

УДК 621.039.4

## ПОСТРОЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ АЭС БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ С УЧЕТОМ ПРОЕКТНЫХ ТРЕБОВАНИЙ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

© 2022 г. Е. М. Ветошкин<sup>а</sup>, А. С. Гордеев<sup>а, \*</sup>, А. А. Иванов<sup>а</sup>,  
А. В. Калинин<sup>а</sup>, Р. А. Насибуллин<sup>а</sup>, С. Б. Чебышов<sup>а</sup>, И. И. Черкашин<sup>а</sup>

<sup>а</sup>АО «Специализированный научно-исследовательский институт приборостроения», Москва, 123060 Россия

\*E-mail: AnSerGordeev@sniip.ru

Поступила в редакцию 11.07.2022 г.

После доработки 11.07.2022 г.

Принята к публикации 18.07.2022 г.

Представлен обзор по номенклатуре и основным техническим требованиям, предъявляемым к программно-техническим средствам радиационного контроля для построения стационарных измерительных каналов, применяемых в составе информационно-измерительных систем на АЭС большой мощности завершённых и реализуемых в настоящее время проектов российского дизайна. Выполнено сравнение эксплуатационных и метрологических характеристик представленного на рынке оборудования автоматизированных систем радиационного контроля в сопоставлении с проектными требованиями. Сделаны обобщающие выводы о перспективах развития направления радиационного контроля с учетом дальнейшего совершенствования аппаратуры и опыта создания и ввода в действие АСУТП АЭС при их сооружении и модернизации.

*Ключевые слова:* радиационный контроль, радиационный мониторинг, автоматизированные системы радиационного контроля, радиационная безопасность, устройства детектирования, блоки детектирования

DOI: 10.56304/S207956292203054X

### ВВЕДЕНИЕ

Настоящий период развития атомной энергетики и промышленности во всем мире характеризуется интенсивно проводимыми работами по проектированию, сооружению и продлению сроков эксплуатации АЭС большой мощности. При этом безусловный приоритет на этапе выбора и реализации организационных и технических решений отдается вопросам безопасности объектов использования атомной энергии, включая все возможные аспекты ядерной и радиационной безопасности.

Основными инструментами, обеспечивающими радиационную безопасность АЭС, являются автоматизированные системы радиационного контроля (АСРК), предназначенные для получения, сбора, обработки, регистрации и представления информации о параметрах, характеризующих радиационное состояние энергоблоков и сооружений АЭС и окружающей среды при всех режимах работы, включая проектные аварии, а также о состоянии объектов при выводе их из эксплуатации.

АСРК является одной из подсистем АСУТП АЭС и на нее распространяются все требования к

метрологическому обеспечению, предъявляемые к оборудованию важному для безопасности. При этом имеются специфические особенности, характерные для АСРК: широкие диапазоны измерений (до 15 десятичных порядков) с нормированной погрешностью во всем диапазоне; необходимость использования источников ионизирующих излучений (ИИИ) для проведения метрологического обслуживания оборудования (поверки); режимы функционирования оборудования связаны с отбором проб радиоактивных сред и расположением измерительных каналов в зонах с контролируемым доступом персонала; АСРК не вырабатывает управляющих сигналов, являясь информационно-измерительной системой; оборудование АСРК не подлежит калибровке. Ряд требований, предъявляемых к АСУТП, не применим к элементам АСРК, чувствительным к ионизирующему излучению (например, по радиационной устойчивости).

### ОБЗОР ТРЕБОВАНИЙ К ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КАНАЛАМ

В состав современных АСРК АЭС большой мощности входят измерительные каналы (ИК) для измерения следующих физических величин:

Таблица 1. Значения ВВФ

| Фактор   | [1]                     | [2]                                | [3]                                | [4]                   |
|--|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
| Сейсмостойкость                                  | II                      | II и III                           | I и II                             | II                    |
| Помехоустойчивость по ГОСТ 32137                 | III по ГОСТ Р 50746–200 | IV                                 | III, IV                            | III, IV               |
| Климатическое исполнение                         | УХЛ                     | Г                                  | Г                                  | УХЛ                   |
| Тип атмосферы                                    | II                      | IV                                 | III                                | II                    |
| Коррозионные агенты, не более, мг/м <sup>3</sup> | Нет требований          | Хлориды: 0.267;<br>сульфаты: 0.022 | Хлориды: 0.267;<br>сульфаты: 0.022 | Нет требова-<br>ний   |
| Внешний гамма-фон                                | Нет требований          | Нет требований                     | 1 Гр/ч                             | 10 <sup>-3</sup> Гр/ч |

мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) и мощность поглощенной дозы (МПД) гамма-излучения (включая значения при максимальной проектной аварии), объемная активность (ОА): инертных радиоактивных газов (ИРГ), радиоактивных аэрозолей, йодов, жидкости (в дистанционном, проточном и погружном варианте геометрии), технологических сред, радиоактивного азота в “остром паре” трубопроводов, радиоактивного натрия в солевом остатке, радионуклидов в теплоносителе первого контура и в выбросах, индивидуальный эквивалент дозы рентгеновского, гамма-, бета- и нейтронного излучений, активность радионуклидов в органах и теле человека, а также плотность потока бета-частиц с поверхности и параметры воздушного потока. В зависимости от проектной конфигурации АЭС и коммерческих условий поставки, в состав АСРК могут включаться: аппаратура радиационного контроля течи теплоносителя из первого контура во второй контур (АРКТ), программно-технические средства для периодического и эпизодического контроля (ПЭК), а также блоки и устройства детектирования для радиационного контроля окружающей среды, перемещений персонала и транспорта, оборудование контроля при обращении с радиоактивными отходами.

Приведенный перечень ИК подсистем АСРК радиационного контроля помещений, радиационного технологического контроля, индивидуального дозиметрического контроля и радиационного контроля загрязнений является исчерпывающим и соответствует конфигурации АСРК для проектов АЭС-2006, ВВЭР-ТОИ и перспективных проектов.

Имеются существенные предпосылки для оптимизации комплекса требований к объему радиационного контроля для обеспечения унификации и типизации ИК в рамках реализации перспективных проектов АЭС.

При интеграции АСРК в состав АСУТП АЭС учитываются специфические особенности реализации ИК, в том числе в процессе определения требований к их эксплуатационным и метрологическим характеристикам.

Требования к устойчивости оборудования ИК АСРК к внешним воздействующим факторам (ВВФ) во многом определяются географией размещения АЭС на территории России и за рубежом, включая такие страны как Турция (АЭС “Аккую”), Бангладеш (АЭС “Руппур”), Индия (АЭС “Куданкулам”), Египет (АЭС “Эль-Дабаа”) и др.

Сравнение требований к значениям ВВФ для различных проектов сооружения АЭС в России и за рубежом приведено в табл. 1. Очевидно, что для достижения технической конкурентоспособности АСРК за счет унификации программно-технических средств оборудование ИК должно удовлетворять наиболее жестким условиям эксплуатации.

Отмечается тенденция, когда в основу проектных требований к метрологическим характеристикам ИК АСРК ложатся параметры конкретных производителей оборудования, соответствующие физические расчеты радиационных величин зачастую не проводятся, а производители оборудования таким образом обеспечивают свои конкурентные преимущества на российском сегменте рынка. В ряде случаев проектные требования по диапазону и точности измерений превышают потребность, обусловленную параметрами технологических процессов, то есть являются избыточными. Избыточность требований к метрологическим характеристикам отдельных измерительных каналов ухудшает эксплуатационные возможности АСРК в целом, требует дополнительных затрат на приобретение оборудования (включая поверочные установки, эталоны, образцовые ИИИ) в существенно ограничивает типизацию и унификацию технических решений как в пределах одного проекта, так и между проектами-аналогами.

С учетом вышеизложенного, на основе сравнения требований к диапазонам и точности измерений, содержащихся в частных технических заданиях на разработку АСРК для проектов современных АЭС поколения 3+, например в [1–4], сопоставления уровня конкурентных аналогов, представленных на рынке АСРК, также анализа содержания руководящего документа Акционерного общества “Концерн Росэнергоатом” по объ-

Таблица 2. Перечень типовых ИК АСРК

| Наименование контролируемых параметров      | Диапазоны измерений (диапазон регистрируемых энергий)   | Пределы основной относительной погрешности, % |
|---|---|---|
| МАЭД гамма-излучения                        | От $1.0 \cdot 10^{-7}$ до $1.0 \cdot 10^2$ , Зв/ч<br>(от 0.05 до 8.0, МэВ)  | $\pm 20$                                      |
| МПД гамма-излучения                         | От $1.0 \cdot 10^{-7}$ до $1.0 \cdot 10^2$ , Гр/ч<br>(от 0.06 до 3.0, МэВ)  | $\pm 25$                                      |
| МПД гамма-излучения (для аварийных условий) | От $3.0 \cdot 10^{-3}$ до $1.0 \cdot 10^5$ , Гр/ч<br>(от 0.06 до 3.0, МэВ)  | $\pm 30$                                      |
| ОА $I^{131}$                                | От 3.7 до $3.7 \cdot 10^6$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(в спектре излучения $I^{131}$ )  | $\pm 30$                                      |
| ОА радиоактивных аэрозолей                  | По альфа-излучению:<br>от $1.0 \cdot 10^{-2}$ до $2.0 \cdot 10^5$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 3.0 до 8.0, МэВ)<br>по бета-излучению:<br>от $1.0 \cdot 10^{-1}$ до $1.0 \cdot 10^6$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 3.0 до 8.0, МэВ) | $\pm 30$                                      |
| ОА ИРГ                                      | От $1.0 \cdot 10^4$ до $1.0 \cdot 10^{13}$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 0.06 до 3.0, МэВ)   | $\pm 20$                                      |
| ОА жидкости (бесконтактный вариант)         | От $1.5 \cdot 10^3$ до $3.7 \cdot 10^8$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 0,05 до 7,2, МэВ)  | $\pm 20$                                      |
| ОА жидкости (проточный вариант)             | От $2.5 \cdot 10^3$ до $3.7 \cdot 10^8$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 0.1 до 3.0, МэВ)   | $\pm 30$                                      |
| ОА жидкости (погружной вариант)             | От $3.7 \cdot 10^3$ до $4.0 \cdot 10^8$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 0.15 до 1.5, МэВ)  | $\pm 20$                                      |
| ОА $N^{16}$                                 | От $1.5 \cdot 10^3$ до $3.7 \cdot 10^8$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(от 0.05 до 7.2, МэВ)  | $\pm 30$                                      |
| ОА $Na^{24}$ в солевом остатке              | От $5.0 \cdot 10^3$ до $1.0 \cdot 10^{10}$ , Бк/м <sup>3</sup><br>(в спектре излучения $Na^{24}$ )  | $\pm 30$                                      |
| Индивидуальный эквивалент дозы              | От $5.0 \cdot 10^{-5}$ до $1.0 \cdot 10^1$ , Зв<br>(рентгеновское и гамма-излучение от 0.015 до 7.0, МэВ)   | $\pm 15$                                      |
| Плотность потока бета-частиц с поверхности  | От $1.0 \cdot 10^0$ до $1.5 \cdot 10^4$ ,<br>част. см <sup>-2</sup> мин <sup>-1</sup><br>(от 0.1 до 2.5, МэВ)   | $\pm 30$                                      |

ему радиационного контроля на АЭС [5], в табл. 2 приведен перечень типовых ИК АСРК, по метрологическим характеристикам удовлетворяющим потребностям перспективных проектов АЭС.

Следует отметить, что в рамках процедуры утверждения типа средства измерений в общем случае проводят испытания для целей утверждения типа ИК. В состав ИК входят: непосредственно оборудование нижнего уровня (блоки и

устройства детектирования) утвержденного типа, блоки и устройства обработки информации нижнего уровня (как правило, также утвержденного типа) и технические средства верхнего уровня для отображения информации с использованием человеко-машинных интерфейсов. Оборудование функционально законченных ИК, следуя цели повышения эргономических качеств АСРК, размещается на стендах радиационного контроля, имеющих в сво-

ем составе запорно-регулирующую арматуру, средства отбора проб, устройства локального управления работой ИК, блоки коммутации, питания и сигнализации, а также измерители физических параметров (расходомеры и пр.).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении необходимо отметить возрастающий объем и значимость параметров, контролируемых при помощи спектрометров из состава АСРК. Внедрение методов спектрометрического анализа в состав устройств детектирования ОА ИРГ и жидкостей, помимо измерения парциальных ОА реперных радионуклидов, позволяет повысить качество измерительной информации посредством учета удельного состава контролируемых сред при расчете суммарной ОА.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Novovoronezh NPP-2. Automated Radiation Monitoring System Technical Specification. 590 85 090.33533.033-F.ASRK.ChTZ.M.
2. Ruppur NPP. Units 1, 2. Automated Radiation Monitoring System Technical Specification. RPR.1022.10JA.CFL.AT.EC0001.
3. Akkuyu NPP. Units 1, 2, 3, 4. Automated Radiation Monitoring System Technical Specification. AKU.1022.0.0.AK.BD0023.
4. Kursk NPP-2. Units 1, 2. I, and C. Automated Radiation Monitoring System Technical Specification. KUR.1022.UJA.CFM.EEC0023.
5. Radiation Monitoring Systems for Nuclear Power Plants. General Requirements. STO 1.1.1.04.001.1384-2017.

## Construction of the Measuring Channels for the High Power NPPs Automated Radiation Monitoring Systems Subject to the Monitoring Objects Design Requirements

E. M. Vetoshkin<sup>1</sup>, A. S. Gordeev<sup>1</sup>, \*, A. A. Ivanov<sup>1</sup>, A. V. Kalin<sup>1</sup>,  
R. A. Nasibullin<sup>1</sup>, S. B. Chebyshov<sup>1</sup>, and I. I. Cherkashin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC "Specialized Research Institute of Instrument Engineering", Moscow, 123060 Russia

\*e-mail: An.SerGordeev@sniip.ru

Received July 11, 2022; revised July 11, 2022; accepted July 18, 2022

**Abstract**—The paper presents the overview of the list and main technical requirements of the radiation monitoring hardware and the software for the stationary measuring channels construction that are used as part of the information measuring systems for the high power NPPs made by Russian design which are in operation and under construction. The comparison of the working and the metrological parameters of the automated radiation monitoring systems equipment up to the market considering the design requirements has been performed. The common conclusions of the development trends for the radiation monitoring direction according to the future equipment improvement and the references of Instruments and Control for NPPs creation and installation during their construction and modernization have been made.

**Keywords:** radiation monitoring, automated radiation monitoring systems, radiation safety, detecting devices, detection units