

В.П. КУЗЬМЕНКО, аспирант НТУУ «КПИ», инженер ООО «ППА Славутич», Киев;

Н.И. СИРЕНКО, главный инженер ООО «ППА Славутич», Киев;

А.П. МОВЧАН, канд. техн. наук, доц. НТУУ «КПИ»;

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000 ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТИУ

Обсуждаются проблемы контроля и оценки запаса теплоносителя в первом контуре реакторной установки с ВВЭР-1000. Проводится краткий обзор существующих подходов к решению данной задачи и указываются их недостатки. Предлагается применение термоанемометрического метода измерения с использованием термоэлектрических индикаторов уровня типа ТИР-1509.

Ключевые слова: ВВЭР-1000, измерение уровня, термоанемометр, термоэлектрический индикатор уровня.

Введение. По результатам анализа аварий на ядерных установках (ЯУ) в мире идет постоянное ужесточение требований к системам контроля и диагностики в аварийных режимах. Украина как член МАГАТЭ является непосредственным участником этого процесса. В соответствии с [1] для успешного управления ядерной установкой во время аварий с потерей теплоносителя оператору необходимо иметь в своем распоряжении информацию, по которой можно оценить запас теплоносителя в первом контуре. На реакторных установках с ВВЭР-1000 (РУ), которые эксплуатируются в Украине, не предусмотрены проектные средства контроля уровня теплоносителя в реакторе и системе первого контура.

Высокий уровень ионизирующего излучения в реакторе оказывает разрушительное воздействие на средства измерения. К тому же, накладываются конструктивно-эксплуатационные ограничения на средства измерения, связанные с особенностями конструкции ЯУ.

Известны следующие методы измерения и оценки запаса теплоносителя в первом контуре ЯУ: гидростатический, гидродинамический, томографический, радиационный. Помехи со стороны работающего технологического оборудования, под влияние которых попадают измерительные каналы и бороться с которыми сложно и не всегда удается, вносят дополнительную погрешность в работу этих методов. К недостаткам методов следует так же отнести сложность их наладки и внедрения на АЭС Украины из-за конструктивных особенностей ЯУ.

Термоанемометрический метод. Одними из самых адаптируемых к условиям всех режимов работы энергоблока, вплоть до «тяжелых» аварий, являются температурные измерения. Для индикации уровня теплоносителя на определенных отметках реактора предлагается использовать

© В.П. Кузьменко, Н.И. Сиренко, А.П. Мовчан, 2012

термоэлектрические индикаторы уровня (ТИУ) типа ТІР-1509 (ТУ У ТУ 33.2-04850451-090:200) производства НПО «Термоприлад», г. Львов. ТИУ был специально разработан для использования в системе контроля уровня теплоносителя (СКУТ) на Украинских АЭС. В основу работы заложен термоанемометрический метод: изменение коэффициента теплоотдачи с поверхности прибора в зависимости от среды (вода, пароводяная смесь, воздух и т.д.), в которой находится индикатор (см. рис.1).

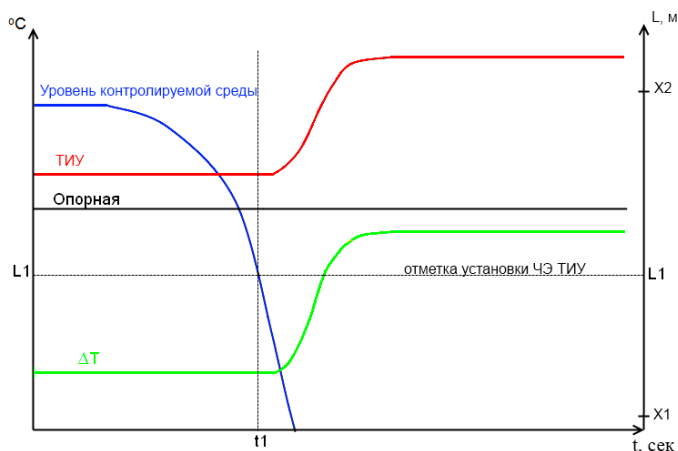


Рисунок 1 – Принцип действия ТИУ: опорная - температура контролируемой среды; ТИУ – температура ТИУ; ΔT - разница между температурой ТИУ и опорной; L1 - отметка размещения чувствительного элемента ТИУ (ЧЭ ТИУ); t1- время падения уровня контролируемой среды ниже L1; X1-X2 - зона установки, контролируемая ТИУ

Устройство индикатора изображено на рис. 2. ТИУ состоит из двоенной термопары типа ТХА-1590 (Т1 и Т2) и нагревательной нити.

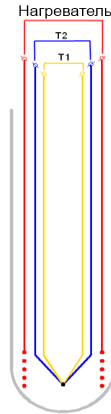


Рисунок 2 – Устройство ТИУ: T_1 , T_2 - термодары

Для разработки метода оценки запаса теплоносителя в первом контуре ЯУ с применением ТИУ проведены следующие исследования:

1. получена статическая характеристика нагревателя и изучены возможные режимы нагрева ТИУ;
2. получены и проанализированы динамические характеристики ТИУ;
3. разработан алгоритм определения уровня теплоносителя.

Для испытаний ТИУ был разработан и сертифицирован полнофакторный термодинамический испытательный стенд температурных каналов реактора ВВЭР-1000, 440 (ПТИС). Стенд позволяет создавать основные рабочие параметры теплоносителя первого контура и производить контролируемый набор и сброс воды.

Предложено две структуры построения системы контроля ТИУ. Они приведены на рис. 3.

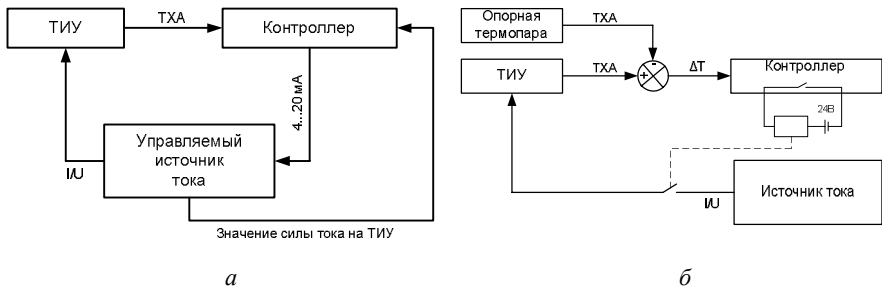


Рисунок 3 – Структуры построения системы контроля ТИУ

Принцип работы структуры, изображенной на рис. 3,а, заключается в поддержании с помощью управляемого источника тока температуры ТИУ в «мокро» состоянии на, скажем, 30°С выше чем температура теплоносителя.

Если уровень теплоносителя начнет падать и ТИУ оголится, то номинальное значение тока, которое необходимо для его подогрева уменьшится. Анализируя изменение тока можно производить индикацию ТИУ «сухой»-«мокрый».

Принцип работы структуры, изображенной на рис. 3,б, заключается в измерении разницы температур теплоносителя и подогреваемого датчика ТИУ. Источник тока нагреет ТИУ в «мокрое» состояние, к примеру, на 30°C выше температуры теплоносителя (опорная температура). Если датчик перейдет в состояние «сухой», то температура ТИУ увеличится. Анализируя динамику изменения разницы температур можно производить индикацию ТИУ «сухой»-«мокрый».

В данной работе предлагается использование структуры, которая изображена на рис. 3б.

Важным является исследование и выбор режима подогрева ТИУ, поскольку граничное значение температуры нагревателя, при которой сохраняется его работоспособность, - 400°C. Питание осуществляется от трансформатора, который имеет несколько обмоток с разным коэффициентом трансформации и обеспечивает выходное напряжение от 5 до 60В с шагом в 5В. Опытным путем были получены статические характеристики ТИУ в граничных условиях работы: «сухой» при температуре среды 30°C, «мокрый» при температуре среды 30°C, «сухой» при температуре среды 320°C, «мокрый» при температуре среды 320°C.

Для определения наиболее подходящего режима нагрева ТИУ необходимо учитывать следующие ограничения:

1. Максимальная температура ТИУ - 400°C.
2. Инерционность определения состояния ТИУ «сухой»-«мокрый» должна составлять не более 50с [1], [2].
3. Нужно обеспечить оптимальную разность температур между ТИУ и опорной температурой, для достоверного определения работоспособности ТИУ и состояния «сухой»-«мокрый».

Анализируя полученные статические характеристики был сделан вывод о том, что наиболее подходящее напряжение для запитки ТИУ – 30В.

Разгонные характеристики ТИУ при температуре среды 320°C и питающем напряжении 30В в состояниях ТИУ «мокрый» и «сухой» приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

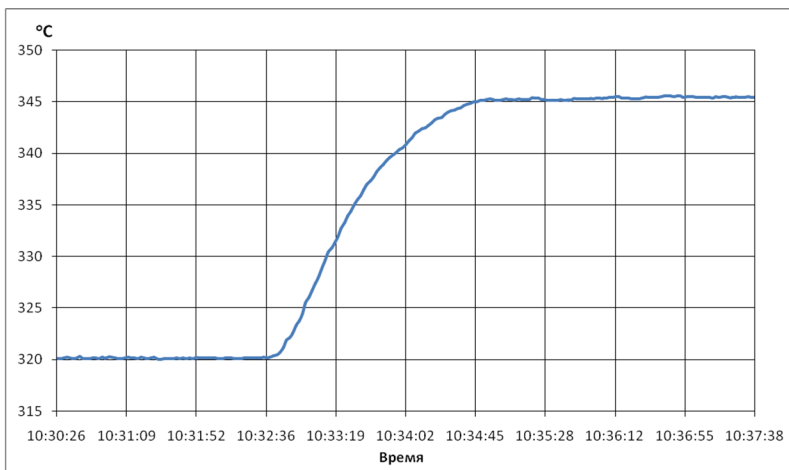


Рисунок 4 – Разгонная характеристика ТИУ в состоянии «мокрый»

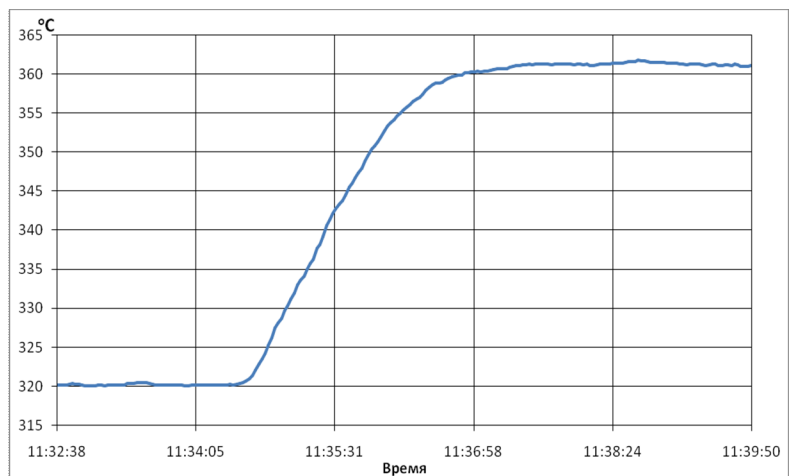


Рисунок 5 - Разгонная характеристика ТИУ в состоянии «сухой»

На рис. 6 изображены полученные разгонные характеристики при проведении эксперимента по переводу ТИУ с состояния «мокрый» в состояние «сухой» при температуре среды 320°C и давлении 16МПа.

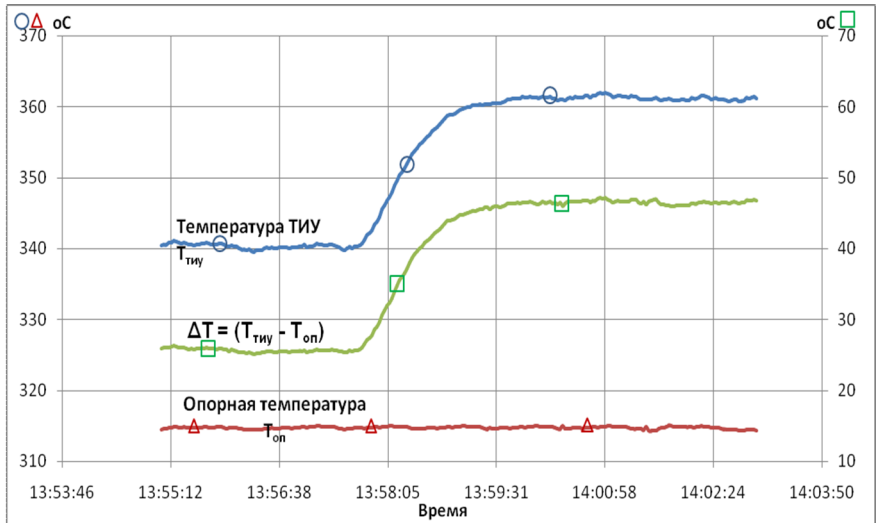


Рисунок 6 - Иммитация аварии с потерей теплоносителя

Алгоритм определения работоспособности ТИУ заключается в непрерывном анализе разницы температур $\Delta T = T_{ТИУ} - T_{оп}$. Если ΔT на протяжении 3 секунд находится близкой либо равной нулю, то это является признаком неработоспособности ТИУ и приводит к формированию соответствующей тревоги.

Алгоритм определения состояния ТИУ «сухой»/«мокрый» заключается в непрерывной проверке условия $\Delta T \leq T_{уст}$. $T_{уст}$ - это динамическая уставка срабатывания ТИУ. $T_{уст}$ зависит от режима работы энергоблока и является функцией от температуры среды, в которой находится ЧЭ ТИУ: $T_{уст} = f(T_{оп}) + \delta$. Составляющая δ является константой и определяется в результате опытов на термодинамическом стенде имитации температурных каналов реактора ВВЭР-1000. Самым показательным является пуск энергоблока с режима «холодного останова».

Во время вывода энергоблока №1 Южно-Украинской АЭС на мощность, т.е. по время пуска, были сняты тренды изменения $T_{оп}$ и ΔT . По полученным данным была найдена зависимость $T_{уст} = f(T_{оп})$, график которой изображен на рис. 7.

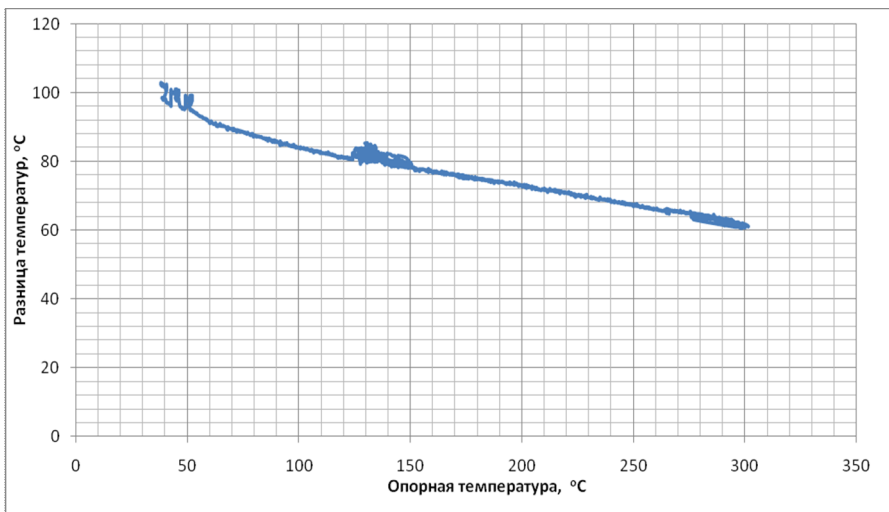


Рисунок 7 – Зависимость $T_{уст} = f(T_{он})$

Полученная зависимость была аппроксимирована методом линейной аппроксимации. В результате была получена формула расчета динамической уставки для определения состояния ТИУ «сухой»-«мокрый»:
 $T_{уст} = -0.135 \cdot T_{он} + 100.9 + \delta$.

С учетом ограничений по времени на индикацию падения уровня (50с) константа δ была выбрана равной 12°C.

Для того чтобы избежать влияния случайных помех со стороны работающего оборудования ЯУ и класса точности ТИУ в алгоритм срабатывания ТИУ был введен дополнительный таймер. Как только разница температур ΔT превышает уставку, включается таймер. Решение о срабатывании ТИУ принимается в том случае, если по истечению 4 секунд ΔT будет оставаться за пределами уставки.

Результаты разработок. В результате проведенных исследований был разработан метод индикации наличия среды на уровне ЧЭ ТИУ. Данный метод был использован как один из методов определения запаса теплоносителя в системе контроля уровня теплоносителя в первом контуре ядерной установки с реактором ВВЭР-1000. СКУТ анализирует состояние десяти ТИУ, которые расположены таким образом, что позволяют контролировать наличие теплоносителя на трех отметках в корпусе реактора (над активной зоной) и в холодных и горячих нитках всех главных циркуляционных контуров ЯУ.

Выводы. Температурные индикаторы уровня – один из наиболее надежных инструментов, позволяющий оценивать запас теплоносителя в реакторной установке (РУ) во время протекания аварий сопровождаемых

малыми и средними течами. Но на стабильность, скорость и достоверность определения перехода ТИУ из состояния «мокрый» в состояние «сухой» и обратно оказывают некоторое влияние дисбалансы в работе РУ в результате останова одного или нескольких циркуляционных насосов, насыщения пароводяной смеси, изменения направления циркуляции теплоносителя и прочее. В результате возможно как ложное срабатывание индикатора так и аварийное не срабатывание. Ведутся исследования по усовершенствованию и оптимизации алгоритмов работы датчика, с целью повышения надежности его работы.

Список литературы: 1. Отчет по анализу безопасности. Вероятностный анализ безопасности. Блок 1 Южно-Украинской АЭС. Итоговый отчет. 23.1.27.ОБ.00. – К.: Министерство энергетики и угольной промышленности Украины ГП НАЭК «Энергоатом» ОП «Южно-Украинская АЭС». 2. АЭЧА СКУТ.01.ТЗ «Система контроля уровня теплоносителя в реакторе и системе первого контура. Техническое задание».

Надійшла до редколегії 22.10.2012

УДК 621.039:681.5

Контроль уровня теплоносителя в реакторе ВВЭР-1000 при тяжелых авариях с использованием ТИУ / В.П. Кузьменко, Н.И. Сиренко А.П., Мовчан // Вісник НТУ «ХП». Серія: Автоматика та приладобудування. – Х. : НТУ «ХП», 2013. – № (). – С. –. Бібліогр.: 2 назв.

Обговорюються проблеми контролю та оцінки запасу теплоносія в першому контурі реакторної установки з ВВЕР-1000. Проводиться короткий огляд існуючих підходів до рішення даної задачі і вказуються їх недоліки. Пропонується використання термоанемометричного методу виміру з використанням термоелектричних індикаторів рівня типу ТІР-1509.

Ключові слова: ВВЕР-1000, вимірювання рівня, термоанемометр, термоелектричний індикатор рівня.

Discusses the problems of monitoring and evaluation of the coolant in the first loop of reactor setting with WVER-1000. Provides a brief review of existing approaches to solving this problems and discusses their shortcomings. Suggests the use of thermo-anemometer measurement method using thermoelectric level indicators TIR-1509.

Keywords: WVER-1000, level measurement, thermo-anemometer, thermocouple indicator.