

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЛАВКОВО-ДИСКРЕТНОГО УРОВНЕМЕРА ТЯЖЕЛОГО ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Сумин Р.В., Бокова Т.А., Мелузов А.Г., Волков Н.С., Маров А.Р., Зырянова Т.К.,
Погорелов М.Д. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Нижний Новгород, Россия)

Введение

На сегодняшний день в России активно ведутся работы по созданию РУ БРЕСТ-ОД-300 (свинцовый теплоноситель) и СВБР (свинцово-висмутовый теплоноситель) [1–5].

Для обоснования компоновочных и конструктивных решений различного оборудования РУ (реакторных установок) с ТЖМТ (тяжелым жидкометаллическим теплоносителем) создаются экспериментальные стенды. Наиболее распространенным прибором контроля изменения свободного уровня теплоносителя в стендовых контурах с ТЖМТ является электроконтактный датчик измерения уровня.

1. Описание работы электроконтактного уровнемера

К основным преимуществам такого датчика относятся:

- Простота изготовления, обслуживания и эксплуатации
- Отсутствие дорогостоящих и технически сложных элементов
- Доступность чувствительных элементов в датчиках

К недостаткам таких датчиков относят:

- Ограничение высоты емкости с установленным датчиком
- Потеря герметичности в уплотнении чувствительного элемента при постоянном использовании датчика

Схема такого датчика изображена на рисунке 1.

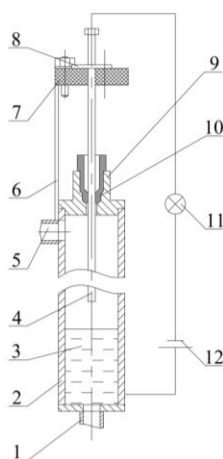


Рис. 1. Электроконтактный уровнемер:

- 1 – подвод/отвод теплоносителя; 2 – бак отжимной; 3 – свободный уровень теплоносителя;
4 – электроконтактный зонд; 5 – подвод/отвод газа; 6 – опорный уголок; 7 – текстолитовая
пластина; 8 – фиксирующая пластина; 9 – уплотнение; 10 – фторопластовая прокладка;
11 – световая сигнализация; 12 – источник напряжения

Принцип работы данного уровнемера заключается в замыкании электрической цепи при соприкосновении электрода, размещенного на зонде, с теплоносителем. В верхней крышке бачка (рис. 1 п. 2) установлено уплотнение (рис. 1 п. 9), через которое во внутреннюю полость бачка вводится электроконтактный зонд (рис. 1 п. 4). Таким образом, электроконтактный зонд, электроизолированный от корпуса бачка, перемещается вертикально внутри бака.

К важнейшим условиям работы экспериментальных стендов с ТЖМТ относится обязательное соблюдение условия герметичности контура [6–8]. Негерметичность контура ведет к неконтролируемому поступлению кислорода воздуха, что вызывает бесконтрольное окисление теплоносителя. А это, в свою очередь, ведет к образованию твердых оксидов и забиванию проходных сечений контура циркуляции.

Конструкция электроконтактного уровнемера не обеспечивает должную герметичность контура, поэтому требуется разработка альтернативных конструкций.

Для решения данной проблемы была предложена конструкция поплавково-дискретного уровнемера, газовый объем которого полностью изолирован от газового объема контура ТЖМТ. Действие поплавково-дискретного уровнемера основано на регистрации срабатывания герметизированного магнитоуправляемого контакта (геркона) при воздействии магнитного поля заданного значения, создаваемого постоянным магнитом, находящимся на поверхности контролируемой жидкости. Работа устройства по данному методу позволяет обеспечить необходимую герметичность узла и установки в целом.

2. Принцип действия ПДУ

Геркон – магнитоуправляемый контакт, контакт-элементы которого герметично изолированы от окружающей среды. Он является элементом электрической цепи, изменяющий ее состояние посредством механического замыкания или размыкания при воздействии управляющего магнитного поля на контакт-элементы.

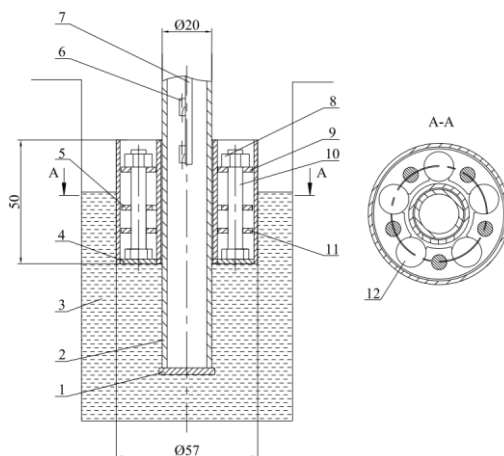


Рис. 2. Схема экспериментальной сборки:

1 – заглушка; 2 – чехол зонда; 3 – теплоноситель; 4 – поплавок; 5 – кольцо; 6 – геркон; 7 – зонд прототипа ПДУ; 8 – гайка; 9 – крышка; 10 – болт; 11 – крышка; 12 – магнит

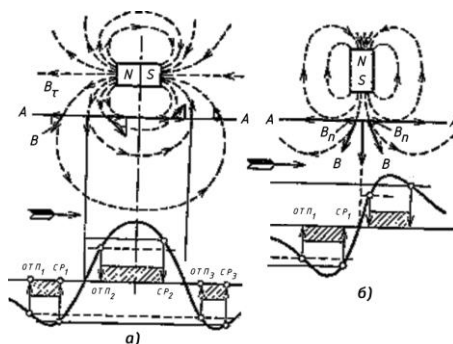


Рис. 3. Влияние тангенциальной (а) и нормальной (б) составляющих магнитного поля магнита на работу геркона

Важным недостатком герконов является наличие зон ложных срабатываний, само наличие и число которых зависит от картины магнитного поля и величины магнитной индукции.

3. Работа стенда ПДУ

Для эксперимента подобрана модель герконов МКА-14103 гр. Б (рис. 4 п. 4), как наиболее термически стойкая из доступных на рынке. Магнитное поле создают постоянные магниты цилиндрической формы AlNiCo с рабочей температурой до 500 °С, расположенные симметрично в сепараторе поплавка (рис. 4 п. 13). Герконы расположены друг за другом по высоте на зонде (рис. 4 п. 7) и опускаются в магнитное поле в герметичном по отношению к ТЖМТ чехле (рис. 4 п. 2). Герконы соединены параллельно с источником питания через световые индикаторы на электронном блоке (рис. 4 п. 12).

Измерения проводились сначала в среде воздуха, имитируя положение уровня теплоносителя изменением положения магнитов, а затем в емкости со свинцово-висмутом при температурах 210–230 °С и 420–450 °С. Так же параллельно измерялся уровень теплоносителя эталонным электроконтактным уровнемером.

По ходу эксперимента обеспечивался контроль температур сплава и герконов.

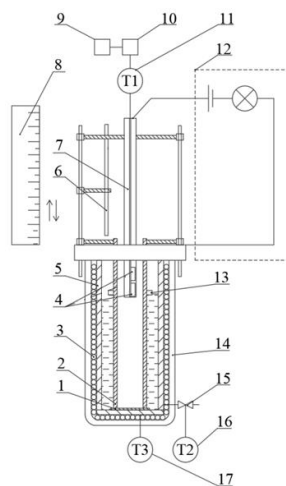


Рис. 4. Схема стенда ФТУМ-2020Г НГТУ:

- 1 – заглушка; 2 – чехол зонда; 3 – ТЭН; 4 – герконы; 5 – контрольный бак;
- 6 – электроконтактный уровнемер; 7 – зонд прототипа ПДУ; 8 – линейка;
- 9 – компьютер; 10 – «МЕТАКОН-562»; 11 – термопара Т1;
- 12 – электронный блок; 13 – поплавок; 14 – теплоизоляция;
- 15 – вентиль слива теплоносителя; 16 – термопара Т2; 17 – термопара Т3

4. Состав прототипа ПДУ

Испытания проводятся на стенде ФТУМ-2020Г НГТУ на прототипе ПДУ в следующем составе:

1. Прототип ПДУ состоит из зонда (рис. 5, п. 8), чехла зонда (рис. 5, п. 7), поплавка (рис. 5, п. 2), состоящего из постоянных магнитов AlNiCo в чехле.

2. Зонд прототипа ПДУ выполнен в виде штанги с закрепленными на ней герконами (рис. 5, п. 3) и термопарой (рис. 5, п. 4).

3. Поплавок держится на поверхности теплоносителя, его перемещение в нижнем направлении ограничено заглушкой (рис. 5, п. 1).

Во время эксперимента осуществляется вертикальное перемещение зонда прототипа ПДУ в контрольный бак с теплоносителем.

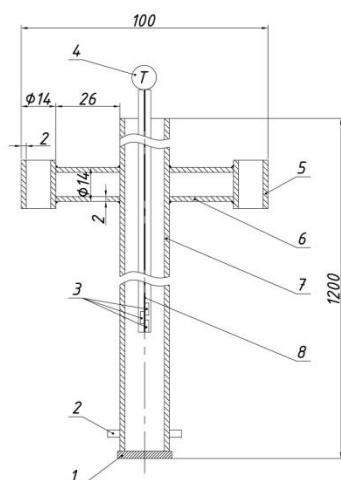


Рис. 5. Прототип ПДУ:
1 – заглушка; 2 – поплавок; 3 – герконы; 4 – термopapa; 5 – направляющее устройство; 6 – кронштейн; 7 – чехол зонда; 8 – зонд

5. Определяемые величины

В процессе эксперимента определялись величины, изображенные на рисунке. Нулевая точка устанавливается на верхней плоскости фланца контрольного бака 4 (рис. 5).

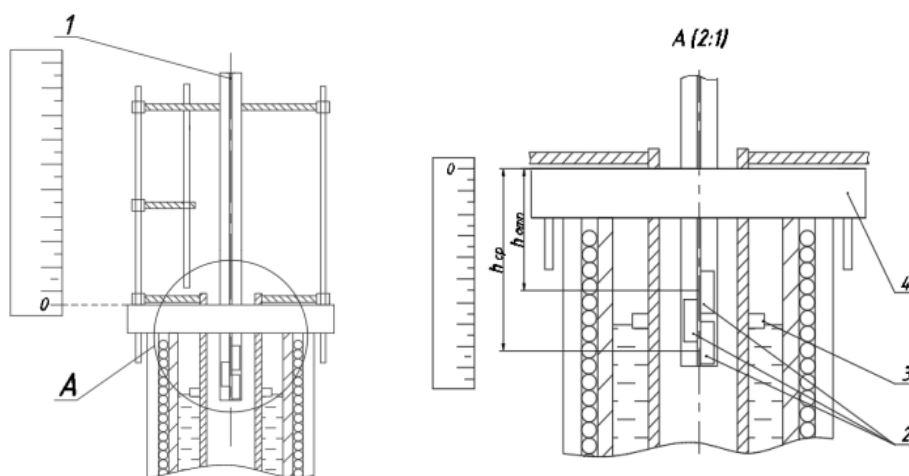


Рис. 6. Определяемые величины:
1 – зонд прототипа ПДУ; 2 – герконы; 3 – поплавок; 4 – фланец контрольного бака;
 $h_{\text{ср}}$ – расстояние от 0 до точки срабатывания геркона;
 $h_{\text{отп}}$ – расстояние от 0 до точки «отпускания» геркона

6. Программа испытаний

6.1. Первый этап испытаний

На первом этапе проверялась работоспособность прототипа ПДУ на воздухе, производилось предварительное определение количества необходимых магнитов и оценивалось влияние конструкции прототипа уровнемера на магнитное поле. Проверялось влияние вращения поплавка и зонда на срабатывание и отпускание герконов в горизонтальной плоскости с центром в оси системы. На данном этапе выбрана магнитная система – число магнитов в поплавке и их высота.

6.2. Второй этап испытаний

На втором этапе при температуре 210–230 °С проводились провокационные испытания – исследование поведения геркона при резком повышении температуры за счет быстрого опускания и извлечения зонда в бак.

6.3. Третий этап испытаний

На третьем этапе проверялась работоспособность прототипа ПДУ при высоких температурах (210–230 °С) и производилось фиксирование точек срабатывания и отпускания герконов, а также определялась разность между точками срабатывания и отпускания и действительным уровнем теплоносителя при прямом и обратном ходе.

6.4. Четвертый этап испытаний

На четвертом этапе при температуре 420–450 °С проводились провокационные испытания – исследование поведения геркона при резком повышении температуры за счет быстрого опускания и извлечения зонда в бак.

6.5. Пятый этап испытаний

На третьем этапе проверялась работоспособность прототипа ПДУ при высоких температурах (420–450 °С) и производилось фиксирование точек срабатывания и отпускания герконов, а также определялась разность между точками срабатывания и отпускания и действительным уровнем теплоносителя при прямом и обратном ходе.

7. Результаты

Анализ экспериментальных данных показывает, что величина зоны срабатывания меньше длины корпуса геркона. Это говорит о правильно подобранной высоте магнитов в поплавке. Также в ходе эксперимента не было обнаружено влияния соосного поворота поплавка на работу уровнемера. Зафиксировано уменьшение зоны срабатывания при работе на температурах 210–230 °С из-за уменьшения величины магнитной индукции.

Испытания уровнемера в среде ТЖМТ при температуре 420–450 °С показали, что геркон модели МКА-14103 гр. Б теряет свои магнитные свойства и перестает реагировать на магнитное поле. После извлечения зонда и ее остывания была произведена разборка конструкции, которая показала, что герконы не были разрушены. Была произведена повторная проверка работоспособности герконов на воздухе, которая показала восстановление работоспособности этих герконов, что говорит о полной целостности и работоспособности конструкции в целом. Потеря работоспособности при температуре 420–450 °С может быть связана с термическим расширением материалов контактных элементов и их деформацией, что ведет к изменению магнитных свойств геркона.

Для обеспечения работоспособности уровнемера при температуре 420–450 °С необходимо провести модернизацию конструкции. В качестве предложения по модернизации, можно обеспечить охлаждение герконов путем продувки изнутри чехла зонда воздухом через специальный канал, а также покрыть внутреннюю поверхность чехла зонда теплоизолирующим материалом. Это позволит снизить температуру самих герконов и обеспечить их работоспособность в данном температурном диапазоне.

Благодарности

Представленные результаты получены в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (тема № FSWE–2023–0005 «Особенности и специфика применения тяжелых жидкометаллических теплоносителей в реакторных установках на быстрых нейтронах»).

Заключение

Разрабатываемое устройство контроля уровня ТЖМТ может быть полезно для стендовых экспериментальных контуров. Использование такого уровнемера в реакторных контурах видится малоперспективным, ввиду сложности отслеживания ложных срабатываний и конструктивных особенностей герконов.

Список литературы

1. Адамов Е.О., Большов Л.А., Ганев И.Х. и др. Белая книга ядерной энергетики. – М.: Изд-во ГУП НИКИЭТ, 2001. – 269 с. ISBN 5-86324-035-0. Электронный ресурс: http://elib.biblioatom.ru/text/belaya-kniga-yadernoy-energetiki_2001/go,0 (дата доступа 24.01.2023).
2. Безносков А.В., Бокова Т.А. Оборудование, компоновка и режимы эксплуатации контуров с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями в атомной энергетике. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2011. – 536 с.
3. Джангобеков В.В., Степанов В.С., Дедуль А.В., Климов Н.Н., Болванчиков С.Н., Вахрушин М.П. Реакторная установка СВБР-100 для модульных атомных станций малой и средней мощности. / Труды IV конференции «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях» (ТЖМТ-2013)». Обнинск, АО «ГЦН РФ ФЭИ», 23–26 сентября 2013 г. – Обнинск: АО «ГЦН РФ ФЭИ», 2013. Электронный ресурс: <https://www.gidropress.podolsk.ru/files/publication/publication2013/documents/245.pdf> (дата доступа 24.01.2023).
4. Обоснование технических решений реакторного контура установок БРС-ГПГ малой и средней мощности с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем для наземных и плавучих АЭС / А. В. Безносков, Т. А. Бокова, П. А. Боков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 2(129). – С. 64–76.
5. Обоснование технических решений реакторного контура установок БРС-ГПГ малой и средней мощности с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем / А. В. Безносков, Т. А. Бокова, П. А. Боков [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2020. – № 1. – С. 132–139.
6. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов ядерной энергетики. – М.: Атомиздат, 1968. – 484 с.
7. Четкин А.В. Высокотемпературные теплоносители. – М.: Энергия, 1971. – 496 с.
8. Безносков А.В., Драгунов Ю.Г., Рачков В.И. Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике. – М.: ИздАТ, 2007. – 432 с. ISBN: 5-86656-202-2. Электронный ресурс: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003085239> (дата доступа 24.01.2023)