

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТИУ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ЗАПАСА ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В РУ ВВЭР-1000 ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ

**В. П. Кузьменко**

Инженер

Отдел АСУ\*

Контактный тел.: 097-940-25-84

E-mail: v.kuzmenko@ppas.com.ua

**Н. И. Сиренко**

Главный инженер\*

Контактный тел.: (044) 536-02-29

E-mail: sirenko@ppas.com.ua

**А. П. Мовчан**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра автоматизации теплоэнергетических процессов

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт»

ул. Политехническая, 6, г. Киев, Украина, 03056

Контактный тел.: 050-387-53-88

E-mail: anatologymovchan@kpi.ua

\*ООО «ППА Славутич»

пр. Бажана, 12, г. Киев, Украина, 02140

*Описано будову та принцип дії термоелектричних індикаторів рівня, які використовуються в системі контролю запасу теплоносія в першому контурі реакторної установки ВВЕР-1000. Висвітлено останні напрацювання, що пов'язані з розробкою та удосконаленням алгоритмічного та математичного забезпечення методу індикації рівня*

*Ключові слова: термоелектричний індикатор рівня, термоанемометр, контроль рівня, ВВЕР-1000*

*Описано устройство и принцип действия термоэлектрических индикаторов уровня, которые используются в системе контроля запаса теплоносителя в первом контуре реакторной установки ВВЭР-1000. Освещены последние наработки, связанные с усовершенствованием алгоритмического и математического обеспечения метода индикации уровня*

*Ключевые слова: термоэлектрический индикатор уровня, термоанемометр, контроль уровня, ВВЭР-1000*

## 1. Введение

Оценка запаса теплоносителя в первом контуре реакторной установки (РУ) с водо-водяным энергетическим реактором ВВЭР-1000 – одна из задач, которые до сих пор так и не были решены комплексно. Эксплуатирующиеся энергоблоки и проекты ближайшего будущего не оснащены достоверными и надежными средствами контроля уровня теплоносителя в корпусе реактора. На успешное решение проблемы влияют конструктивно-эксплуатационные ограничения и особенности РУ с ВВЭР-1000, высокий уровень ионизирующего излучения, которое деструктивно воздействует на средства измерения.

Одними из известных методов измерения и оценки запаса теплоносителя в первом контуре РУ являются следующие: гидростатический, гидродинамический, томографический, радиационный. У каждого из этих методов есть свои недостатки, основные из которых: ограниченная применимость в различных режимах работы энергоблока, сложность наладки и внедрения на АЭС, недостаточная стойкость измерительных каналов к «жестким» внешним влияющим факторам. Поэтому, следуя принципу разнообразия, системы контроля реализуются на базе сочетания двух и более методов из числа выше перечисленных.

## 2. Устройство и принцип работы термоэлектрического индикатора уровня

Одними из самых адаптируемых к условиям всех режимов работы энергоблока, вплоть до «тяжелых» аварий, являются температурные измерения с помощью термомпар. Для индикации уровня теплоносителя на определенных отметках реактора предлагается использовать термоэлектрические индикаторы уровня (ТИУ) типа ТИР-1509 (ТУ У ТУ 33.2-04850451-090:200) совместной разработки НПО «Термоприлад» г. Львов и ООО «ППА Славутич» г. Киев. 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 [1], [2] (рис.1). Таким образом, ТИУ имеет два состояния: «сухой» - индикатор находится в паровоздушном пространстве и «мокрый» - индикатор находится в воде.

Устройство индикатора изображено на рис. 2. ТИУ состоит из термомпары типа ТХА-1590 и нагревательной нити.

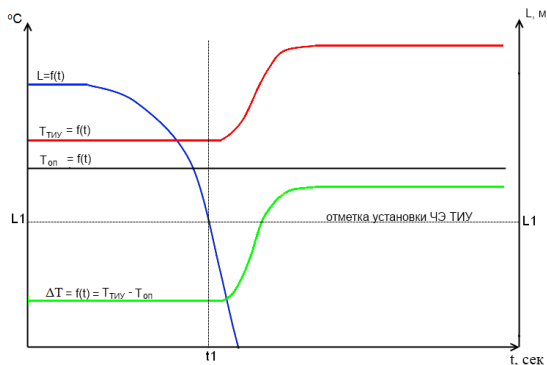


Рис. 1. Принцип действия ТИУ:  $T_{оп}$  - температура контролируемой среды;  $T_{ТИУ}$  - температура ТИУ;  $\Delta T$  - разница между температурой ТИУ и опорной;  $L1$  - отметка размещения чувствительного элемента ТИУ (ЧЭ ТИУ);  $t1$  - время падения уровня контролируемой среды ниже  $L1$

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. подобран оптимальный режим запитки нагревательного элемента;
4. разработаны алгоритмы, обеспечивающие работу индикатора.

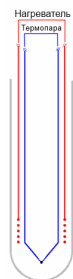


Рис. 2. Устройство термоэлектрического индикатора уровня

Для испытаний ТИУ был разработан полнофакторный термодинамический испытательный стенд температурных каналов реактора ВВЭР-1000, 440 (ПТИС). Стенд позволяет создавать основные рабочие параметры теплоносителя первого контура ( $T=320^{\circ}C$ ,  $P=16$  МПа) и производить контролируемый набор и сброс воды. Изготовить ТИУ с нормированными термодинамическими характеристиками проблематично. Поэтому каждый ТИУ проходит ряд испытаний на ПТИС. Снимаются статические и динамические характеристики ТИУ и производится подбор оптимального режима запитки нагревательного элемента индикатора. Оптимальность режима запитки ТИУ определяет качество и надежность работы метода индикации уровня.

Структура построения измерений приведена на рис. 3. В данной структуре индикатор уровня работает

в режиме постоянного тока. Для проведения измерений необходимы две термопары: одна опорная, вторая – ТИУ. Опорная термопара измеряет температуру среды, в которой находится термоэлектрический индикатор уровня. Принцип работы структуры заключается в непрерывном анализе разницы температур  $\Delta T$  теплоносителя и подогреваемого датчика ТИУ. Как видно из рис. 1 источник тока нагревает ТИУ, к примеру, в воде до температуры выше опорной на  $\Delta T$ . При понижении уровня воды чувствительный элемент окажется в паровоздушной среде и разница температур  $\Delta T$  увеличится, поскольку снизится теплоотвод с поверхности датчика. Анализируя динамику изменения разницы температур можно производить индикацию состояния ТИУ «сухой»-«мокрый».

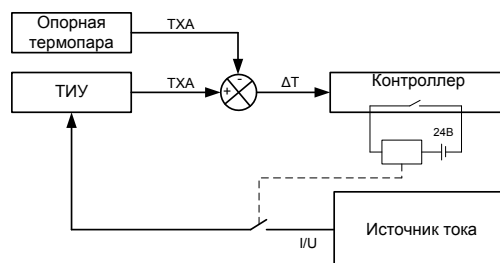


Рис. 3. Структура проведения измерений

### 3. Ограничения

При разработке алгоритмов работы индикатора учитывались следующие ограничения:

1. Максимальная температура нагрева ТИУ -  $400^{\circ}C$ .
2. Необходимо обеспечить минимальную инерционность определения состояния ТИУ «сухой»-«мокрый».
3. Необходимо обеспечить оптимальную разность температур между ТИУ и опорной температурой, для достоверного определения работоспособности ТИУ и состояния «сухой»-«мокрый».

### 4. Результаты разработок

Во время снятия статических характеристик индикатора изменялись следующие параметры: напряжение питания нагревательного элемента  $U$  в диапазоне от 20 В до 40 В и температура окружающей среды  $T_{оп}$  в диапазоне от  $30^{\circ}C$  до  $320^{\circ}C$ . Характеристики снимались при заданном  $U$  и  $T_{оп}$  в воде (состояние «мокрый») и паро-водяной смеси (состояние «сухой»). Было получено семейство кривых  $\Delta T_{сух} = f(T_{оп}, U)$  и  $\Delta T_{мокр} = f(T_{оп}, U)$ , с помощью которых подбирается питающее напряжение переменного. Подобранный ток запитки при любых возможных исходных событиях не должен разогревать ТИУ выше  $400^{\circ}C$ . Статические характеристики индикатора при питающем напряжении 30 В изображено на рис.4. Поскольку примененная схема измерительного канала работает по принципу постоянного тока, то далее будем говорить

о статических характеристиках вида:  $\Delta T_{\text{сух}} = f(T_{\text{он}})$  и  $\Delta T_{\text{мокр}} = f(T_{\text{он}})$ .

Далее были изучены динамические свойства индикатора. На стенде была проведена имитация аварии с потерей теплоносителя при питающем напряжении нагревательного элемента индикатора 30 В переменного тока. ТИУ был переведен с состояния «мокрый» в состояние «сухой» при температуре среды порядка 320°C и давлении 16 МПа. Результаты испытаний показаны на рис. 5. Так же, были получены переходные характеристики ТИУ при переходе в обратном направлении при тех же температуре и давлении.

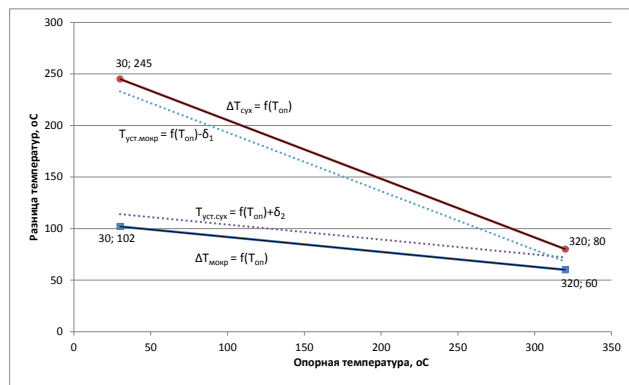


Рис. 4. Статические характеристики ТИУ:  $\Delta T_{\text{сух}}$  – статическая характеристика в состоянии «сухой»,  $\Delta T_{\text{мокр}}$  – статическая характеристика в состоянии «мокрый»,  $T_{\text{уст.мокр}}$  – уставка на срабатывание сигнализации о намокании,  $T_{\text{уст.сух}}$  – уставка на срабатывание сигнализации об осушении индикатора

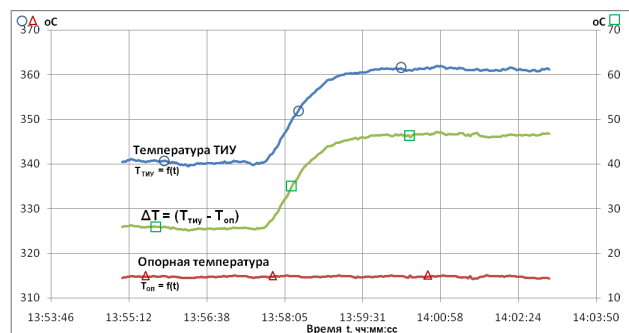


Рис. 5. Имитация аварии с потерей теплоносителя

Во время вывода энергоблока №1 Южно-Украинской АЭС на мощность была проверена точность полученных статических и динамических характеристик в диапазоне от ( $T=30^\circ\text{C}$ ;  $P=0,1$  МПа) до ( $T=320^\circ\text{C}$ ;  $P=16$  МПа) и подтверждена их практическая применимость. Это имеет большую практическую ценность, поскольку доказывает правомерность использования полученных зависимостей и постоянных, а также тестировать и верифицировать разработанные алгоритмы на испытательном стенде. Статическая характеристика  $\Delta T_{\text{мокр}} = f(T_{\text{он}})$ , полученная на реакторной установке во время вывода энергоблока на мощность, представлена на рис. 6.

На основании полученных зависимостей и наблюдений были сформированы алгоритмы работы измерительного комплекса с ТИУ.

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

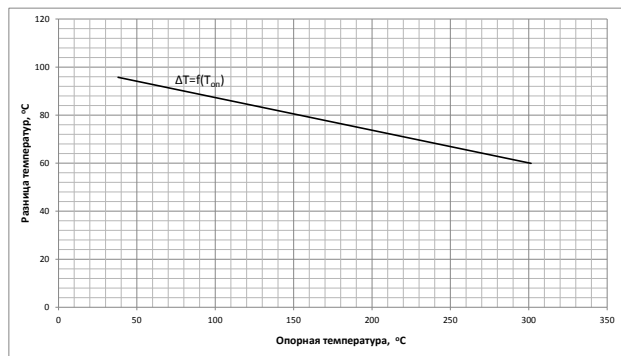


Рис. 6. Статическая характеристика ТИУ снятая на реакторной установке

Алгоритм определения состояния ТИУ «сухой»/«мокрый» заключается в непрерывной проверке условия  $\Delta T \leq T_{\text{уст}}$ .  $T_{\text{уст}}$  – это динамическая уставка срабатывания ТИУ, зависящая от режима работы энергоблока.  $T_{\text{уст}}$  определяется в виде зависимости (1).

$$T_{\text{уст}} = f(T_{\text{уст.мокр}}, T_{\text{уст.сух}}, \gamma), \quad (1)$$

где  $T_{\text{уст.мокр}}$  – уставка на срабатывание сигнализации о намокании индикатора,  $T_{\text{уст.сух}}$  – уставка на срабатывание сигнализации об осушении индикатора,  $\gamma$  – составляющая, которая учитывает динамику изменения температуры чувствительного элемента и его состояние предыдущий момент времени.

Уставки срабатывания отображены на рис. 4 линиями  $T_{\text{уст.мокр}}$  и  $T_{\text{уст.сух}}$ . Уставка на срабатывание сигнализации о намокании ТИУ вычисляется по формуле  $T_{\text{уст.мокр}} = f(T_{\text{он}}) - \delta_1$ . Уставка на срабатывание сигнализации об осушении ТИУ вычисляется по формуле  $T_{\text{уст.сух}} = f(T_{\text{он}}) + \delta_2$ . Составляющие  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\gamma$  определяются по результатам испытаний на термодинамическом стенде имитации температурных каналов реактора ВВЭР-1000.

Для того чтобы избежать влияния случайных помех со стороны работающего оборудования ЯУ в алгоритм срабатывания ТИУ был введен дополнительный таймер. Как только разность температур  $\Delta T$  превышает уставку, включается таймер. Решение о срабатывании ТИУ принимается в том случае, если по истечению некоторого времени  $\Delta T$  будет оставаться за пределами уставки.

## 5. Выводы

Температурные индикаторы уровня – один из наиболее перспективных на сегодняшний день инструментов для оценки запаса теплоносителя в реакторной установке (РУ) во время протекания аварий сопровождаемых малыми и средними течами. На стабиль-

ность, скорость и достоверность определения перехода ТИУ из состояния «мокрый» в состояние «сухой» и обратно оказывают влияние изменения турбулентности потока теплоносителя, что приводит к изменению его гидродинамических и термодинамических характеристик. Кроме этого, оказывают некоторое влияние дисбалансы в работе РУ в результате останова одного или нескольких циркуляционных насосов, насыщения пароводяной смеси, изменения направления циркуляции теплоносителя и прочее. Поэтому ведутся ис-

следования по усовершенствованию и оптимизации алгоритмов работы датчика, исследуются другие возможные структуры проведения измерений, с целью повышения надежности его работы.

Термоанемометры нашли свое широкое применение в определении расхода жидких сред. Рассматривается возможность расширения функционала ТИУ для определения, кроме падения уровня, еще и расхода теплоносителя по петлям.

#### Литература

1. Кузнецов, Д.Н. Моделирование метрологических характеристик различных типов термоанемометров с термистором в качестве термочувствительного элемента [Текст] / Д.Н. Кузнецов, Д.А. Чупис // Электронные и компьютерные системы. – 2012. - №6(82). – С. 99-105.
2. Ураксеев, М.А. Перспективы термоанемометрических методов измерения расхода газа или жидкости [Текст] / М.А. Ураксеев, А.Ф. Романченко, Д.Р. Абдрашитова, С.А. Шилов // Электронный журнал «Исследовано в России», 51, 587-593, 2001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.realn.ru/articles/2001/051.pdf>.

#### Abstract

*The estimation of reserve of a heat carrier in the primary coolant circuit of the reactor plant with the water-moderated water-cooled power reactor-1000 is one of the problems, which still have no comprehensive solution. To indicate the level of the heat carrier it is suggested to use thermoelectric level indicator at certain marks of the reactor, which works according to the heat-loss anemometer principle. In the suggested structure of measurement the level indicator works in constant current mode. The studies provide the static and dynamic characteristics of the indicator. The modes of heating were studied; the algorithms, which provide the operability of the indicator and the method of the level indication, were worked out. The studies are being carried out in order to improve and optimize the algorithmic and mathematical support of the method; other possible structures of measurements are being analyzed to improve the reliability of its operation.*

**Keywords:** *thermoelectric level indicator, heat-loss anemometer, level control, water-moderated water-cooled power reactor -1000*

*У даній статті зроблена оцінка надійності системи зовнішнього освітлення. Сучасна система зовнішнього освітлення міста являє собою найбільш складний комплекс, надійність якого визначається здатністю об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, що відповідають заданим режимам і умовам використання*

**Ключові слова:** *оцінка, зовнішнє освітлення, надійність, освітлювальна установка, базовий комплект, енергоспоживання*

*В данной статье сделана оценка надежности системы наружного освещения. Современная система наружного освещения города представляет собой наиболее сложный комплекс, надежность которого определяется способностью объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования*

**Ключевые слова:** *оценка, наружное освещение, надежность, осветительная установка, базовый комплект, энергопотребление*

УДК 628.9, 621.971

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

**А. В. Сапрыка**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра электроснабжения городов  
Харьковская национальная академия  
городского хозяйства  
ул. Революции, 12, г. Харьков,  
Украина, 61002  
Контактный тел.: (057) 770-14-42  
E-mail: a\_sapryka@mail.ru