

Экспериментальное исследование влияния электромагнитных полей на цифровые датчики температуры с однопроводными линиями связи для изучения возможности их использования в системах контроля на АЭС

Быковский Ю. М.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5769-5654>

Левченко В. В.

ОП «Запорожская АЭС», г. Энергодар, Украина

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0391-9907>

Погосов А. Ю.

Одесский национальный политехнический университет, г. Одесса, Украина

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1942-2612>

Рассматриваются вопросы, связанные с внедрением новых технологий управления и контроля температуры на АЭС, поскольку продление срока службы энергоблоков напрямую зависит от надежности контролируемых средств контроля технологического процесса. Перспективно строить информационно-вычислительные комплексы с использованием однопроводных технологий, поскольку эксплуатация средств удаления и передачи информации должна осуществляться в условиях пространственного ограничения расположения кабельных сетей и использования однопроводных. Технологии позволяют легко построить измерительную сеть самой сложной топологии. Предлагается использовать в составе испытательного оборудования атомных станций универсальные цифровые первичные измерительные преобразователи типа DS18B20. В связи с этим, научно-технический интерес представляет новый подход к измерению температурных полей на основе технологии 1-Wire.

В качестве источника переменного электромагнитного поля, имитирующего условия работы оборудования АЭС, было предложено использовать устройство размагничивания УР-1, и было проведено исследование для визуализации генерируемых электромагнитных полей. Датчик Холла используется в качестве устройства для измерения исследуемых полей.

Ключевые слова: АЭС, модернизация оборудования, влияние магнитного поля, мониторинг и контроль, измерения температуры, цифровой термодатчик.

© Быковский Ю. М., Левченко В. В., Погосов А. Ю., 2019

В настоящее время проектный срок эксплуатации многих энергоблоков атомных электрических станций Украины близится к своему завершению. Тем не менее, как показывает мировая практика и опыт эксплуатации отечественных АЭС, назначенный срок эксплуатации энергоблоков может быть продлен ещё на 10 — 20 лет. Главным условием для этого является соответствующее состояние ядерного реактора (как незаменимого фрагмента реакторной установки) и своевременное проведение мероприятий по модернизации оборудования энергоблока.

Во многом эффективность своевременной модернизации и управления жизненным циклом энергоблока зависит от надёжности применяемых средств мониторинга за состоянием технологического оборудования. Поэтому при решении задачи продления срока службы энергоблоков АЭС особое внимание должно уделяться модернизации систем получения и анализа первичной измерительной информации о состоянии оборудования и технологических условиях его эксплуатации с применением автоматизации, что возможно на основе внедрения последних достижений в области современной микросхемотехники в области средств измерений параметров технологических процессов [1,2].

Одним из перспективных путей внедрения на АЭС новых технологий контроля и мониторинга является построение информационно-вычислительных комплексов с использованием однопроводных технологий, поскольку функционирование средств съёма и передачи информации должно осуществляться в условиях пространственных ограничений расположения кабельных проводок. В настоящее время на объектах атомной энергетики нашей страны однопроводные сети пока не нашли должного применения. Есть основания полагать, что с учётом изложенного, изучение возможностей применения элементов реализации современных цифровых технологий в составе аппаратуры информационного обеспечения и программно-технических комплексов анализа технологической информации, может быть использовано при модернизации средств автоматизации контроля и мониторинга на АЭС. Совершенствование информационно-измерительных систем АЭС позволит повысить качество управления сложнейшими технологическими процессами и будет способствовать правильному и своевременному принятию решений по части модернизации основного и вспомогательного оборудования при решении важной практической задачи продления ресурса эксплуатации энергоустановок.

Температурные показатели технологических процессов на АЭС относятся к важнейшим параметрам, подлежащим контролю и анализу. Оперативная и надёжная передача информации, о значениях температуры, в различных элементах технологических устройств и аппаратов при помощи электрических сигналов является сложной научно-технической задачей. В этом плане научный и технический интерес представляет новый подход к измерению температурных полей на основе технологии 1-Wire с использованием первичных измерительных преобразователей цифрового типа DS18B20. Концепция такого решения, применительно к цифровому датчику температуры DS18B20, наиболее распространённому, из числа ныне приемлемых, рассмотрена в работе [3].

В отличие от традиционных и более простых по конструкции датчиков температуры на основе термопар и термопреобразователей сопротивлений, цифровой датчик представляет собой более сложное (но при этом более точное, что важно для корректного анализа) электронное устройство, на работу которого могут некоторым — до проведения

наших исследований не вполне ясным — образом оказать влияние различные внешние факторы, в том числе, например, электромагнитное поле.

Целью исследований является анализ возможности применения температурных датчиков-формирователей цифровых электрических сигналов при воздействии электромагнитных полей на основе технологии передачи информации по однопроводным линиям связи в условиях эксплуатации оборудования АЭС для модернизации информационно-вычислительных комплексов сопровождения эксплуатации атомных энергоблоков.

Для достижения поставленной цели решается задача: выполнить экспериментальный анализ физической реакции рассматриваемого цифрового датчика температуры на внешнее электромагнитное воздействие.

Анализ известных публикаций

Как известно, работа любых электрических машин, применяемых на АЭС (генераторов, двигателей), а также питающих шин и кабелей, сопровождается возникновением вокруг них электромагнитных полей различной интенсивности. Поэтому, размещение цифровых датчиков в зоне действия этих полей может привести к искажениям и даже полной потере полезной измерительной информации. Из числа наиболее известных и практически используемых в промышленности цифровых датчиков температуры наибольшее распространение получил датчик DS18B20 [4], однако в штатном (паспортном) описании датчика и доступных источниках научно-технической информации [5,6] сведения о влиянии электромагнитного поля на работу такого датчика отсутствуют. Это положение дел привело к необходимости провести соответствующее самостоятельное (независимое) исследование.

Для подготовки к выполнению данного исследования ранее была разработана методика оценки постоянного и переменного электромагнитных полей в области размещения датчика [7]. Эта методика послужила основой для проведения описанных далее экспериментов.

Исследование источника электромагнитного поля для стендовых экспериментальных исследований

В качестве источника переменного электромагнитного поля, моделирующего электромагнитные поля в условиях работы оборудования АЭС, было использовано устройство размагничивания УР-1 [8], изображения которого приведены на рисунке 1.

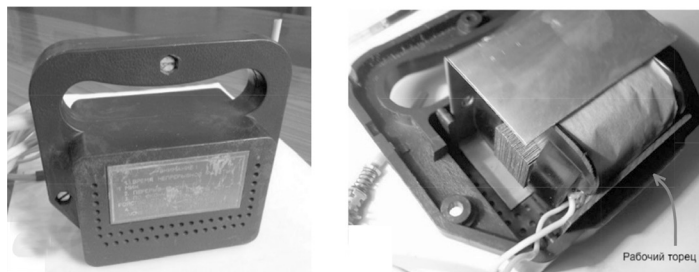
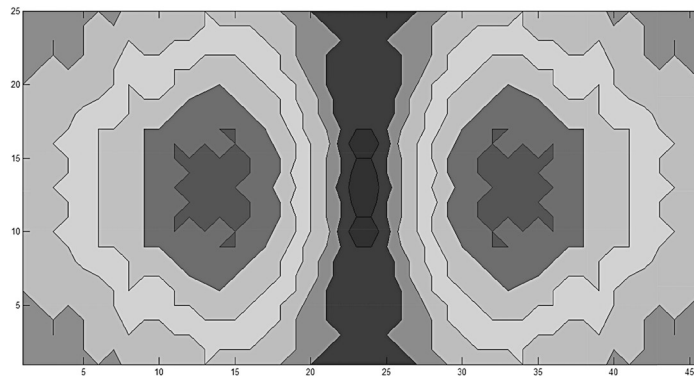
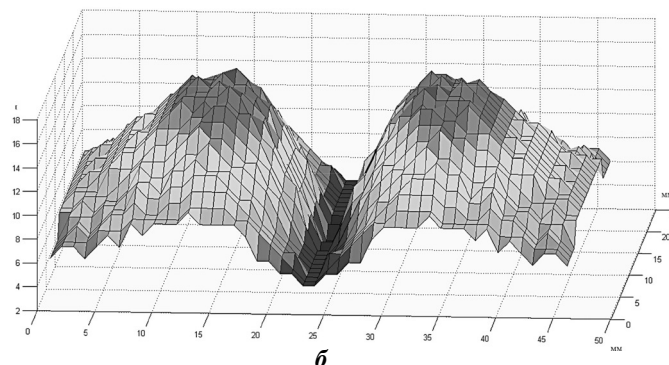


Рисунок 1 — Устройство размагничивания:
а — внешний вид; б — конструкция электромагнитной системы



а



б

Рисунок 2 — Электромагнитное поле создаваемое дросселем:
а — вид в плане; б — трехмерное изображение

Устройство, индуцирующее электромагнитное поле, представляет собой колебательный контур, настроенный на частоту $f=50$ Гц. Индуктивность этого контура обеспечивает электромагнитный дроссель с незамкнутой магнитной цепью. При включении установки в сеть питания над полюсами дросселя возникает мощное поле рассеяния, которое мы использовали в ходе экспериментов для решения поставленной задачи.

При проведении экспериментов были внесены следующие изменения в схемы стандартных конструкций:

- из устройства УР-1 был извлечён дроссель — для жёсткого закрепления и точного позиционирования в пространстве по отношению к осям координат;
- кнопка «Вкл.» была вынесена на удобное расстояние — что значительно ускорило процесс выполнения измерений и уменьшило антропогенную погрешность, вносимую исследователем.

Дроссель размагничивания был жёстко закреплён над исследуемой областью расположения датчика температуры на высоте 150 мм. Вся поверхность была разбита на одинаковые квадраты размером 10×10 мм, общий размер поверхности составил 250×500 мм. Согласно алгоритму метода, подробно описанном в [8], были выполнены измерения параметров поля дросселя с использованием датчика Холла [9], графическое изображение полученных результатов отражено на рисунке 2.

Из графиков видна почти полная симметрия полей, создаваемых торцами дросселя. Для пунктуального анализа было исследовано поле, создаваемое вокруг дросселя при вертикальном и горизонтальном его расположении. Для этого дроссель был размещён в центре окружности, связанной с отмеченной на ней полярной системой

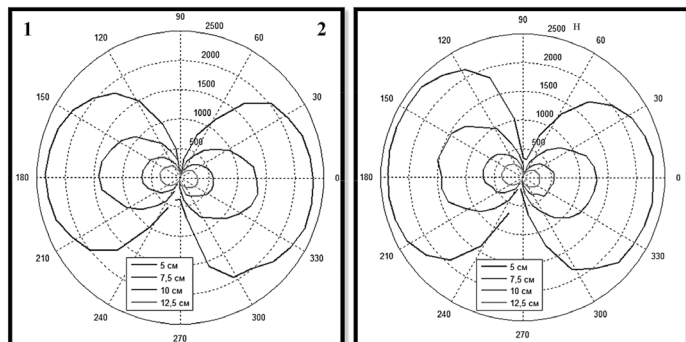


Рисунок 3 — Электромагнитное поле в зависимости от расположения дросселя: 1 — горизонтально; 2 — вертикально

координат. На рисунке 3 графически представлены полученные результаты измерений.

Экспериментальные данные, отображенные на рисунках 2 и 3, позволяют достаточно точно, на наш взгляд, позиционировать (ориентировать) поле необходимой интенсивности в исследуемую область пространства, в нашем случае — на датчик DS18B20, выбранный как исследуемый объект для оценки его физической (сигнальной) реакции.

Исследование влияния электромагнитного поля на цифровой датчик

Для экспериментальной оценки влияния внешнего поля на работу исследуемого температурного датчика была разработана исследовательская стендовая установка, схема которой представлена на рисунке 4.

Как показано на рисунке 4, магнито-чувствительный датчик Холла и исследуемый датчик температуры DS18B20 располагаются в геометрическом центре катушки индуктивности и в непосредственной близости друг от друга. Как было показано в работе [7], напряжённость поля в месте установки датчика может быть определена теоретически выражением:

$$H_{\max} = \frac{N}{L} I_{\text{кат}} \left[1 + \left(\frac{D}{L} \right)^2 \right]^{-1/2},$$

где D и L — геометрические параметры катушки индуктивности;

N — число витков катушки индуктивности;

$I_{\text{КАТ}}$ — сила тока, протекающего через катушку индуктивности.

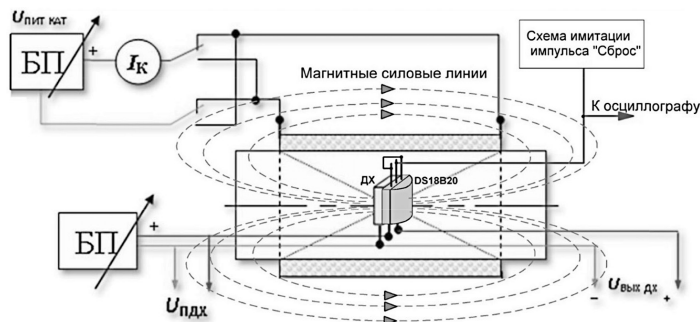


Рисунок 4 — Схема стендовой экспериментальной установки для исследования влияния электромагнитного поля на цифровой датчик температуры DS18B20

Важно отметить, что питание катушки в случае создания постоянного магнитного поля осуществлялось от регулируемого стабилизированного источника постоянного тока, что позволило провести исследования при различных фиксированных значениях токов, протекающих через катушку. Кроме того, в эксперименте была предусмотрена возможность определения направления протекания тока в катушке для оценки магнитной асимметрии датчика, а также для изменения напряжения питания датчика Холла в пределах от 4,5 В до 10,5 В. В итоге, по результатам эксперимента, нами была получена эмпирическая зависимость $H_{\text{МП}} = f(U_{\text{ПИТ ДХ}}, U_{\text{ВЫХ ДХ}})$ вида:

$$H_{\text{МП}} = \frac{9123}{4,16 \cdot \ln(U_{\text{ПИТ ДХ}}) + 0,593 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}} - 3,14} \times \left(U_{\text{ВЫХ ДХ}} - \sqrt{0,308 \cdot U_{\text{ПИТ ДХ}}^2 - 2,7} \right).$$

Данное соотношение позволяет с помощью датчика Холла оценивать в любой точке пространства параметры поля независимо от его источника, что нам дало возможность провести в этих условиях исследование поведения (реакции на внешний фактор) интересующего нас в рамках решаемой задачи датчика температуры.

В качестве информационного признака, характеризующего реакцию электронной схемы исследуемого образца — датчика DS18B20, была принята девиация заднего фронта первого импульса отклика датчика на запрос управляющей программы от персонального компьютера в составе экспериментального стенда, подробно исследованная и описанная в работах [10, 11]. Осциллограмма репрезентативной области сигнала, выделена на рисунке 5.

Для анализа реакции цифрового датчика температуры на внешнее поле, была проведена серия опытов по воздействию поля на различные стороны (грани) датчика, схематично показанные, на рисунке 6.

Оценка параметров поля производилась на основе анализа выходного сигнала датчика Холла. Обработка полученных результатов выполнялась в программной среде Matlab. При детальном рассмотрении импульсов сигнального отклика датчика можно видеть, что их длительности

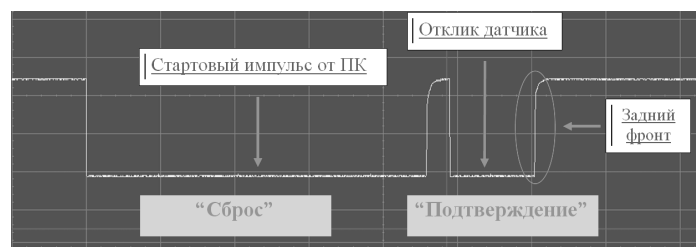


Рисунок 5 — Осциллограммы первого отклика датчика на запрос от ПК

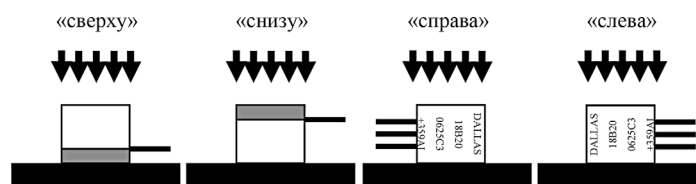


Рисунок 6 — Схема воздействий магнитным полем на датчик

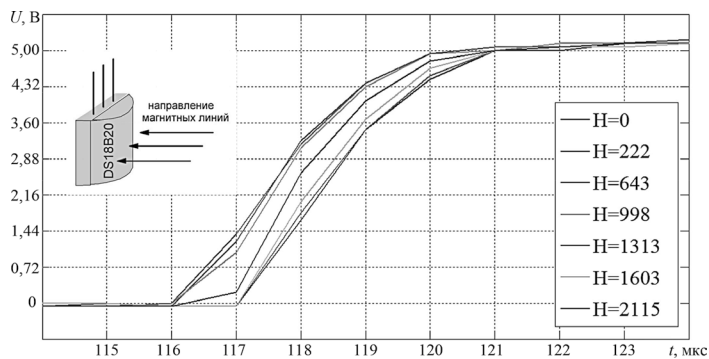


Рисунок 7 – Отклик от направленного воздействия поля на выпуклую сторону

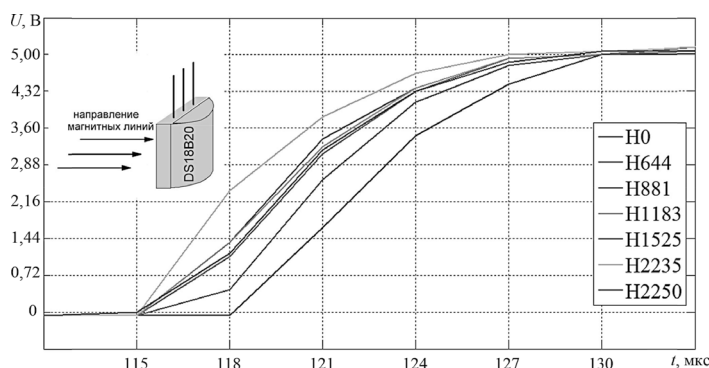


Рисунок 8 – Отклик от направленного воздействия поля на большую грань

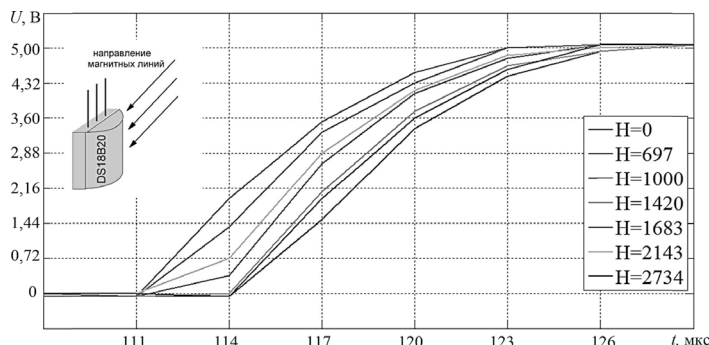


Рисунок 9 – Отклик от направленного воздействия поля на «левую» грань (грань)

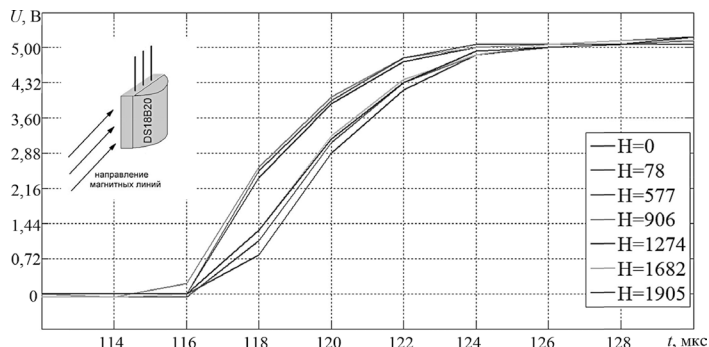


Рисунок 10 – Отклик от направленного воздействия поля на «правую» грань

различны, поэтому полученные осциллограммы, для общности, были приведены к общему началу координат.

Результаты экспериментальных исследований по воздействию электромагнитного поля на различные стороны температурного датчика показаны на рисунках 7–10. На этих рисунках, для ясности, изображён только задний (значимый) фронт сигнала, являющегося откликом датчика.

Результаты экспериментальных исследований, представленные с помощью предложенного нами для данных исследований и описанного выше удобного метода визуализации, обобщены в выводах, которые приведены ниже.

Выводы

Выявленные опытным путем флуктуации длительности измерительного сигнала (отклика) температурного датчика типа DS18B20 свидетельствуют о чувствительности его внутренней структуры к изменениям внешнего электромагнитного поля. Однако сохранение работоспособности датчика (полное совпадение его измерительного сигнала с показаниями контрольного датчика, не испытывающего воздействие поля) вплоть до значения напряженности магнитной составляющей $H = 2700$ А/м, существенно превышающего стандартные (нормируемые) значения для производственных помещений, свидетельствует о незначительности этого внешнего фактора в реальных условиях производства электроэнергии на АЭС, а следовательно — о допустимости применения цифровых датчиков температуры типа DS18B20 в системах контроля и мониторинга атомных станций.

Таким образом, на основе технологии передачи информации по однопроводным линиям связи, в условиях эксплуатации оборудования АЭС, для модернизации информационно-вычислительных комплексов сопровождения эксплуатации атомных энергоблоков, могут быть применены цифровые датчики температуры, дополняющие используемые ныне средства измерений — для оценки параметров процессов и состояний вспомогательного технологического оборудования в целях информационно обеспеченного принятия решений о продлении назначенного срока службы того или иного энергоблока АЭС.

Список использованной литературы

- Ухина А. В., Биленко А. А., Ситников В. С. Повышение эффективности программно-технических комплексов в АСУ ТП АЭС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2016. № 3 (71). С. 71–76.
- Елисеев В. В., Пивоваров Г. Ю., Герасименко К. Е. Опыт реализации управляющих систем безопасности и нормальной эксплуатации энергоблоков АЭС. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2016. № 3 (71). С. 65–70.
- Быковский Ю. М., Левченко В. В. К оценке возможности применения цифровых датчиков в каналах измерения температуры на АЭС Украины. *Сборник научных трудов СХУЯЭиП*. 2010. № 3 (35). С. 9–15.
- DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>
- 1-Wire Devices. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/one-wire.html>
- Компьютерный термометр с датчиками DS18S20/B20. URL: <http://digit-el.com/files/open/ds18x20/ds18x20.html>
- Быковский Ю. М., Левченко В. В. Разработка метода оценки параметров распределённого магнитного поля с помощью датчика

Холла. *Збірник наукових праць. Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного*. 2012. № 1 (13). С.75 – 83

8. Устройство размагничивающее УР-1. Руководство по технической эксплуатации 6Л3.990.000.РЭ

9. Датчик Холла. Общее описание. URL: <http://d.17-71.com/2010/02/11/datchik-xolla-obshhee-opisanie/>

10. Быковский Ю. М., Левченко В. В. Анализ поведения цифрового датчика температуры DS18B20 при изменении давления на его корпус. *Сборник научных трудов СНУЯЭиП*. 2014. № 1(49). С. 179–189

11. Способ диагностирования состояния цифрового интеллектуального датчика: пат. № 110811, Украина.

References

1. Ukhina, A., Bilenko, A., Sitnikov, V. (2016). Increasing the efficiency of software and hardware in the automated process control system of nuclear power plants. *Nuclear and Radiation Safety*, 3(71), pp. 71–76.

2. Eliseev, V., Pivovarov, G., Gerasimenko, K. (2016). Experience in implementing control safety systems and normal operation of NPP power units. *Nuclear and Radiation Safety*, 3(71), pp. 65–70.

3. Bykovsky, Yu., Levchenko, V. (2010). To the assessment of the possibility of using digital sensors in the temperature measurement channels at Ukrainian NPPs. *Collection of scientific works SNUAEiP*, 3(35), pp. 9–15.

4. DS18B20 programmable resolution 1-wire digital thermometer. Retrieved from: <https://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html>

5. 1-Wire Devices. Retrieved from: <https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/one-wire.html>

6. Computer thermometer with sensors DS18S20/B20. Retrieved from: <http://digit-el.com/files/open/ds18x20/ds18x20.html>

7. Bykovsky, Yu., Levchenko V. (2012). Development of a method for estimating the parameters of a distributed magnetic field using a Hall sensor. *Collection of scientific works Kyiv State Academy of Water Transport named after Hetman Petr Konashevich-Sagaidachny*, 1(13), pp. 75–83.

8. The device demagnetizing UR-1 Manual on technical operation 6Л3.990.000.РЕ.

9. Hall sensor. General description. Retrieved from: <http://d.17-71.com/2010/02/11/datchik-xolla-obshhee-opisanie/>

10. Bykovsky, Yu., Levchenko, V. (2014). Analysis of the behavior of the DS18B20 digital temperature sensor when the pressure on its housing changes. *Collection of scientific works SNUAEiP*, 1(49), pp. 179–189.

11. Bykovsky, Yu., Levchenko, V. (2016). Pat. No. 110811, Ukraine.

Experimental Research of Electromagnetic Field Influence on Digital Temperature Sensors with Single-Wire Lines to Study Possibility of Their Use in NPP Control Systems

Bykovsky Yu., Levchenko V¹., Pogosov O².

¹Zaporizhzhya NPP, Enerhodar, Ukraine

²Odesa National Polytechnic University, Odesa, Ukraine

Issues related to the introduction of new control technologies and temperature monitoring at NPPs are being considered, since NPP long-term operation depends on the reliability of process control means. It is promising to build instrumentation and control complexes using one-wire technologies, since the operation information removal and transmission means should be carried out under the conditions of spatial constraints on the location of cabling. One-wire technologies make it easy to build a measurement network of the most complex topology. It is proposed to use DS18B20 universal digital primary measuring transducers as NPP testing equipment. In this regard, scientific and technical interest is a new approach to the measurement of temperature fields based on 1-Wire technology.

It was proposed to use UR-1 demagnetizer as a source of a variable electromagnetic field imitating NPP equipment operating conditions. The paper also presents a study for visualization of the generated electromagnetic fields. A Hall sensor is used for measuring the fields under consideration.

The proposed method can be used to conduct other similar studies to assess the response of temperature sensors (or other digital sensors) to an external magnetic field. A visualization method is used to evaluate the informational function and a conclusion is made about the applicability of such sensors in the systems of metrological control and monitoring of NPP auxiliary equipment.

Keywords: nuclear power plant, equipment modernization, magnetic field influence, monitoring and control, temperature measurement, digital thermal sensor.

Експериментальне дослідження впливу електромагнітних полів на цифрові датчики температури з однострунковими лініями зв'язку для вивчення можливості їх використання в системах контролю на АЕС

Быковский Ю. М., Левченко В. В¹., Погосов О. Ю².

¹ВП «Запорізька АЕС», м. Енергодар, Україна

²Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна

Розглядаються питання, пов'язані з умовами застосування в складі контрольно-вимірювальної апаратури АЕС універсальних цифрових первинних вимірювальних перетворювачів типу DS18B20 з оцінкою реакції цих датчиків температури на вплив зовнішнього електромагнітного поля. Встановлено, що перспективним є побудова інформаційно-обчислювальних комплексів з використанням цифрових однопровідних технологій, оскільки функціонування засобів аналізу та передачі інформації повинно здійснюватися в умовах просторового обмеження розташування кабельних мереж та використання обмеженого числа каналів сигнального зв'язку.

Технології, що пропонуються, дозволяють легко побудувати вимірювальну мережу найскладнішої топології, що може забезпечити важливу сигнальну інформацію. Відповідно, науково-технічний інтерес представляє новий підхід до вимірювання температурних полів на основі технології 1-Wire. Можливості використання датчиків під дією електромагнітних полів досліджено в ході лабораторних експериментів, в яких у якості джерела змінного електромагнітного поля, що імітує умови експлуатації обладнання атомних електростанцій, було запропоновано використовувати удосконалений пристрій розмагничування УР-1.

Також було проведено дослідження можливості візуалізації електромагнітних полів. Під час експериментів використовувався датчик Холла як пристрій для вимірювання параметрів досліджуваних полів, що діяли на первинний вимірювальний термоелектричний перетворювач. Зроблено висновок про можливість застосування подібних датчиків в системах метрологічного контролю і моніторингу допоміжного обладнання АЕС.

Ключові слова: АЕС, модернізація обладнання, вплив магнітного поля, моніторинг і контроль, вимірювання температури, цифровий термодатчик

Отримано 28.07.2018