан на охлаждении натрия до температуры несколько ниже температуры насыщения при данной концентрации растворенных примесей и улавливания выпавших кристаллов примесей в зоне фильтра, в зоне охлаждения и в зоне отстойника.

Для снижения температуры «грязного» натрия на входе фильтр-ловушки и подогрева «чистого» натрия, отводимого из фильтр-ловушки, предназначен рекуператор, установленный в системе очистки. Это теплообменный аппарат, в котором происходит обмен тепла между «грязным» (горячим) натрием, циркулирующим внутри корпуса, и «чистым» (холодным) натрием, циркулирующим по трубной системе.

При очистке натрия, подаваемого из системы бакового хозяйства 1 контура, рекуператор байпасируется.

Подпитка реактора натрием производится через систему очистки на остановленном реакторе [2]. Натрий подается насосом из бака первого контура, проходит через фильтр-ловушку и далее в трубопровод возврата натрия после очистки. Охлаждение фильтр-ловушек осуществляется воздухом, циркулирующим по замкнутому контуру, индивидуальному для каждой фильтр-ловушки. Тепло из воздушного контура отводится в теплообменниках технической водой. Контроль за качеством натрия ведется с помощью системы индикации окислов. Система индикации окислов 1 контура имеет два равнозначных контура (один рабочий, один резервный). Каждый контур индикации состоит из клапана индикатора окислов, холодильника индикатора окислов. Натрий в контур индикации окислов подается насосами системы очистки. Захолаживание натрия производится подачей охлаждающего воздуха в холодильник индикатора окислов. Охлаждение натрия ведется до момента прекращения расхода через клапан-индикатор. Температура, при которой происходит забивание клапана-индикатора, указывает на

количество содержания окислов. По данным замера клапана-индикатора принимается решение о необходимости проведения очистки. Чистым считается натрий, температура закипания которого составляет 120 °С. После клапана-индикатора натрий возвращается в трубопровод возврата натрия из системы очистки теплоносителя 1 контура в реактор [3].

В данный момент времени разрабатываются реакторы со свинцово-висмутовым теплоносителем (БРЕСТ, СВБР). Натриевый теплоноситель при всех вышеперечисленных преимуществах перед тяжелым сплавом свинец-висмут (а также и дешевизна, невысокая температура плавления, малые энергозатраты на перекачку через реактор) имеет и существенные недостатки – пожароопасность и высокий положительный пустотный эффект реактивности, который не допустим правилами ядерной безопасности. Считается, что использование свинцово-висмутового теплоносителя [1] за счет высокой температуры его кипения позволяет решить эту проблему. При сравнительном анализе данных, приведенных в таблице, можно отметить, что тяжелый теплоноситель имеет одно заметное преимущество перед натриевым – он меньше замедляет нейтроны (вернее – формирует более «острый» нейтронный спектр) и за счет этого, при прочих равных условиях, позволяет уменьшить требуемую глубину выгорания топлива до 25 % (вместо 28 % для натриевого). По той же причине значение пустотного эффекта реактивности также ниже (таблица).

Сравнение характеристик реакторов с натриевым и свинцово-висмутовым теплоносителем

Характеристика	Теплоноситель	
	Na	Pb-Bi
Максимальная глубина выгорания топлива, %	28	25
Кампания топлива, эфф. сут	25,2	22,3
Коэффициент $k_{эфф}$ (начало/конец цикла)	1,009 /1,00	1,008/1,00
Пустотный коэффициент реактивности, %, $\Delta k/k$		
– в активной зоне	+5,4	+1,63
– реакторе	+5,4	+1,47

В России быстрые реакторы являются системообразующим фактором замкнутого ядерного цикла. В качестве теплоносителя в таких реакторах используется натрий. Система очистки натрия первого контура является необходимой системой для нормальной эксплуатации как реакторной установки, так и всей станции в целом.

Список использованных источников

1. Техническая физика быстрых реакторов с натриевым теплоносителем / В. И. Матвеев, Ю. С. Хомяков. М. : МЭИ, 2012. 356 с .
2. Ядерные энергетические установки / К. Н. Проскуряков. М. : МЭИ, 2015. 446 с.
3. Безопасность АЭС с реакторами на быстрых нейтронах / И. А. Кузнецов, В. М. Поплавский. М. : МЭИ, 2012. 632 с.