

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ім В.С. МАРТИНОВСЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

XVI Всеукраїнської

науково-технічної

конференції

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ

ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

5-7 жовтня 2016 року, м. Одеса



ОДЕСА

2016

ОРГКОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

Голова:

Сторов Богдан Вікторович – ректор Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор.

Замісники:

Поварова Наталія Миколаївна – проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій, к.т.н., доцент,

Косой Борис Володимирович – директор Навчально-наукового інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського Одеської національної академії харчових технологій, д.т.н., професор.

Члени оргкомітету:

Артеменко С.В.

Бошкова І.Л.

Бошков Л.З.

Василів О.Б.

Гоголь М.І.

Дьяченко Т.В.

Желєзний В.П.

Зацеркляний М.М.

Князева Н.О.

Кологривов М.М.

Котлик С.В.

Крусір Г.В.

Мазур В.О.

Мазур О.В.

Мілованов В.І.

Морозюк Л.І.

Нікулина А.В.

Ольшевська О.В.

Плотніков В.М.

Роганков В.Б.

Роженцев А.В.

Сагала Т.А.

Семенюк Ю.В.

Смирнов Г.Ф.

Тітлов О.С.

Шпирко Т.В.

Хлієва О.Я.

Хмельнюк М.Г.

Хобин В.А.

Цикало А.Л.

Відповідальний за випуск: Тітлов О.С., завідувач кафедри теплоенергетики та трубопровідного транспорту енергоносіїв

Мова видання: українська, російська, англійська

За достовірність інформації відповідає автор публікації

Рекомендовано до друку Радою факультету прикладної екології, енергетики та нафтогазових технологій, протокол № 2 від 21 вересня 2016 року.

А 43 Актуальні проблеми енергетики та екології / Матеріали XVI Всеукраїнської науково-технічної конференції. – Херсон: ФОП Грінь Д.С., 2016. – 312 с.

ББК 31:20.1

ISBN 978-966-930-137-6

© Одеська національна академія харчових технологій

© Факультет прикладної екології, енергетики та нафтогазових технологій

СЕКЦІЯ 5:

. ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННЯ

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ І ЕНЕРГОМАШИНОБУДУВАННІ

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК

Скалозубов В.И.², д-р техн. наук, профессор, Чжоу Хуинюй¹

¹ Межведомственный центр фундаментальных научных исследований
в области энергетики и экологии, г. Одесса

² Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса

В статье представлен анализ целесообразности установки регуляторов для повышения надежности работы насосов высокого и низкого давления систем аварийного охлаждения активной зоны реактора ВВЭР. В результате проведенного анализа определена нецелесообразность установки таких регуляторов, так как это может привести к возникновению автоколебательных процессов и неэффективно в отношении устранения термодара на корпус реактора, а также к возможному снижению показателей.

Ключевые слова: регуляторы, насосы, системы безопасности, реактор, надежность.

В рамках повышения эффективности и надежности управления авариями с течами 1-го контура реакторных установок (РУ) малосерийных ВВЭР-1000/В-302, 338, для которых критичной является работоспособность системы аварийного охлаждения активной зоны высокого давления (САОЗ ВД), разработаны технические обоснования и решения [1] о необходимости модернизации этой системы путем регулирования подачи охлаждающей воды в 1-й контур. Основная цель регулирования расхода САОЗ ВД заключается в установке запорно-регулирующих клапанов (ЗРК) для обеспечения необходимого запаса температуры теплоносителя до кипения на выходе из активной зоны (ΔT_S) при поддержании допустимого давления P в 1-м контуре. По мнению разработчиков [1] осуществление такого регулирования позволит существенно повысить эффективность и надежность управления авариями с течью теплоносителя (в том числе и межконтурными течами): сократить время подключения системы аварийного охлаждения активной зоны низкого давления (САОЗ НД) после отключения САОЗ ВД, ограничить потери теплоносителя, исключить отказы проектных арматур, исключить термшок и т.д. Непосредственное регулирование расхода САОЗ ВД предполагается осуществлять ЗРК, установленными на байпасе проектной арматуры на напорной линии САОЗ ВД и предназначенными для поддержания необходимого запаса температуры теплоносителя до кипения и давления 1-го контура.

Примером таких регуляторов может быть система автоматического регулирования первой управляющей системы безопасности (УСБ-1) [2], в которой предполагается поддержание запасов до кипения $\Delta T_S = 10, 15$ и 20 °С и фиксированного значения давления в трех режимах по выбору оператора: стерегущий режим (РСТ), режим поддержания запаса до кипения (ΔT_S), режим поддержания давления (РПД). Входными сигналами регуляторов являются – давление теплоносителя в 1-м контуре P ; температуры теплоносителя в разных местах 1-го контура T_{jk} и положение импульсного механизма регулятора H .

Контраргументами установки на байпасе регуляторов САОЗ ВД может быть следующее.

1. ЗРК САОЗ ВД являются дополнительными активными элементами СБ, что определяет возможность возникновения дополнительных отказов, связанных с выполнением процесса регулирования. В частности, установка ЗРК САОЗ ВД противоречит современным принципам приоритета развития пассивных систем/элементов СБ.

2. Установка ЗРК требует пересмотра всего проекта САОЗ ВД (в том числе связанных с изменением гидравлических характеристик системы, с условиями регулирования и т.д.). Представленные, например в [1], технические обоснования являются недостаточными для необходимости и возможности установки регулятора на ВВЭР-1000/В-320.

3. Регулирование расхода САОЗ ВД требует субъективного вмешательства операторов (в том числе идентификация исходных событий (ИС), выбор режимов регулирования, выбор статуса расхолаживания 1-го контура и т.д.), что снижает при прочих равных условиях надежность управления из-за возможных ошибок персонала и др.

ЗАЭС совместно с научными организациями был проведен расчетный анализ кодом RELAP5 целесообразности установки ЗРК САОЗ ВД на серийных энергоблоках с ВВЭР-1000 (В-320). Расчеты проводились для аварий с течами 1-го контура и межконтурными течами, в которых критичной является работоспособность САОЗ ВД, в проектном режиме и при установке ЗРК.

Анализ полученных результатов не позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности установки ЗРК САОЗ ВД на ВВЭР-1000 (В-320), что определяет актуальность этой работы.

Анализ целесообразности установки регуляторов

В режиме ΔT_s регулятор САОЗ ВД поддерживает запас температуры до вскипания теплоносителя. Уставка по запасу температуры может принимать фиксированное значение, равное 10, 15 или 20 °С [2]. В данном режиме регулятор поддерживает равное нулю рассогласование

$$EPS = P_s - P_{1k} - \alpha H, \quad (1)$$

где EPS – рассогласование регулятора; $P_s = f(T_{1k} + dT)$ – давление насыщения как функция преобразования температуры насыщения; T_{1k} – температура теплоносителя 1-го контура; dT – уставка по запасу температуры; P_{1k} – давление теплоносителя 1-го контура; H – положение ЗРК, %; α – коэффициент.

В режиме РПД регулятор САОЗ ВД поддерживает равное нулю рассогласование

$$EPS = P_{зад} - P_{1k} - \alpha H, \quad (2)$$

где EPS – рассогласование регулятора; $P_{зад}$ – заданное значение давления; P_{1k} – давление теплоносителя 1-го контура; H – положение ЗРК, %; α – коэффициент.

Алгоритм введения режима регулирования предполагается следующим (ЗРК в начальном положении «открыто» или полностью открывается перед началом работы).

1. Открытие по уставкам срабатывания отсечной проектной арматуры на напоре САОЗ ВД в 1-й контур.

2. Идентификация ИС и снятие запрета на закрытие отсечной проектной арматуры.

3. Закрытие оператором отсечной проектной арматуры на напоре САОЗ ВД и направление всего расхода канала САОЗ ВД через открытый ЗРК.

4. Перевод оператором регулятора из РСТ в режим ΔT_s или РПД и начало работы насосов ВД через регулятор на байпасе.

Таким образом, по отношению к проектному режиму (без регуляторов) в режиме регулирования могут возникнуть следующие дополнительные отказы/ошибочные действия оператора:

1) ошибочные действия по выводу регулятора из РСТ при отказе автоматики на снятие запрета по закрытию отсечной проектной арматуры (некритичный отказ для выполнения ФБ);

2) ошибочные действия по открытию байпасируемой арматуры после вывода регулятора из РСТ (некритичный отказ для выполнения ФБ);

3) ошибочные действия по включению РПД с потерей контроля запаса температуры до кипения теплоносителя в активной зоне (критичный для безопасности отказ);

4) ошибочные действия или отказы автоматики по закрытию байпасируемой арматуры при работе регулятора в РСТ (критичный для безопасности отказ);

5) ошибочные действия по выбору режимов регулирования и/или связанные с потерей контроля регулирования процесса (критичные для безопасности отказы).

Вероятности возникновения критичных для выполнения САОЗ ВД ФБ отказов могут быть значимыми, так как связаны с действиями персонала («человеческий фактор»). Поэтому при неэффективной работе ЗРК общие показатели безопасности (частота повреждений активной зоны) могут быть (при прочих равных условиях) хуже, чем в проектном режиме. Однако, этот вопрос требует дополнительных обоснований и здесь не рассматривается.

Некритичные для безопасности отказы не влияют (при прочих равных условиях) на общие показатели безопасности, но работа регуляторов при таких отказах является неэффективной.

При реализации проектного алгоритма регулирования ЗРК САОЗ ВД на напорной магистрали целесообразно рассмотреть отдельно режимы ΔT_s и РПД.

Исходя из гидравлических характеристик трубопроводов САОЗ ВД, на которых установлены дроссельные и сужающие устройства, эффективное регулирование путем изменения положения штока ЗРК будет осуществляться при создании коэффициента гидравлического сопротивления ЗРК, сравнимого или большего, чем коэффициент гидравлического сопротивления напорного трубопровода. Для этого необходимы небольшие степени открытия ЗРК. Очевидно, что при уменьшении проходного сечения клапана даже в два раза при изначальном коэффициенте гидравлического сопротивления около 35 для клапана с условным диаметром 125 мм [3] это увеличит коэффициент гидравлического сопротивления ЗРК до $22 \times 35 = 140$, что меньше, чем суммарный коэффициент гидравлического сопротивления дроссельного и сужающего устройства $245 + 49 = 294$ [4]. Таким образом, в области открытия клапана ориентировочно от 40 до 100 % регулирование не будет эффективным. Это означает, что использование одного закона алгоритма регулирования для всего интервала изменения положения клапана 0 – 100 % также является нецелесообразным. Для исправления данного эффекта необходимо «сдвинуть» начальное положение штока ЗРК в область эффективного регулирования.

Для этого в алгоритме регулятора необходимо предусмотреть блокировку принудительного закрытия при повышении запаса до насыщения сверх определенной уставки. Данный алгоритм реализован на 1-м энергоблоке РАЭС [5]. При повышении запаса выше ΔT_s (high) блокировка отключает регулятор и выдает команду на закрытие ЗРК с уменьшенной скоростью (например, 5 с «ход» и 5 с «стоп» до момента снятия сигнала). Повторное включение регулирования производится при снижении ΔT_s менее значения уставки минус зона нечувствительности. На момент включения запоминается текущее положение ЗРК в качестве «0» отсчета, от которого будет отсчитываться обратная связь по положению клапана. Данный алгоритм позволяет перевести регулятор из полностью открытого положения в положение, когда его регулирование будет эффективно, т.е. ближе к небольшим степеням открытия.

Последовательность развития событий при регулировании в режиме поддержания ΔT_s приведена схематично на рис. 1.

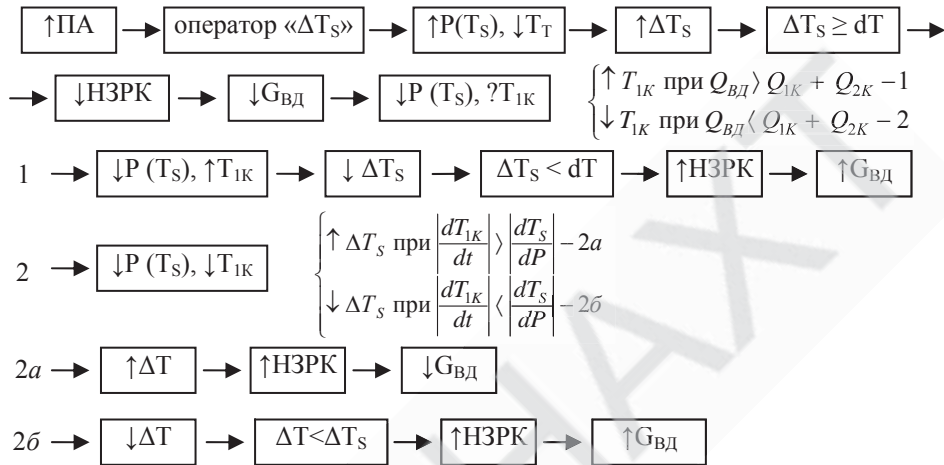


Рис. 1 – Процессы регулювання ЗРК САОЗ ВД

В случае срабатывания уставок на включение подачи воды от САОЗ ВД в 1-й контур (в том числе и при авариях с течью теплоносителя) оператор должен включить «режим ΔT_s » и регулятор осуществляет контроль за выполнением рассогласования (1). В начальные моменты происходит увеличение давления ($\uparrow P$) и снижение температуры теплоносителя ($\downarrow T_{1K}$), что приводит к увеличению запаса до кипения ($\uparrow \Delta T_s$). При достижении уставки dT (1) регулятор начнет закрываться ($\downarrow H$ ЗРК), что должно привести к уменьшению общего расхода от насосов САОЗ ВД в 1-й контур ($\downarrow G_{ВД}$) а соответственно и к снижению давления ($\downarrow P$) при прочих равных условиях. В зависимости от условий охлаждения в 1-м и 2-м контурах Q_1, Q_2 , а также влияния на температуру теплоносителя непосредственно расхода от САОЗ ВД $Q_{ВД}$ возможны два разных состояния:

температура теплоносителя увеличивается ($\uparrow T_{1K}$) – при определяющем влиянии сокращения подачи охлаждающей воды от САОЗ ВД;

температура теплоносителя уменьшается ($\downarrow T_{1K}$) – при определяющем влиянии условий охлаждения по 1-му и 2-му контурам другими системами.

В случае первого состояния дальнейшее регулирование по рассогласованию (1) приведет к росту расхода от САОЗ ВД ($\uparrow G_{ВД}$). Таким образом, в этих условиях действия регулятора приводят к автоколебательному процессу в системе, а работа регулятора неэффективна и снижает общую надежность САОЗ ВД по выполнению проектных функций (отсутствует возможность устойчивого снижения давления в 1-м контуре до уставок включения насосов САОЗ НД, частые противоположные перемещения рабочего органа ЗРК, циклические термодинамические нагрузки на корпус и конструкции реактора и т.п.).

Во втором случае ($\downarrow P, \downarrow T_{1K}$) в дальнейшем процессе также возможны два разных состояния:

увеличение ΔT_s при условии большей скорости снижения температуры теплоносителя, чем скорости

снижения давления, $\left| \frac{dT_{1K}}{dt} \right| > \left| \frac{dT_s(P)}{dt} \right|$;

уменьшение ΔT_s – в противном случае.

В дальнейшем эти два разных состояния (см. рис. 1) приведут или к автоколебательному процессу (при $\downarrow \Delta T_s$), или к устойчивому регулированию (при $\uparrow \Delta T_s$).

Таким образом, эффективное регулирование ЗРК САОЗ ВД при последовательной схеме подключения возможно только при дополнительных настройках в режиме поддержания ΔT_s :

$$\frac{dT_S}{dt} \left[\frac{dP}{dt} \left(\frac{dH}{dt} \right), P \right] < \frac{dT_{1K}}{dt} (Q_{1K}, Q_{2K}) \quad (3)$$

$$\left| \frac{dT_{1K}}{dt} \left(\frac{dH}{dt} \right) \right| < \left| \frac{dT_{1K}}{dt} \right| (Q_{1K}, Q_{2K}) \quad (4)$$

Условия (3) и (4) означают, что для эффективного регулирования необходимо не только текущее положение рабочего органа ЗРК (условие (1)), но и скорость его перемещения, а также условия охлаждения в 1-м и 2-м контурах (в том числе конфигурации систем, их осуществляющих).

В РПД работа регулятора также может приводить к автоколебательному процессу: начальный рост давления $\uparrow P$ приводит к уменьшению рассогласования ΔP (условие (2)) и закрытию регулятора ($\downarrow H$ ЗРК) с последующим снижением расхода САОЗ ВД ($\downarrow G_{ВД}$) и снижению давления в 1-м контуре. Снижение давления в 1-м контуре при прочих равных условиях может привести к последующему увеличению расхода от САОЗ ВД ($\uparrow G_{ВД}$), связанному с уменьшением противодействия. Эффективность регулирования в этом случае будет связана с обеспечением дополнительных условий преобладания фактора изменения давления 1-го контура за счет изменения гидравлического сопротивления регулятора перед фактором изменения противодействия для работы насосов САОЗ ВД.

Более того, РПД вообще нецелесообразен, так как в этом случае регулирование осуществляется только по давлению в 1-м контуре (без контроля запаса температуры до кипения теплоносителя в активной зоне (АЗ), являющегося одним из критериев безопасности).

Подтверждением возможности возникновения колебаний основных регулируемых параметров в процессе аварий с течами 1-го контура являются известные расчетные обоснования эффективности работы ЗРК САОЗ ВД, полученные ЗАЭС с партнерами для серийных энергоблоков с ВВЭР-1000/В-320. Так, для характерного исходного события аварии (ИСА) с малой течью 1-го контура, компенсируемой работой САОЗ ВД (непреднамеренное открытие ПК КД с расхолаживанием через БРУ-К со скоростью 30 °С/ч при отключении ГЦН с учетом работы ЗРК САОЗ ВД по сигналу запаса температуры теплоносителя до насыщения в «горячих» петлях – сценарий № 11), установлены существенные колебания основных регулируемых параметров (давления в 1-м контуре P , минимального запаса температуры до кипения теплоносителя на выходе из АЗ ΔT_S , расхода теплоносителя через АЗ и в течь в диапазоне времени работы регуляторов от 900-й секунды процесса (открытие оператором ЗРК САОЗ ВД в режиме поддержания запаса до кипения $\Delta T_S = 20$ °С в «горячих» петлях) до 3000-й секунды (последовательное отключение по критерию запаса более 15 °С оператором двух каналов САОЗ ВД с ЗРК).

Последовательность событий в процессе развития указанного ИСА (сценарий № 11), а также соответствующее поведение основных регулируемых ЗРК САОЗ ВД параметров приведены на рис. – 5.

На рис. 6 показано соответствующее поведение положения штоков ЗРК САОЗ ВД в процессе аварии.

Выводы

1. На начальных этапах аварии работа регулятора не только является неэффективной, но и вредной, так как приводит к дополнительным циклическим динамическим и термическим нагрузкам. Так, например, в процессе колебаний положения штока регулятора, определяющего динамику поведения параметров теплоносителя в реакторе, амплитуды колебаний температуры теплоносителя достигают десятков градусов при скоростях изменения температуры более 300 – 400 °С/ч. Такие условия способствуют возникновению термошока на корпус и ВКУ реактора.

Возникновение высокочастотных и высокоамплитудных колебаний давления теплоносителя в АЗ приводит к дополнительным высокоциклическим нагрузкам на оболочки ТВЭЛов, которые могут привести к недопустимым нарушениям их целостности [6].

2. В процессе одновременной работы всех трех регуляторов каналов САОЗ ВД может возникнуть асинхронность (или противофазность) движений штоков ЗРК (например, случайно или при ошибочных действиях оператора), следствием которой может быть возникновение межканальной теплогидродинамической неустойчивости, способствующей развитию недопустимых автоколебательных процессов в РУ (см., например, [6, 7]). В приведенных расчетных обоснованиях эти вопросы не анализировались, но возможность возникновения межканальной теплогидродинамической неустойчивости при работе трех ЗРК вполне очевидна.

3. Эффективность работы ЗРК САОЗ ВД осуществляется на более поздних стадиях аварии (когда процесс становится стабильным) в отношении «экономного» использования запасов баков САОЗ ВД до подключения САОЗ НД и сокращения расхода в течь. Однако, для серийных ВВЭР-1000 (В-320) эти факторы не являются критичными, так как в этих проектах предусмотрено автоматическое переключение

насосов САОЗ ВД на прямом гермооб'єма, а влияние суммарного выброса теплоносителя за весь период аварии в теч на безопасность практически одинаково для проектного режима и при установке ЗРК.

4. В отношении условий возникновения термоудара (термошока) на корпус реактора установка ЗРК САОЗ ВД ВВЭР-1000/В320 также неэффективна, так как наиболее вероятными условиями термоудара являются начальные моменты подачи охлаждающего раствора от САОЗ ВД (максимальные градиенты температур и скорости расхолаживания при относительно высоких давлениях). Подключение же ЗРК осуществляется оператором после открытия проектной арматуры на напоре САОЗ ВД (в данном случае через 600 с). Также, как следует из результатов расчетного моделирования, на начальных этапах открытия ЗРК возникают существенные колебания теплогидродинамических параметров (см. рис. 2 – 5), способствующие возникновению дополнительных циклических динамических и термических нагрузок на корпус реактора и ВКУ, а также условиям возникновения термошока (скорость изменения температуры теплоносителя составляет сотни градусов в час).

На более поздних стадиях развития аварийного процесса установка ЗРК САОЗ ВД также не исключает возможности возникновения термошока, так как в потенциальной области возможного возникновения термошока (температура теплоносителя ниже 140 °С при давлениях 40 – 20 кгс/см²) происходит относительно резкое снижение температуры теплоносителя при подключении насосов САОЗ НД со скоростью более 400 °С/ч.

5. При проектных условиях протекания аварии установка ЗРК также не является эффективной в отношении сокращения срабатываний систем 1-го и 2-го контуров для расхолаживания и регулирования давления. Кроме того, установка ЗРК предполагает различные действия оператора (идентификация события, выбор режимов регулирования и т.п.), а вероятность ошибочных действий персонала в относительно короткий промежуток времени (в данном случае несколько минут) может быть существенно выше вероятности отказов систем в автоматических режимах, что в конечном итоге отразится на показателях надежности и безопасности.

На основе представленных выше обоснований разработано и внедрено концептуальное техническое решение ГП НАЭК «Энергоатом» о нецелесообразности установки дополнительных регуляторов насосного оборудования САОЗ высокого давления на серийных энергоблоках с ВВЭР-1000.

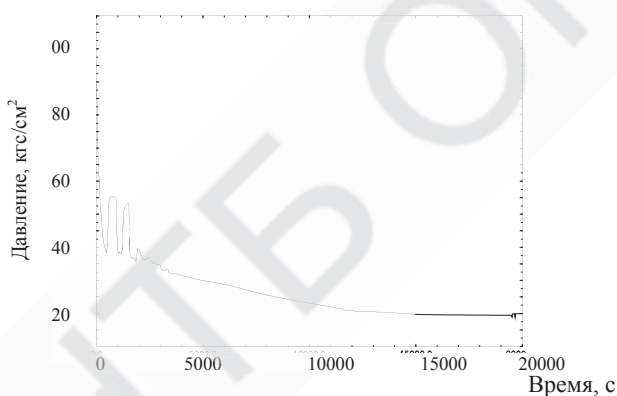


Рис. 2 – Давление на выходе из реактора

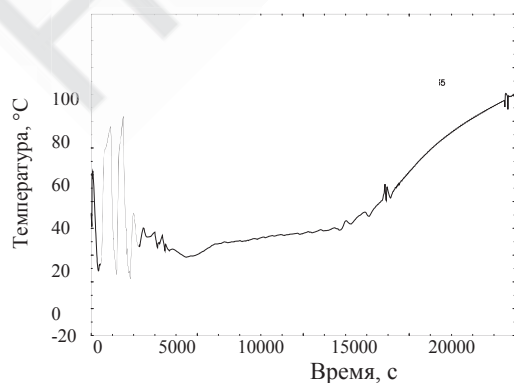


Рис. 3 – Минимальный запас до насыщения на выходе из АЗ

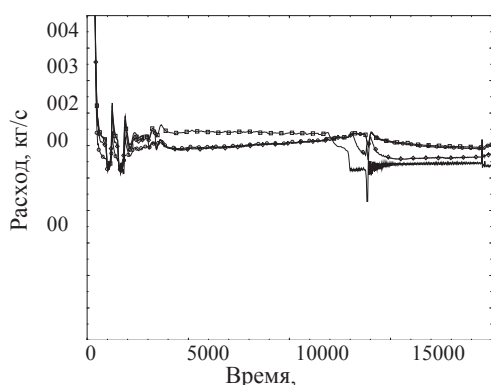


Рис. 4 – Расход теплоносителя в петлях ГЦТ на входе в реактор

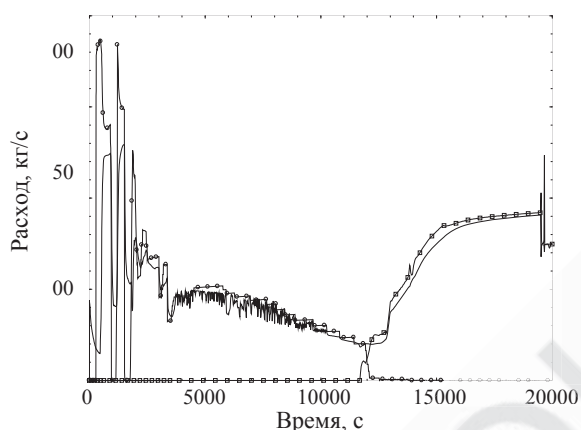


Рис. 5 – Расход теплоносителя в течь и расход подачи от САОЗ ВД и НД

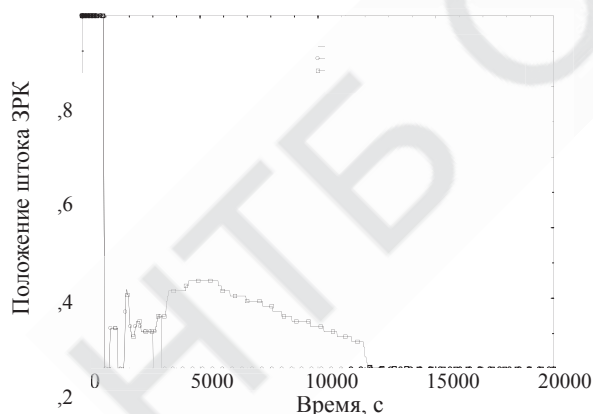


Рис. 6 – Положение штока ЗРК на напоре насосов САОЗ ВД

Литература

1. ТР.0.38.01.1656. О регулировании расхода впрыска в 1-й контур от насосов САОЗ ВД при компенсируемых течах теплоносителя 1-го контура на РУ В-302 и В-338 энергоблоков № 1 и № 2 ЮУАЭС: Концептуальное техрешение. – 2008.
2. УСБ1.21001.ПБ.01.2-1.М. Программно-технический комплекс системы аварийных регуляторов первой управляющей системы безопасности энергоблока № 1 ЮУАЭС на базе ПТК «Вулкан-М-АР-1/1». – Львов: ОРГРЭС. – 2009.
3. ТУ У 29.1-24930577-002-2004. Арматура энергетическая. Клапаны регулирующие типа «Диск» DN 50-700.
4. 38-223.203.007.БД.01-09. Ровенская АЭС. Энергоблок № 4. Окончательный отчет по анализу безопасности. Глава 15. Анализ проектных аварий. База данных по ЯППУ.
5. 804.17833618.070481.С1.21.1-1М. Система автоматического регулирования реакторного отделения РАЭС. Альбом алгоритмов САР УСБ2 бл. № 1 РАЭС. – ТЕХЭНЕРГО, 2008.

6. Герлига В.А., Хабенский В.Б. Нестабильность потока теплоносителя в энергооборудовании АЭС. – М.: Атомэнергоиздат, 1994. – 288 с.
7. Коврижкин Ю.Л., Скалозубов В.И. Термоакустическая неустойчивость теплоносителя в активной зоне ВВЭР. – Одесса: ТЭС, 2003. – 172 с.

УДК 621.575

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

Озолин Н.Е.¹, аспирант, Титлов А.С.¹, д-р техн. наук, профессор, Краснопольский А.Н.², главный менеджер научных проектов

1- Одесская национальная академия пищевых технологий, г. Одесса

2 - Ариельский университет, Израиль

Показаны перспективы применения теплоиспользующих абсорбционных водоаммиачных холодильных агрегатов (АВХА) в системах кондиционирования на базе солнечных коллекторов. Предложена новая оригинальная конструкция АВХА периодического действия. Разработана методика расчета таких периодических циклов и определены энергетически эффективные режимы работы в зависимости от температуры охлаждающей среды, температуры объекта охлаждения, температуры греющего источника.

Ключевые слова: водоаммиачный абсорбционный холодильный агрегат периодического действия, солнечные коллектора

The prospects of using heat absorption water-ammonia refrigeration units (AWRU) in air conditioning systems based on solar collectors. A new original design of periodic operation AWRU. A method for calculating such periodic cycles and energy-efficient modes of operation depending on the temperature of the cooling medium, the temperature of the cooling facility, the temperature of the heating source.

Keywords: water-ammonia absorption refrigeration unit, solar collectors

Циклы АВХМ реализованные в насосной и безнасосной схеме. Насосные схемы имеют более высокую энергетическую эффективность, но имеют в своем составе циркуляционный насос и не автономны. Безнасосные схемы автономны, но недостаточно эффективны.

Рабочее тело насосных АВХМ – ВАР, безнасосных – ВАР с добавкой инертного газа (водорода).

Одной из особенностей АВХМ является взаимозависимость температур в характерных процессах цикла – температуры греющей среды t_h , температуры охлаждающей среды t_w , температуры объекта охлаждения t_{ob} . Из трех температур произвольно могут быть заданы только две [1-4].

Как показывает практика, работа холодильной установки должна обеспечивать заданный уровень охлаждения (t_{ob} , °C), а сама установка работать в соответствующих климатических условиях, то есть при заданной температуре охлаждающей среды. Поэтому, реальным параметром, который может изменяться является только температура греющего источника.

Современные методики расчета [5-7] не учитывают такую взаимозависимость температур в абсорбционном холодильном цикле, так как допускают наличие источника тепловой энергии с необходимым температурным потенциалом.

В то же время, анализ параметров источников бросовой и альтернативной тепловой энергии показывает, что значительная их часть не может быть использована для реализации традиционных циклов АВХМ из-за недостаточно высокого температурного потенциала. К этим источникам относятся отходные газы ДВЗ, геотермальные источники и солнечные коллекторы.

Для работы с низкопотенциальными источниками тепловой энергии разработан алгоритм расчета циклов АВХМ насосного типа.

Проведение вариантных и оптимизационных расчетов циклов АВХМ невозможно без использования данных о свойствах водоаммиачного раствора (ВАР). На сегодня не существует единого уравнения состояния ВАР, которое удовлетворительно описывает его свойства в широком диапазоне температур и давлений, что связано с физико-химической аномальностью системы вода-аммиак. Поэтому использование табличных данных до сих пор не утратило актуальности.

ЕКОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОВОГО ВОДОТРУБНОГО КОТЛА ДКВР – 10/14 <i>Редько А.О., Давіденко А.В.</i>	199
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБ С КОМПОЗИЦИОННЫМИ КАПИЛЛЯРНЫМИ СТРУКТУРАМИ <i>Шаповал А.А., Стрельцова Ю.В.</i>	201
РЕКОМЕНДАЦІЇ З ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗМОРОЖУВАННЯ М'ЯСА В ТУШАХ, ПІВТУШАХ ТА ЧЕТВЕРТИНАХ <i>Желіба Ю.О., Желіба Т.О.</i>	204
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ <i>Кифоренко В. С., Кіріяк Г.В.</i>	205
КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ВИРОБНИЦТВА <i>Коваль В.Г.</i>	207
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ КАМЕРАХ <i>Лисица А. Ю., Петухов И. И., Михайленко Т. П., Немченко Д. А.</i>	208
РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЛЬДОАКАМУЛЯТОРІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТА ПЛАВЛЕННЯ ЛЬОДУ <i>Пилипенко О.Ю., Засядько Я.І., Форсюк А.В., Грищенко Р.В.</i>	210
ВИМОГИ ДО ПРОЕКТУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АПАРАТА ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ МОЛОКА <i>Постнов Г.М., Червоний В.М., Шипко Г.М.</i>	211
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯМ БУДІВЛІ <i>Басок Б.І., Давіденко Б.В., Лисенко О.М.</i>	213
ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА <i>Жихарева Н. В.</i>	216
АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ УСТАНОВКИ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ НАСОСОВ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК <i>Скалозубов В.И., Чжоу Хушуй.</i>	219
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛОВ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ <i>Озолин Н.Е., Титлов А.С., Краснопольский А.Н.</i>	225
НОВЫЕ СХЕМЫ АБСОРБЦИОННЫХ ВОДОАММИАЧНЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ РАБОТЫ В СИСТЕМАХ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА <i>Осадчук Е.А., Васылив О.Б., Кирилов В.Х., Мазуренко С.Ю.</i>	238
МОБИЛЬНАЯ СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ЗЕРНА МЕЛКОСЕМЕННЫХ КУЛЬТУР <i>Петушенко С.Н., Олейник Е.В.</i>	241
РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ АБСОРБЦИОННЫМИ ХОЛОДИЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ (АХП) <i>Титлова О.А., Ольшевская О.В.</i>	243
ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ХОЛОДА НА МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПРИРОДНОГО ГАЗА <i>Титлов А.С., Дьяченко Т.В., Артюх В.Н., Альсаид Хекмат</i>	247
ЗАСТОСУВАННЯ ПОБУТОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ, НАПІВФАБРИКАТІВ І СИРОВИНИ <i>Титлов О.С., Приймак В.Г.</i>	247
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АБСОРБЦИОННЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН <i>Мазуренко С.Ю., Озолин Н.Е., Савинков П.В.</i>	249
АНАЛІЗ МЕТОДІВ НАДКРИТИЧНОЇ ФЛЮЇДНОЇ ЕКСТРАКЦІЇ <i>Лук'янова О.С., Бошкова І.Л.</i>	250
ПРИМЕНЕНИЕ ВПРЫСКА ПЕРЕГРЕТОЙ ЖИДКОСТИ В ТЕРМОПРЕССОРНОЙ СИСТЕМЕ ОХЛАЖДЕНИЯ НАДДУВНОГО ВОЗДУХА ДВС <i>Коновалов Д.В., Кобалава Г.А.</i>	253
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГАЗОДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПРЕССИИ В СИСТЕМЕ ТУРБОНАДДУВА СРЕДНЕОБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ <i>Коновалов Д.В., Джуринская А.А.</i>	255
ТЕНДЕНЦІЇ ЕКСПОРТУ, ІМПОРТУ СПГ У СВІТІ <i>Дьяченко Т.В., Артюх В.М.</i>	257
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ СНИЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦИЛИНДРА И ПЛОСКОСТИ <i>Титлов А.С., Двирный В.В.</i>	260

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ
ТА ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ім В.С. МАРТИНОВСЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНОЇ ЕКОЛОГІЇ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА НАФТОГАЗОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МАТЕРІАЛИ

**XVI Всеукраїнської
науково-технічної конференції**

АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЕКОЛОГІЇ

5-7 жовтня 2016 року, м. Одеса

Підписано до друку 28.09.2016 р.
Формат 60x84/8. Папір Офс.
Ум. арк. 34,64 . Наклад 300 примірників.

Видання та друк: ФОП Грінь Д.С.,
73033, м. Херсон, а/с 15
e-mail: dimg@meta.ua
Свід. ДК № 4094 від 17.06.2011