

В уравнение (5) знак «+» относится к коэффициенту  $K_{31}$  (процесс зарядки) и знак «-» – к коэффициенту  $K'_{31}$  (процесс разрядки) и соответственно в период зарядки; уравнение (5) решается перед переменным  $\Delta\theta_0^B$  с коэффициентом  $K_{31}$  в период разрядки с коэффициентом  $K'_{31}$ .

Совместно решая уравнения (5) и (6), можно легко установить уравнения связей в динамике при изменениях входной величины  $\theta_0^B$ , изменении выходной величины  $\theta_{01}^B$ , изменении температуры воздуха на входе, изменении температуры жидкости (воды) на выходе (6) и изменении температуры жидкости (воды) на входе, изменении температуры воздуха на выходе (6) и изменении температуры жидкости (воды) на входе, изменении температуры воздуха на выходе.

Предложенный аналитический метод расчета температуры воздуха на выходе из водяного аккумулятора тепла позволяет получить динамические характеристики гелиотеплицы.

#### Л и т е р а т у р а

1. Амерханов, Р. А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии / Р. А. Амерханов. – М. : Колос, 2003. – 532 с.
2. Марченко, О. В. Системные исследования эффективности возобновляемых источников энергии / О. В. Марченко, С. В. Соломин // Теплоэнергетика. – 2010. – № 11. – С. 12–17.
3. Севернев, М. М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве / М. М. Севернев. – М. : Колос, 1992. – 190 с.
4. Твайдел, Дж. Возобновляемые источники энергии / Дж. Твайдел, А. Уэйр. – М. : Энергоиздат. – 1990. – 392 с.
5. Байрамов, Р. Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве / Р. Б. Байрамов, Л. Б. Рыбакова. – Ашхабад, 1983. – 85 с.
6. Хайридинов, Б. Э. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла / Б. Э. Хайридинов, С. М. Исаев, М. У. Аширбаев // Гелиотехника. – 1990. – № 5. – С. 80–83.
7. Левенберг, В. Д. Аккумуляция тепла / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем. – Киев : Тэхника, 1991. – 111 с.
8. Нерлин, С. В. Энерго- и массообмен в системе «растение – почвы – воздух» / С. В. Нерлин, А. Ф. Чудновский. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 352 с.
9. Чудновский, А. Ф. Теплофизика почв / А. Ф. Чудновский. – М. : Наука, 1976. – 352 с.

УДК 536.24

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОБМЕННИКОВ С ТЕРМОСИФОННЫМИ ТЕПЛОПЕРЕДАЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

**А. В. Таран**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: А. В. Шаповалов, Н. М. Кидун

*В настоящий момент существует тенденция к оптимизации массогабаритных характеристик теплообменного оборудования при проектировании систем утилизации тепла и повышения эффективности теплоиспользующих установок энергетики и промышленности. Решение этих задач может быть достигнуто при использовании теплообменных*

*контуров с двухфазным теплоносителем с механической или капиллярной прокачкой рабочей жидкости, или высокоэффективных теплопередающих устройств, работающих по замкнутому испарительно-конденсаторному циклу – тепловых труб и термосифонов.*

**Ключевые слова:** теплообменник, термосифон, испарительная система, атомная энергетика.

## **PRACTICAL APPLICATION OF HEAT EXCHANGERS WITH THERMOSYPHON HEAT TRANSFER ELEMENTS**

**A. V. Taran**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Science supervisors: A. V. Shapovalov, N. M. Kidun

*At the moment, there is a tendency to optimize the weight and size characteristics of heat exchange equipment when designing heat recovery systems and increasing the efficiency of heat-using power plants and industry. The solution to these problems can be achieved by using heat exchange circuits with a two-phase coolant with mechanical or capillary pumping of the working fluid, or highly efficient heat transfer devices operating in a closed evaporative–condenser cycle – heat pipes and thermosiphons.*

**Keywords:** heat exchanger, thermosiphon, evaporation system, nuclear power.

Для поддержания необходимого температурного уровня конструкций металлургических печей широкое распространение получила испарительная система охлаждения. К недостаткам данной системы можно отнести то, что существует возможность прогара отдельных труб, трудность обнаружения поврежденных участков, что может привести к попаданию большого количества охлаждаемой воды в рабочее пространство печи. Наряду с этим существующие системы испарительного охлаждения корпуса печи требуют выполнения большого количества отверстий в кожухе печи, что уменьшает его прочность.

Двухконтурная система испарительного охлаждения холодильных плит: в качестве первого контура используются двухфазные термосифоны. Основным преимуществом данной системы является то, что существует дробление первого контура на большое количество замкнутых теплопередающих устройств, следовательно, выход одного из элементов практически не влияет на работу системы охлаждения. Это приводит к повышению надежности работы системы охлаждения и к увеличению производительности печи.

Конструктивно термосифоны системы охлаждения выполняются в виде ряда изогнутых стальных труб, которые помещаются внутрь холодильной плиты при ее отливке. Свободные концы термосифонов выводятся через отверстия в кожухе печи во внешнее пространство и подсоединяются ко второму контуру системы охлаждения. Таким образом, конструктивное выполнение термосифонов требует выполнения отверстий в кожухе печи лишь на уровне верхней части холодильных плит, что приводит к повышению прочности кожуха.

На основе замкнутых двухфазных термосифонов разработаны системы охлаждения ряда других печных агрегатов. Преимущество новой системы охлаждения короба заключается в повышении надежности охлаждаемой конструкции, за счет чего увеличивается время работы печи.

Одним из направлений использования двухфазных термосифонов может стать атомная энергетика. После известных аварий на атомных станциях стал вопрос о создании высокоэффективной системы расхолаживания реакторов в случае длительного обесточивания энергоблока. При обесточивании энергоблока защитные стержни-поглотители вводятся в активную зону реактора, тем самым останавливая процесс деления ядерного топлива. Однако после полного останова реактора необходимо отводить большое количество теплоты от воды первого контура, а в случае обесточивания затрудняется работа циркуляционных насосов.

Данная проблема может быть решена созданием пассивных систем отвода остаточного тепла. В качестве теплообменников для данной системы предлагается использовать аппараты, изготовленные на базе двухфазных термосифонов.

Также возможно использование термосифонных теплообменников для реактора ВВЭР-1000.

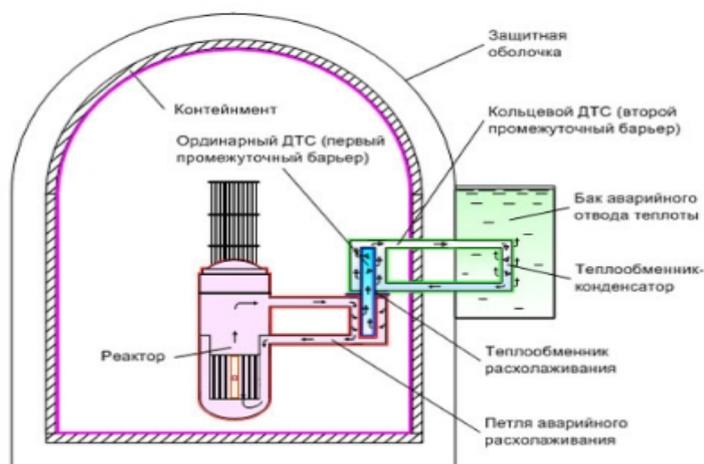


Рис. 1. ВВЭР с двумя промежуточными барьерами защиты

Особенность данной системы заключается в том, что используются два термосифонных теплообменника, которые являются промежуточными барьерами. Первый промежуточный барьер установлен вертикально и служит для отвода тепла от первого контура и передачи ее второму промежуточному барьеру, часть корпуса которого находится за герметичной оболочкой и работает по принципу кольцевого двухфазного термосифона с разделением потоков пара и конденсата. Это существенно снижает вероятность того, что в аварийных ситуациях радиоактивные продукты смогут выйти за пределы барьеров безопасности.

#### Л и т е р а т у р а

1. Пародинамические термосифоны и их применение в тепловом оборудовании различного назначения / Леонард Л. Васильев [и др.] // Тепло- и массоперенос–2013 : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – С. 12–16.
2. Безродный, М. К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М. К. Безродный, И. Л. Поори, Т. О. Костю. – Киев : Факт, 2005. – 704 с.
3. Практическое использование высокоэффективных двухфазных термосифонных устройств / А. В. Шаповалов [и др.] // Агротехника и энергообеспечение. – 2019. – № 3 (24). – С. 117–127.