

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ РО СУЗ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСИНОВ

**Н.Н. Ошканов, О.А. Потапов, Ю.В. Носов, М.Т. Теличко, А.П. Южаков,
И.С. Поморцев**

Белоярская АЭС, г. Заречный



Приведены устройство системы регистрации положения регулирующих органов (РО) системы управления и защиты (СУЗ) без использования сельсинов, ее технические характеристики, а также мониторинг работы системы. Дана оценка погрешности измерений. Показаны формы и способы представления информации о положении регулирующих органов РО. Результатами опытной эксплуатации в течение двух лет показана возможность использования системы в существующем варианте.

Ключевые слова: вращение, датчик Холла, импульс, исполнительный механизм, погрешность, регулирующий орган, сельсин.

Key words: rotation, Hall-effect transducer, pulse, drive, error, control rod, selsyn.

Штатная система измерения и регистрации положения РО СУЗ реактора БН-600 основана на использовании сельсинов.

Наличие сравнительно высокого напряжения на статорных обмотках (~110 В) может приводить к пробое изоляции, следовательно, к выходу из строя измерительной пары (сельсин-датчик – сельсин-приемник). Кроме того характеристики измерительной пары с течением времени изменяются. При этом сравнительно невысокая точность и нелинейность ($\pm 2\%$ [1]) уменьшается еще и вследствие старения магнитопровода (трансформаторная сталь). Изменение температуры также оказывает влияние на характеристики магнитопроводов сельсинов.

Профилактическая замена сельсинов после наработки более гарантийной потенциально полезна, но не исключает полностью выхода из строя новых сельсинов.

Из-за выходов из строя сельсинных пар и отсутствия дублирующих систем измерения и регистрации положения КС была поставлена задача разработать и испытать систему непрерывного измерения положения штанг исполнительного механизма (ИМ) СУЗ, независимую от существующей на сельсинах.

Такая система была разработана на основе измерения числа оборотов ротора электродвигателя исполнительного механизма КС. Основное назначение системы – дать информацию о положении стержня СУЗ при выходе из строя сельсина штатной системы. Предложенная система является цифровой, дополнительной к штатной на основе сельсинов.

Способ работы системы базируется на следующем положении. Перемещение штанги (стержня) возможно только при работе электродвигателя (ЭД) ИМ СУЗ. Ротор его связан со штангой (стержнем) через редуктор. В этом случае во всех

режимах функционирования ИМ СУЗ между вращением входного вала редуктора и перемещением штанги СУЗ существует однозначная связь. Это означает, что мерой перемещения штанги (стержня) может служить число оборотов ротора электродвигателя ИМ КС СУЗ. Следует отметить, что изменение показаний сельсинной пары также связано с вращением ротора электродвигателя (ротор сельсина датчика связан с ротором электродвигателя ИМ КС через редуктор).

Поскольку вал ЭД ИМ КС не имеет выхода наружу, а внутренняя полость исполнительного механизма соединена с радиоактивным газовым пространством реактора (ГПР), то при установке датчиков вращения на валу ЭД требуется герметизация линий связи датчиков для подключения их к измерительному блоку, расположенному вне ГПР. Анализ работы различных типов датчиков показал, что если установить на валу ЭД постоянные магниты, а снаружи ЭД расположить датчики Холла, то можно измерять число оборотов ротора по изменению показаний датчиков Холла, вызванных изменением магнитного поля вращающихся магнитов. При этом не требуется никаких выводов из внутренней полости ЭД ИМ КС.

УСТРОЙСТВО ДАТЧИКОВ

Для измерения числа оборотов вала двигателя ИМ КС разработаны датчики вращения на основе элементов Холла. Два датчика вращения размещены на наружной стороне съемной крышки электродвигателя. При установке датчиков вращения на крышке двигателя ИМ СУЗ и постоянных магнитов внутри ЭД на валу ротора не требуется разгерметизации внутреннего объема двигателя, связанного с ГПР реактора. Этим достигается радиационная безопасность.

Для исключения намагничивания датчика Холла (и, следовательно, его отказа) в обойме чередуются полюсы магнитов (*N-S-N-S*). В этом случае за время одного оборота ротора датчик Холла вырабатывает два импульса.

С целью определения направления вращения вала на крышке двигателя устанавливается два датчика, импульсы которых сдвинуты по фазе примерно на 45 градусов.

Достоинством варианта с использованием датчиков Холла является отсутствие необходимости решения задач по герметизации выводов.

Электрическая схема датчика приведена на рис. 1.

Элемент Холла находится в микросхеме AD22151. При изменении магнитной индукции микросхема изменяет на выходе 5 напряжение. Порог срабатывания последующей микросхемы настроен на величину напряжения 2,7В. Такая схема датчика вращения обеспечивает высокую помехозащищенность всей системы регистрации положения стержней КС.

Для сглаживания выходного сигнала датчика и исключения режима интегрирования в цепь обратной связи микросхемы AD22151 (клеммы 5 и 6) установлен конденсатор 1нФ и резистор 3 МОм.

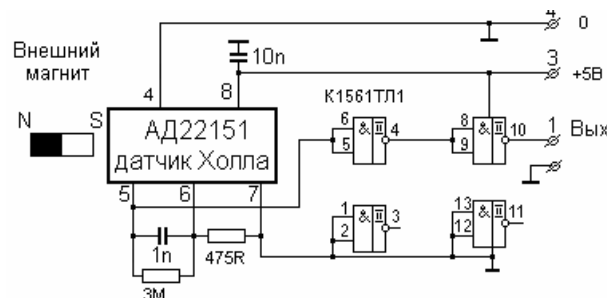


Рис. 1. Схема датчика вращения

УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ

На этапе отработки способа измерения применена схема измерительного блока одноканальной системы регистрации положения КС, представленная на рис. 2.

В состав системы входят два датчика вращения вала, измерительный блок с корректором и цифровым индикатором, а также блок цифроаналогового преобразования.

По результатам опытной эксплуатации система регистрации положения стержня признана пригодной к работе, после чего было принято решение распространить ее на все ИМ КС (КСЦ, КС1–КС18).

Структурная схема и размещение измерительной системы регистрации положения всех стержней КС (КСЦ, КС1–КС18) приведены на рис. 3.

Каждый (из 19) измерительный канал выполнен на одной микросхеме – пик-контроллере PIC16F84. Импульсы с датчика вращения Д1 подаются на его счетный вход для определения числа импульсов, а по показаниям датчика Д2 в пик-контроллере определяется направление вращения. Измеренное число импульсов, пропорциональное числу оборотов ротора ЭД, посылается в формирователь ко-



Рис. 2. Структурная схема блока измерения: Дат. 1, Дат. 2 – датчики вращения; PIC – контроллер; Рг.Х – регистр хранения; ЦАП – цифроаналоговый преобразователь; НП – нормирующий преобразователь; ИВС – измерительно-вычислительная система

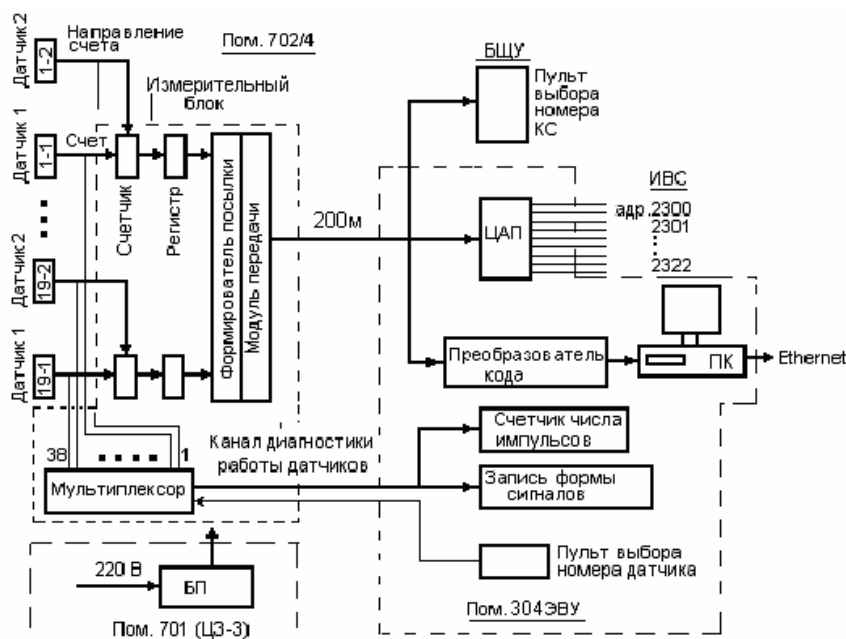


Рис. 3. Структурная схема и размещение цифровой системы регистрации положения КС

довой посылки, выполненный на пикконтроллере PIC16F877. Сформированная кодовая посылка поступает в модуль передачи данных.

Посылка содержит номера каналов и соответствующую информацию о положении стержней. Кодовая посылка из накопителя передается по четырехпроводной линии на пульт выбора номера КС и текущей информации по нему. Кроме того, кодовая посылка поступает на каналные цифроаналоговые преобразователи (ЦАП). Каждый канал состоит из цифроаналогового преобразователя, собранного на микросхеме AD420N, и усилителя с гальванической развязкой ISO124. Для питания выходного каскада ISO124 используется преобразователь напряжения HRR117. Нормирование выходного сигнала осуществляется делителем выходного напряжения ЦАП AD420N. Величина выходного напряжения каждого канала нормирована в диапазоне 0–5 В на перемещение 0 – 1000 мм. Аналоговые сигналы 0–5 В с ЦАП подаются на измерительно-вычислительную систему блока № 3 (ИВС).

Параллельно с поступлением на БЩУ и ИВС информация подается также на персональный компьютер для регистрации в цифровой форме. Скорость измерения и регистрации перемещения штанги (стержня компенсации) равна 10 изм./с. При скорости движения штанги 5 мм/с разрешение составляет 0.5 мм.

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ РЕГИСТРАЦИИ

Для настройки измерительных каналов системы разработана методика, основанная на использовании лазерного дальномера.

При проведении первичной калибровки на стенде контрольной проверки ИМ СУЗ была измерена характеристика связи числа оборотов и перемещения штанги.

Установлено, что число датчиков вращения импульсов за время перемещения штанги на 1 мм равно 8,98, а погрешность цифровой измерительной системы в диапазоне перемещения штанги между нижним и верхним концевиками не превышает погрешности лазерного дальномера, равной ± 1 мм. Отклонения показаний разработанной системы (ЦСРП) от показаний лазерного дальномера в различных точках диапазона измерения находятся в пределах дискретности показаний лазерного дальномера (± 1 мм). В то же самое время отклонения показаний штатной системы находятся в пределах паспортной погрешности штатной системы (± 20 мм).

В процессе опытной эксплуатации системы установлено, что цифровая информация после проведения перекомпенсации сохраняется неизменной в каждом канале измерительного блока и на пульте выбора номера КС, не подвергаясь изменению до поступления новой информации (при очередной перекомпенсации). Таким образом, можно сделать вывод, что помехозащищенность датчиков вращения, измерительного блока и линий связи с пультом выбора номера КС на БЩУ достаточно высокая.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Информация по каждому каналу регистрации положения штанг (стержней) СУЗ присутствует постоянно во всех режимах работы реактора БН-600 (включая ППР).

Она представлена

- на ИВС в бланке «Положение рабочих органов СУЗ» в табличной форме и в виде графиков;
- на БЩУ у оператора на пульте выбора номера КС и текущей информации по нему в цифровом виде. Дискретность представления – 0,1 мм.

Для удобства работы оператора разработан слайд (рис. 4), на котором представлено высотное распределение перемещений стержней КС и АР, указаны сред-

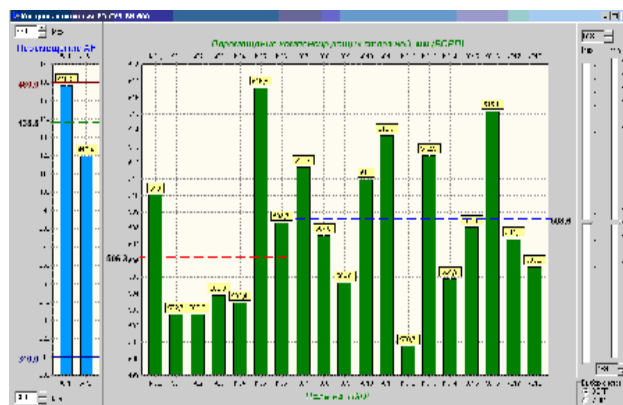


Рис. 4. Положение РО СУЗ реактора БН-600

ние значения положения внутреннего и внешнего колец регулирующих стержней по измерениям с помощью цифровой измерительной системы регистрации положения КС. Показано также среднее положение АР. Масштабы представления КС и АР могут быть изменены пользователем. Слайд способствует повышению точности вывода стержней КС на заданные уровни при проведении перекомпенсаций и перемещениях стержней, снижению затрат времени на выполнение операций по перемещению стержней КС, помогает оператору держать заданное высотное распределение стержней КС. Кроме того, слайд дает возможность оценивать время наступления очередной перекомпенсации по положениям стержней регулирования АР1 и АР2.

МОНИТОРИНГ РАБОТЫ СИСТЕМЫ

- Параллельно с работающим измерительным блоком постоянно включена схема коммутации выходных сигналов датчиков вращения для регистрации их в аналоговом виде на измерительной системе «Reallab». В этом случае возможен контроль работы датчиков вращения и работы каждого канала измерительного блока, а также возможен подсчет числа импульсов за время перемещения и пересчет их в перемещение стержня КС.

- В измерительном блоке установлен сдвиговый регистр, на параллельные входы которого поданы сигналы с выходов датчиков вращения. Состояние датчиков сканируется с частотой 1000 Гц и подается в персональный компьютер. Создав программу анализа приходящей информации, можно вычислять положение стержней даже при выходе из строя измерительного блока. Кроме того имеется возможность определения в любое время характеристик сигналов с датчиков вращения (величины напряжения сигналов, перекрытие сигналов датчиков Д1 и Д2, их формы и др.). При этом каждый импульс (его период равен 20 миллисекундам) регистрируется двадцатью точками. Это позволяет надежно регистрировать формы импульсов и сдвиг их фаз.

Для оперативного контроля состояния канала при перемещении стержня (подсчета числа импульсов) параллельно входу быстродействующей системы подключен счетчик числа импульсов с индикатором.

В случае выхода из строя измерительного блока ЦСРП контроль перемещения стержня можно выполнить с помощью системы.

В мае 2008 г. измерительный блок №1 ЦСРП с программным обеспечением (ПО) версии 1 был заменен блоком № 2 с программным обеспечением версии 2, в котором добавлены функции аварийной регистрации параметров.

С июля 2008 г. в измерительном блоке № 2 произведена замена ПО версии 2 на ПО версии 3. Данная версия обеспечивает все заложенные функции, обеспечивает устойчивую работу измерительного блока. Отмечено, что с июля 2008 г. по настоящее время (март 2009 г.) не было ни одного сбоя информации. Во время сцепления, выхода на МКУ, проведения программы взвешивания и других перемещениях штанг и штанг со стержнями не проводилась корректировка нуля на НЖУ или любая другая коррекция результата.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ

Характеристика измерительного блока:

- диапазон контролируемого перемещения стержня, мм	0 – 999,9;
- число каналов измерения (число стержней), шт.	19;
- количество датчиков вращения в канале измерения, шт.	2;
- скорость измерения по каждому каналу, изм./с	10;
- чувствительность перемещения стержня, мм	0,1;
- чувствительность перемещения при движении стержня, мм	0,5
- скорость передачи информации измерительным блоком, бод	128000;
- напряжение питания, В	220;
- потребляемая мощность измерительного блока, Вт	2;
- удаленность блока питания от измерительного блока, м	70;
- погрешность измерения положения КС, мм	± 3,0.

Характеристика датчика вращения:

- тип датчика вращения	датчик Холла
- ток потребления датчиком, мА	5;
- напряжение выходного сигнала датчика, В	5;
- частота следования импульсов, Гц	0 – 50;
- порог чувствительности, мм/импульс	0,11136;
- удаленность датчиков вращения от измерительного блока, м	8.

Характеристика ЦАП:

- число двоичных разрядов ЦАП (AD-420)	16;
- количество аналоговых выходов ЦАП, шт.	19;
- напряжение выходного сигнала с ЦАП на ИВС, В	0 – 5;
- удаление ЦАП от измерительного блока, м	200;
- удаление ЦАП от ИВС, м	45;
- дополнительная погрешность измерения ИВС, мм	±1,5

Характеристика блока выбора номера КС на БЩУ:

- число десятичных разрядов индикатора на БЩУ, шт.	4;
- дискретность измерения на БЩУ, мм	±0,1;
- удаленность блока выбора от измерительного блока, м	310;
- скорость регистрации по каждому каналу, изм./с	10;
- скорость передачи информации, бод	128000;
- удаленность блока контроля от ПК, м	200.

ВЫВОДЫ

1. Разработана цифровая система регистрации положения стержней компенсации, которая имеет необходимые функции: определение направления вращения (направления перемещения штанги), измерение числа оборотов вала ЭД, регистрация результата измерения, преобразование и выдача информации на ИВС и БЩУ, коррекция информации, сохранение ее после потери питания, контроль исправности датчиков вращения и измерительного блока.

2. Информация по каждому каналу регистрации положения штанг (стержней) компенсации присутствует постоянно во всех режимах работы реактора БН-600.

3. Погрешность ЦСРП в диапазоне между нижним и верхним концевиками составляет величину ± 1 мм. Показания измерительного блока в промежутках между перекомпенсациями не изменяются (на БЩУ). Уровень разброса показаний в сети ИВС находятся в пределах $\pm 1,8$ мм во всем диапазоне измерений. Разброс обусловлен погрешностью ИВС.

4. Введение системы диагностики работоспособности каналов системы позволило осуществлять контроль состояния датчиков, измерительных каналов и перемещения стержней СУЗ во всех эксплуатационных режимах реакторной установки.

5. За время опытной эксплуатации ЦСРП с июля 2007 г. по март 2009 г. не было отмечено ни одного срабатывания моментных муфт ИМ КС при нахождении штанг выше НК, что позволяет использовать ЦСРП при эксплуатации исправных ИМ КС в существующем варианте.

Литература

1. Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений. – Э., 1987. – С. 40.

Поступила в редакцию 27.04.2009

(Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 4 tables, 1 illustration. – References, 9 titles.

For nearly 30-year history of the Beloyarsk NPP BN600 reactor operation a complex of the calculational and experimental measures to monitor the neutron characteristics of the reactor core has been worked through. Nevertheless undoubtedly the development of the acceptable methods of the monitoring of neutron characteristics is an important task for ensuring the reliable and safe operation of the BN600 reactor.

This paper presents the rationale of the additional method of the determination of the anticipated position of shimrod KS1-18 under the critical conditions after reload of the core components on the basis of the experimental data for the period from cycle 39 to cycle 56. In combination with the existing method the above-mentioned method allows one to reliably determine the position of shimrod KS1-18 under the critical conditions, improve safety and efficiency of the BN600 reactor operation.

УДК 621.039.56

Determination of the worth of the Beloyarsk NPP BN600 reactor control rods taking into account the power reactivity effect/A.A. Ivanov, S.Yu. Mitrofanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 4 pages, 1 table, 2 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents both the results of the determination of the worth of the control rods taking into account the power reactivity effect as of the beginning of cycle 56 and the influence of the power reactivity effect on the integral characterization of the bank of the shimrod rods.

УДК 621.039.56

Use of the Pulse Circuit of the Reactivity Monitoring during the Beloyarsk NPP BN-600 Reactor Neutron Measurements/A.A. Ivanov, S.Yu. Mitrofanov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 9 pages, 3 tables, 5 illustrations. – References, 3 titles.

The article presents both the procedure of introducing the dead time correction for fulfilment of the neutron measurements and the results of the determination of the control rod worth using the pulse circuit of the reactivity monitoring.

УДК 621.039.526: 621.039.51

Simplified Methodology of the Calculation of the Physical Characteristics of the Irradiated BN-600 Reactor Europium Control Rods/A.I. Karpenko, V.I. Ogleznev, A.M. Tuchkov, I.A. Chernov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 6 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 4 titles.

On the basis of the experience of the calculation of the physical characteristics of the spent control rods with the europium absorbers of the BN600 reactor the simplified methodology for the quick evaluation of the main characteristics of these rods has been developed. This methodology can be applied for the evaluation of the physical characteristics of the europium control rods not only of the BN600 reactor but also other fast reactors (including those under design).

УДК 621.039.564

The System of the Recording of the Position of the Control Rods without the use of the Selsyns/N.N. Oshkanov, O.A. Potapov, Yu.V. Nosov, M.T. Telichko, A.P. Yuzhakov, I.S. Pomortsev; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2009. – 7 pages, 4 illustrations. – References, 1 title.

The design of the system of the recording of the control rod position without use of the selsyns, its technical characteristics as well as the monitoring of the system operation are presented. The accuracy of the measurements is evaluated. The forms and ways of the presentation of the information on the control rod positions are shown. The results of the trial operation for two years show the possibility to use the existing modification of the system.