

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ПРИБОРА ИВА-М ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВОДОРОДА В НАТРИЕВОМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕ

В.В. Алексеев, Г.П. Сергеев, П.С. Козуб, В.В. Матюхин, А.П. Сорокин
ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Разработан опытный образец прибора для контроля водорода в натрии ИВА-М, который включает в себя первичный преобразователь от индикатора ИВА-1У (высоковакуумный блок с никелевой мембраной и магниторазрядным насосом НМД-0,0063, дополнительно оборудованным термостатом), конструктивно усовершенствованные натриевый блок с рекуператором и блок градуировки.

Выбранная конструкция технологического (натриевого) блока для ИВА-М имеет номинальный расход натрия 0,1 м³/ч, существенно меньшие габариты и уменьшенное примерно в три раза транспортное время в натриевом тракте по сравнению с ИВА-У.

Изготовлен и испытан на натриевом стенде ЦУ-3М опытный образец прибора ИВА-М.

Испытания опытного образца прибора ИВА-М показали соответствие его характеристик показателям, предусмотренным техническим заданием на разработку прибора.

Ключевые слова: парогенератор натрий-вода, контроль водорода, чувствительность, проницаемость, мембрана, натриевый стенд.

Key words: sodium-water steam generator, hydrogen monitoring, sensitivity, permeability, membrane, sodium loop.

Безопасность эксплуатации ПГ обеспечивается системой аварийной защиты (САЗ), важной составляющей которой является подсистема обнаружения малых течей. Специфика разрушения конструкционных материалов и аварийных процессов при течах воды в натрий требует обнаружения возникающих течей на максимально ранней их стадии и использования высокочувствительных и малоинерционных устройств [1].

Наиболее подходящими для своевременного обнаружения таких течей являются устройства с концентрационными датчиками, в частности, индикаторы водорода в натрии с датчиками на основе магниторазрядного насоса и водородопроницаемой мембраны [2, 3]. Индикаторы этого типа были разработаны во многих странах: США, Франции, Германии, Японии.

Индикатор водорода в натрии ИВА-1У на основе промышленного магниторазрядного насоса НМД-0,0063 был разработан для АЭС БН-600 и БН-350. Он хорошо зарекомендовал себя при эксплуатации и успешно эксплуатируется в настоящее время на БН-600. Первые опытные индикаторы такого типа с магниторазрядным

насосом НМД0-0,01 использовались на установке БН-350 с 1975 г. Первая промышленная партия датчиков с этим насосом ~ 50 шт. использовалась в начале эксплуатации и на установке БН-600 [4, 5]. Вторая промышленная партия датчиков с насосом НМД-0,0063 начала внедряться на БН-600 с 1985 г. и работает до настоящего времени. Нарботка большинства датчиков уже превышает 20 лет, а достигнутая в условиях БН-600 чувствительность составляет 0,01–0,02 млн⁻¹.

Новая разработка прибора для контроля водорода в натрии ИВА-М выполнена по схеме аналогичной индикатору ИВА-1У (рис. 1), и обеспечивает все его функции, включая возможность оперативной проверки чувствительности с помощью дозирования водорода.

ОПИСАНИЕ ИВА-М

Таблица 1

Основные показатели ИВА-М

Номинальный расход натрия через прибор, м ³ /ч	0,1
Расход натрия, м ³ /ч	0,02–0,12
Время транспорта натрия от точки врезки до мембраны датчика при номинальном расходе натрия, с	3,5
Габариты ИВА-М вместе с электронным блоком датчика водорода, не более, м	0,9×0,6×0,6
Рабочий диапазон измерения концентрации водорода в натрии, млн ⁻¹	0,03–0,5
Максимальная рабочая концентрация водорода в натрии, млн ⁻¹	5,0
Рабочая температура никелевой мембраны датчика, °С	500±2
Рабочая температура никелевой мембраны датчика при концентрации 0,5–5 млн ⁻¹	(350–450)±2
Температура натрия на входе при эксплуатации и пусковом режиме ПГ, °С	250–490
Рабочая температура насоса НМД-0,0063, °С	60±2
Диапазон абсолютной чувствительности (коэффициент чувствительности К), мкА/млн ⁻¹	от 25 до 200
Пределы допускаемой относительной погрешности определения абсолютной чувствительности, не более, %	±15
Порог чувствительности по водороду в натрии, млн ⁻¹	0,01
Предел основной допускаемой относительной погрешности измерения концентрации водорода в натрии, не более, %	±15
Постоянная времени датчика водорода, не более, с	15
Рабочее давление натрия, Па (кгс/см ²)	< 6,9·10 ⁵
Термостат для магнитоэлектрического насоса датчика водорода обеспечивает автоматическое поддержание температуры, °С	60±2
Датчик с насосом НМД-0,0063:	
– напряжение питания постоянного тока, кВ	4,5
– пределы допускаемой относительной погрешности измерения напряжения питания, не более, %	±1
– диапазон измерений тока, мкА	от 1 до 1000
– пределы допускаемой относительной погрешности измерения тока, не более, %	±1

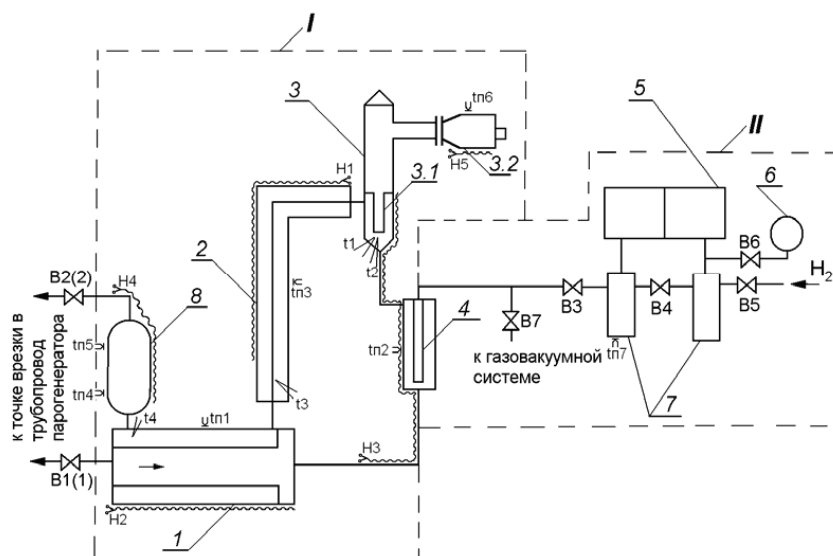


Рис. 1. Технологическая схема ИВА-М: I – блок измерения содержания водорода в натрии: 1 – рекуператор; 2 – основной нагреватель; 3 – первичный преобразователь-датчик водорода (высоковакуумный блок); 3.1 – никелевая мембрана; 3.2 – магниторазрядный насос
II – блок градуировки: 4 – узел с никелевой мембраной дозатора водорода; 5 – дифференциальный манометр «Метран»; 6 – мановакуумметр; 7 – мерные сосуды; 8 – электромагнитный насос-расходомер
Нагреватели:
H1 – основной; 1,2 кВт, 48 В, 500°C; H2 – рекуператор; 1,2 кВт, 48 В, 500°C; H3 – участок рекуператор-основной нагреватель; 0,35 кВт, 48 В, 250°C; H4 – выходные линии с ЭМН-расходомером; 1,0 кВт, 48 В, 250°C; H5 – термостат для насоса; 0,15 кВт, 48 В, 60°C

Принцип действия

Первичным преобразователем прибора ИВА-М является высоковакуумный блок, содержащий водородопроницаемую никелевую мембрану, вакуум-провод и магниторазрядный насос. Одна сторона мембраны омывается потоком натрия, а вторая – вакуумируется магниторазрядным насосом. Водород, поступающий через мембрану в вакуумную полость, откачивается магниторазрядным насосом. Процесс откачки сопровождается ионизацией водорода в межэлектродном пространстве насоса, и в цепи питания насоса протекает электрический ток, являющийся выходным сигналом. Величина тока зависит от величины потока водорода и, соответственно, от концентрации водорода в натрии. Количественная связь между током насоса и концентрацией водорода в натрии определяется экспериментально при периодическом проведении градуировок ИВА-М с помощью блока градуировки, входящего в его состав.

При возникновении течи воды в натрий концентрация водорода в нем повышается, что приводит к росту тока насоса, на основании анализа которого может быть сформирован сигнал течи.

Для уменьшения воздействия факторов, влияющих на величину выходного сигнала и способных привести к ухудшению чувствительности, в устройстве ИВА-М введены стабилизация рабочей температуры мембраны и напряжения питания магниторазрядного насоса.

Конструктивное устройство

Технологическая часть

Принципиальная схема технологической части ИВА-М показана на рис. 1, компоновочная схема – на рис. 2. В состав ИВА-М входят блоки

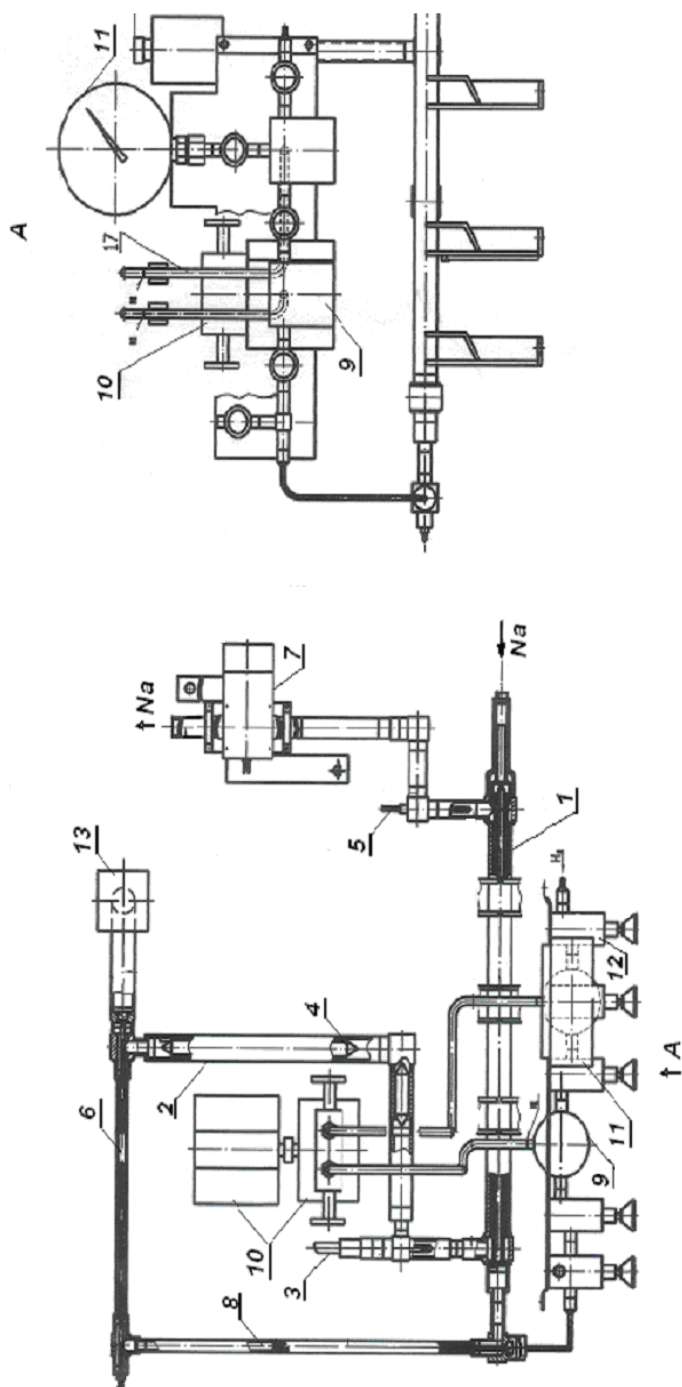


Рис. 2. Компонентная схема технологической части ИВА-М: 1 – рекуператор; 2 – регулируемый основной нагреватель; 3 – термопара; 4 – вытеснитель; 5 – термопарный карман; 6 – водородопроницаемая мембрана; 7 – насос-расходомер электромагнитный; 8 – водородопроницаемая мембрана-дозатор водорода; 9 – мерный сосуд для водорода; 10 – дифманометр «Метран»-22-ВН-ДД-2410_АС-0,2-0,25 кПа-4; 11 – датчик давления; 12 – вентиль; 13 – магниторазрядный насос НМД-0,0063

- измерения содержания водорода в натрии;
- градуировки.

Циркуляция натрия в ИВА-М осуществляется индивидуальным электромагнитным насосом. Натрий входит по внутренней трубе рекуператора, далее омывает мембрану дозатора водорода, мембрану датчика, подогревается в автоматически регулируемом нагревателе и по наружному межтрубному пространству рекуператора электромагнитным насосом-расходомером возвращается в основной натриевый контур к точке врезки в трубопровод парогенератора.

Блок градуировки состоит из двух мерных емкостей 7, заполненных водородом и разделенных отсечным вентилем В4. Между емкостями подсоединен дифманометр 5. При градуировках водород через вентиль В3 и мембрану дозатора 4 поступает в поток натрия, протекающий в контуре ИВА-М. Водород подают из левой емкости, а его расход определяют по времени достижения заданного перепада давления между емкостями.

Электрическая часть, КИП и А

В состав электрической части ИВА-М входят

- основной нагреватель натриевого блока, работающий постоянно в режиме поддержания заданной температуры натрия в районе никелевой мембраны датчика;
- нагреватели предварительного разогрева, работающие в режиме позиционного регулирования при пусках ИВА-М:

- рекуператора;
- участка с мембраной дозатора и мембраной датчика;
- участка расходомера и электромагнитного насоса;
- термостата магниторазрядного насоса;

- источники питания нагревателей;
- источник питания электромагнитного насоса.

Для питания нагревателей используются понижающие трансформаторы на 48 В, а для поддержания заданных температур – многоканальный регулятор ТЕРМОДАТ.

Электрическая и функциональная схема КИП и А включает в себя

- питание магниторазрядного насоса датчика, контроль тока насоса, преобразование в нормированный сигнал и передачу информации на персональный компьютер;

- контроль температур натриевого тракта, рабочих участков, емкости дозатора водорода, термостата магниторазрядного насоса;

- питание электромагнитного насоса; контроль, регулировку и поддержание расхода натрия при работе на номинальном режиме и при проведении градуировок;

- контроль давлений в системе дозирования водорода и передачи информации в ПК для расчета градуировочных характеристик.

В состав КИП и А ИВА-М входят

- магниторазрядный насос НМД-0,0063;
- электронный блок (многофункциональное устройство для питания магниторазрядного насоса и измерения тока насоса);

- термоэлектрические преобразователи (погружные и поверхностные);

- термометр сопротивления для контроля температуры емкости дозатора водорода;

- электромагнитный насос-расходомер;

- дифференциальный манометр типа «Метран-22ДД» для контроля разности давлений в мерных сосудах;

- мановакууметр МО-160 или «Метран-22ДНВ» для контроля разряжения и полного давления водорода в блоке градуировки;

- термоэлектрический преобразователь для контроля температуры в термостате насоса НМД-0,0063.

Электронный блок обеспечивает питание насоса НМД-0,0063 стабилизированным напряжением $+4,5 \text{ кВ} \pm 1\%$, измерение тока насоса в диапазоне 0–1000 мкА.

Аппаратура для управления нагревателями и насосом, а также вторичные приборы для насоса НМД-0,0063, измерений расхода натрия по петле, температуры участков обогрева, давления в системе дозирования водорода размещается на отдельной панели или стойке. Блок питания электромагнитного насоса для снижения электрических потерь располагается вблизи шин насоса.

Электромагнитный насос был усовершенствован для выполнения одновременно функции расходомера натрия с тем же классом точности, что и разработанный индивидуальный расходомер, что позволило исключить последний из состава ИВА-М. Испытания электромагнитного насоса-расходомера успешно проведены на установке «Лира».

Для питания электромагнитного насоса используется специальный источник тока «ИСТОК-350». Прибор рассчитан на питание от стандартной однофазной сети 220–240 В, 50–60 Гц с параметрами в соответствии с ГОСТ В 23394-78.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА НА НАТРИЕВОМ СТЕНДЕ

Расположение технологической части ИВА-М на стенде ЦУ-3М представлено на рис. 3.

Испытания проводились в натрии, очищенном холодной ловушкой до уровня примесей в натрии, не превышающего их растворимостей при температуре натрия на выходе холодной ловушки 120°C .

Выполнена дозировка водорода в натрий с помощью устройства градуировки ИВА-М. Определение градуировочной характеристики (абсолютной чувствительности K) путем изменения приращений концентрации водорода в потоке натрия на входе в высоковакуумный блок ИВА-М (определяемых по отношениям потоков дозируемого водорода к расходу через ИВА-М) проводилось при работающей холодной ловушке с температурой на ее выходе $\sim 120^\circ\text{C}$.

По результатам дозирования водорода в натрий определена градуировочная характеристика ИВА-М (рис. 4):

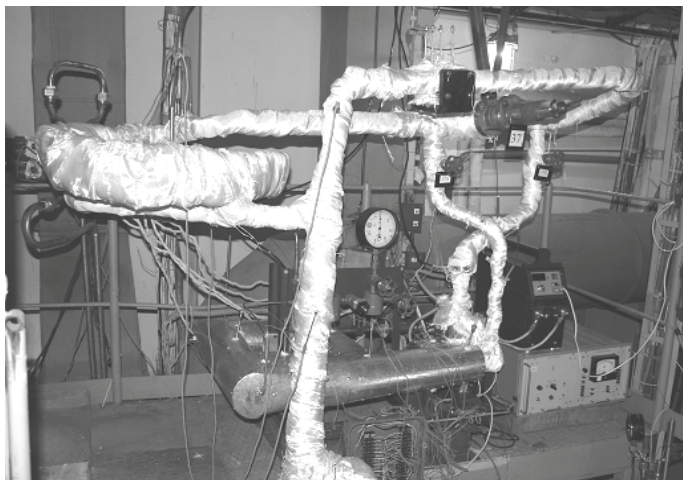


Рис. 3. Технологическая часть ИВА-М на стенде ЦУ-3М

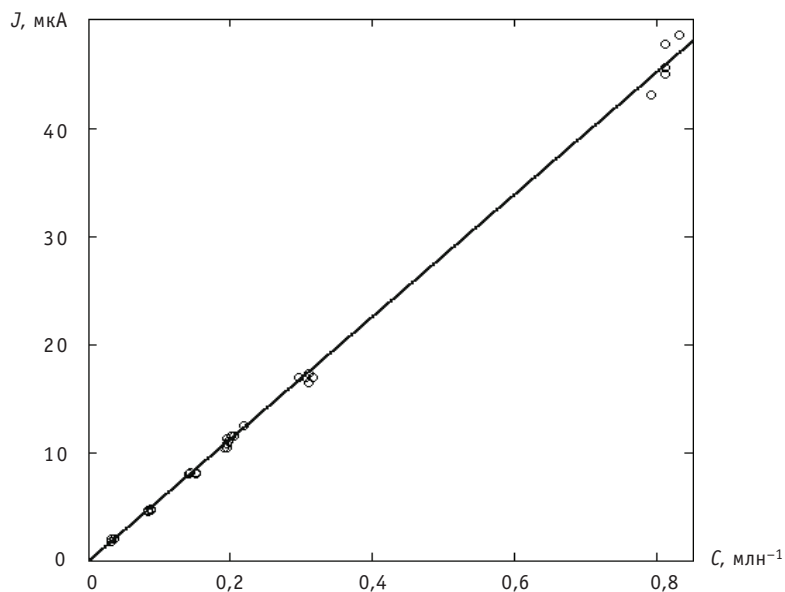


Рис. 4. Градуировочная характеристика ИВА-М

$$J, \mu\text{кА} = (56,5 \pm 0,6) \cdot C_{\text{H}_2} (\text{млн}^{-1}).$$

Шумы тока магнитоизрядного насоса не превышали чувствительности измерительного блока 0,1 $\mu\text{кА}$. При этом обеспечивается порог чувствительности $< 0,01 \text{ млн}^{-1}$.

Получена зависимость сигнала ИВА-М при изменении концентрации водорода в натрии (рис. 5). Постоянная времени (63% от установившегося сигнала) – 10 с.

Контрольные испытания опытного образца прибора ИВА-М показали соответствие его характеристик показателям, предусмотренным техническим заданием на разработку прибора.

Сравнение основных технических характеристик индикаторов ИВА-1У и ИВА-М представлено в табл. 2.

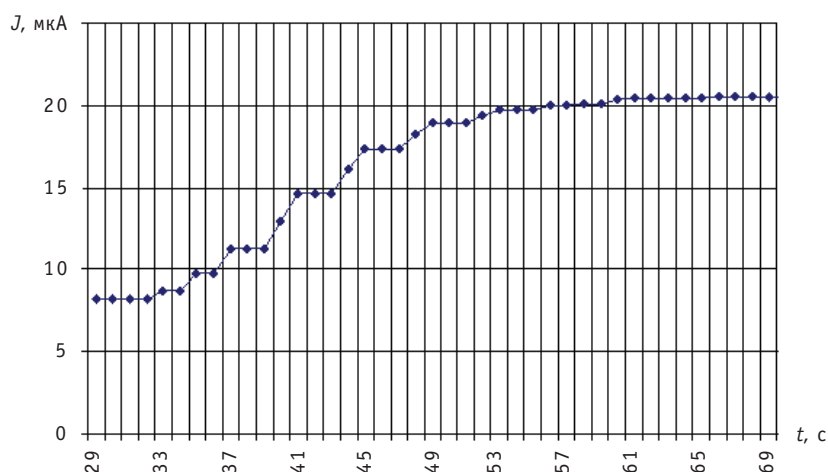


Рис. 5. Сигнал ИВА-М при изменении концентрации водорода в натрии

Основные технические характеристики индикаторов ИВА-1У и ИВА-М

Характеристика	ИВА-1У	ИВА-М
Контролируемая среда	Натрий	Натрий
Температура среды, °С	250–550	250–550
Срок службы, не менее, лет (в течение срока службы допускается применение операции по восстановлению порога чувствительности при длительности этих операций не более 8 ч и средней периодичности не более трех раз в год)	6, фактически 15–20	20
Составляющие индикатора	Датчик (вакуумный блок), натриевый и электронный блоки	Датчик (вакуумный блок), натриевый и электронный блоки
Электронный блок	УМ–0,1	УМ–0,1 Выполняется новая разработка
Порог чувствительности по водороду в натрии, не более, млн^{-1} (чувствительность, не менее, 25 мкА/млн^{-1})	0,1 (по ТУ)	0,01
Время реакции (постоянная времени датчика) при температуре мембраны 500°C , не более, с	15	10
Условия поверки (калибровки) (относительная погрешность градуировки не более 15%)	Автономная система проверки чувствительности и градуировки (он-лайн)	Автономная система проверки чувствительности и градуировки (он-лайн)
Дополнительные возможности	Контроль уровня водорода в контуре	Контроль уровня водорода в контуре
Рабочий диапазон содержания водорода в натрии, млн^{-1} (в аварийных ситуациях допускается повышение содержания водорода до 5 млн^{-1})	0,03–0,5	0,03–0,5
Рабочая температура диффузионной мембраны датчика, °С	$(400–500)\pm 2$	$(400–500)\pm 2$
Рабочее давление, МПа	0,6	0,6
Рабочий расход натрия, $\text{м}^3/\text{ч}$	0,8	0,1
Габариты, м	$1,84\times 0,64\times 1,35$	$0,6\times 0,6\times 0,9$
Масса, кг	300	≈ 50

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан опытный образец прибора для контроля водорода в натрии ИВА-М, который включает в себя первичный преобразователь (высоковакуумный блок с никелевой мембраной и магниторазрядным насосом НМД-0,0063, оборудованный термостатом), конструктивно усовершенствованные натриевый блок с рекуператором и блок градуировки. Теплообменник-рекуператор и основной нагреватель по сравнению с применяемыми в индикаторе ИВА-1У существенно упрощены. Максимальная мощность основного нагревателя снижена с 8 до 1,2 кВт.

2. Проведены расчетно-экспериментальные исследования по обоснованию и оптимизации параметров и конструкции технологического (натриевого) блока для

ИВА-М. Выбранный вариант конструкции имеет номинальный расход натрия $0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ и существенно меньшие габариты ($0,9 \times 0,6 \times 0,6 \text{ м}$) и вес, а также уменьшенное примерно в три раза транспортное время в натриевом тракте по сравнению с ИВА-У.

3. Для расширения возможностей применения ИВА-М в его состав включен индивидуальный электромагнитный насос. Разработана усовершенствованная конструкция этого насоса, одновременно выполняющего функцию расходомера. Электромагнитный насос-расходомер обеспечивает возможность проведения градуировок и оперативной проверки характеристик ИВА-М в диапазоне расходов натрия $\leq 0,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ и с классом точности не хуже 2,5.

4. Изготовлен опытный образец прибора ИВА-М, установлен и испытан на экспериментальном натриевом стенде ЦУ-3М. Испытания опытного образца ИВА-М показали соответствие его характеристик показателям, предусмотренным техническим заданием на разработку прибора.

Литература

1. Поплавский В.М., Козлов Ф.А. Безопасность парогенераторов натрий-вода – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Ford I.A., Chamberlain N.V., Coleman I.H. Leak Detection in Sodium – Heated Steam Generators // IAEA-SM-130-57, International Conference. – Monaco. – March, 1969.
3. Патент США № 368272 кл. 424-33, август 1972.
4. Козлов Ф.А., Егоров В.А., Козуб П.С. и др. Индикатор водорода для контроля герметичности парогенераторов натрий-вода // Атомная энергия. – 1985. – Т. 58. – Вып. 6. – С. 422-425.
5. Козлов Ф.А., Егоров В.А., Козуб П.С. и др. Опыт эксплуатации индикатора водорода в натрии на БН-350 и БН-600 // Атомная энергия – 1988. – Т. 64. – Вып. 3. – С. 227-229.

Поступила в редакцию 8.08.2011

УДК 621.039.519

Results of Calculated Experimental Justification of Support and Conditions of Mass Tests of SM Experimental Fuel Assemblies with Increased Uranium Load \V.A. Tsikanov, V.A. Starkov, A.P. Malkov, M.N. Svyatkin, A.V. Klinov, A.L. Petelin, Yu.A. Krasnov, Yu.B. Chertkov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 102 pages, 6 tables, 1 illustration. – References, 15 titles.

The technical feasibility and safety of SM core conversion for operation with increased uranium content rods using the standard fuel reloading were justified on the basis of the results of calculated experimental investigations. The experimental investigations of core physical characteristics and the mass tests of the experimental fuel assemblies on the basis of the rods loaded with 6g 235U were carried out. Technical-economical characteristics of the reactor with experimental FA were analyzed. The data required for amendments of the reactor design documentation and conversion of the new FA from the experimental assembly category to the standard one are obtained.

УДК 621.039.534

Experimental Sample of IVA-M Device for Monitoring of Hydrogen in Sodium Coolant \V.V. Alekseev, G.P. Sergeev, P.S. Kozub, V.V. Matyukhin, A.P. Sorokin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 9 pages, 2 tables, 5 illustrations. – References, 5 titles.

Experimental sample of IVA-M device for Monitoring of hydrogen in sodium is developed which includes the primary converter from the indicator IVA- 1Y (high vacuum block with nickel membrane and magnet pump NMD-0,0063, in addition equipped by thermostat), structurally advanced sodium block with recuperator and graduation block.

The chosen design of technological (sodium) block of IVA-M has the nominal sodium flow rate 0,1 m³/h (WILLOW – AT), much smaller dimensions and reduced approximately in 3 time transport time in sodium path of device in comparison with IVA- 1Y.

The experimental sample of IVA-M device is manufactured and tested on sodium loop ZU-3M.

The tests of the experimental sample of IVA-M device e have shown conformity of its characteristics to parameters stipulated by technical project on development of the device.

УДК 621.039.58

Risk Assessment for NPPs with RBMK Reactors \R.T. Islamov, A.A. Derevyankin, I.V. Zhukov, M.A. Berberova, S.S. Dyadyura, Ju.A. Mardashova, R.Sh. Kalmetiev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 7 pages, 2 tables, 2 illustrations. – References, 7 titles.

We have made the comparative risk assessment for NPPs with RBMK reactors and describe the results of risk index calculations required for Kursk NPP safety passports, which are compulsory for each hazardous industrial facility in accordance with the legislation of the Russia Federation. The output of this research is the assessment of risk index systems in physical and economical terms, social risk (F-N curves) and material damage (F-G curves) charts for Kursk NPP.

УДК 621.039.566

Limiting State Estimation of Damaged Pipe Bend Nuclear Power Plant \V.M. Markochev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2011. – 6 pages, 4 illustrations. – References, 1 title.

The method of calculating the limit state of the damaged section bend of pipeline, based on test results of smooth specimen, and the corresponding notched. Geometry of notched specimen is entirely dependent on the ratio of yield strength to ultimate strength. Design scheme is a simplified version of the method of real elements, the criterion of destruction – the strain criterion.