
ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ
И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 504.064.36

**МОНИТОРИНГ ТРИТИЯ КАК ВОЗМОЖНОГО ИНДИКАТОРА
УТЕЧЕК ИЗ СПЕЦТРУБОПРОВОДОВ И ДРУГИХ ВОДОНЕСУЩИХ
КОММУНИКАЦИЙ НА ПЛОЩАДКЕ АЭС «БУШЕР-1»**

© 2016 В.Ю. Ульянов*, А.П. Елохин**

* Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры (ПГАСиА),
Днепропетровск, Украина

** Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

В работе дано обоснование необходимости организации на площадке действующей АЭС «Бушер-1», расположенной в Исламской Республике Иран, принципиально новой системы - мониторинга трития с целью повышения безопасности при эксплуатации объектов и оборудования АЭС. Данная система должна стать составной частью системы мониторинга площадки АЭС, расположенной в сейсмически активном регионе. Основная задача системы мониторинга трития должна состоять в обеспечении постоянного контроля целостности сбросных спецтрубопроводов на площадке АЭС в режиме реального времени. Положение об организации службы мониторинга трития на АЭС должно быть разработано и закреплено в нормативных документах.

Ключевые слова: Исламская Республика Иран, АЭС «Бушер-1», мониторинг трития, интеллектуальный радиометр, ультра-низкофоновый жидко-сцинтилляционный спектрометр.

Поступила в редакцию 25.11.2016

ВВЕДЕНИЕ

Методы радиационного контроля, широко используемые на АЭС и других объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), охватывают контроль радиоактивных выбросов (в атмосферу) и сбросов (пруды-охладители) [1]. После трагических событий на Чернобыльской АЭС (1986 г.) вопросу радиационного контроля в СССР, России уделялось большое внимание, что позволило существенно ужесточить нормы радиационного контроля в России и существенно снизить активность выбросов и сбросов. Одной из проблем радиационного контроля при сбросах является радиационный контроль радиоактивного изотопа водорода трития¹,

¹ Тритий (от греческого tritos - третий) Т, или ³₁Н, радиоактивный (β-активен) тяжелый изотоп водорода с массовым числом 3. Ядро атома трития - тритон с массой 3,016050 состоит из одного протона и двух нейтронов, энергия связи 8,1-8,4 МэВ. При β-распаде трития образуются легкий изотоп гелия ³₂He¹⁺, β-частица e⁻ и нейтрино $\bar{\nu}_e$: ³₁Н → ³₂He¹⁺ + e⁻ + $\bar{\nu}_e$, T_{1/2}=12,33 года; максимальная энергия излучения 18,61 кэВ, средняя - 5,54 кэВ. Тритий образуется в верхних слоях атмосферы в результате взаимодействия космического излучения главным образом с ядрами N, например: ¹⁴N + n → ¹²C + T. Таким образом, атомы трития в результате образующиеся реакции радиационного окисления и изотопного обмена переходят в молекулы воды, затем тритий в составе дождевой воды выпадает на поверхность Земли. Используется в биологии и химии как радиоактивная метка, в экспериментах по исследованию свойств нейтрино, в термоядерном оружии как источник нейтронов и одновременно термоядерное горючее, в геологии для датирования природных вод. Промышленный тритий получают облучением лития-6 нейтронами в ядерных реакторах по следующей реакции: ⁶₃Li + ¹₀n → ³₁H + ⁴₂He.

представляющего собой сверхтяжёлый водород (^3_1H). Большая часть трития, нарабатанного на АЭС (в среднем, до 85 %), покидает АЭС с жидкими стоками. Поскольку жидкие стоки на большинстве АЭС сбрасываются в пруд-охладитель, куда и поступает тритий, попавший с различными протечками в стоки, а именно – в техническую воду, используемую для охлаждения турбин и прочего оборудования, дебалансные воды и т.д.

Образовавшиеся при распаде трития β -частицы, распространяются в воздухе всего на 6,0 мм и не могут преодолеть даже верхний слой кожи человека [2]. В силу малой энергии распада трития, испускаемые электроны хорошо задерживаются даже простейшими преградами типа одежды или резиновых хирургических перчаток. Тем не менее, этот изотоп представляет радиационную опасность при вдыхании, поглощении с пищей, впитывании через кожу. Единичный случай употребления *тритиевой воды* не приводит к длительному накоплению трития в организме, так как его *период полувыведения* – от 7 до 14 дней [3], [4].

При работе атомных электростанций тритий ^3_1H образуется в реакторных аппаратах в результате сложной реакции на ядрах дейтерия, находящегося в воде и выполняющей функцию теплоносителя, а также как продукт тройного деления ядер горючего. Часть реакций образования трития протекает непосредственно в реакторной воде (в воде первого контура АЭС с реакторами типа ВВЭР), а часть – в тепловыделяющих элементах (ТВЭЛх) и стержнях регулирования. Из ТВЭЛов и стержней регулирования тритий попадает непосредственно в реакторную воду при нарушении их герметичности, а также вследствие диффузии – через оболочки или вследствие утечки через неплотности самих оболочек.

В результате работы АЭС вода первого контура или контура многократной принудительной циркуляции, как правило, неоднократно полностью обновляется, и, следовательно, весь нарабатанный и попавший в эти контуры тритий поступит в пруд-охладитель (естественно, за исключением доли трития, который был выброшен в атмосферу, но это сравнительно небольшая его доля – не более 15-20 %). Загрязнение тритием подземных, как правило, грунтовых, вод имеет место при нормальной эксплуатации практически большинства АЭС стран СНГ, в т.ч. и в РФ, однако степень этого загрязнения может быть весьма различной [5].

Ввиду своих специфических свойств, который отличает его от других радионуклидов, образующийся на АЭС тритий поступает в окружающую среду, как правило, минуя очистные барьеры в виде тритиевой воды в составе жидких стоков, а также с различными газовыми выбросами [6].

Значительное время полураспада, как и трудности с удалением трития химическим путём приводят к тому, что существующие технические мероприятия по его удержанию в системах АЭС в т.ч., за счет сокращения объёма дебалансных вод, увеличения емкостей для хранения сбросных вод первого контура и т.п., не могут дать сколь-нибудь значимого эффекта. Подавляющее большинство трития, образовавшегося в 1-м контуре, по системам сбросных коммуникаций различного назначения в конечном итоге всё равно поступает за пределы АЭС, т.е. фактически постоянно циркулирует в этих системах, что и является основой предлагаемого метода.

ХАРАКТЕРИСТИКА СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НА ПЛОЩАДКЕ АЭС «БУШЕР-1»

На площадке АЭС после передачи блока Заказчику мониторинг подземных вод осуществляется иранской стороной (BNPP) по сети ранее существовавших и дополнительно пробуренных в 2010 году режимных скважин.

Проводимый в настоящее время иранским персоналом мониторинг подземных вод зачастую фактически сводится к наблюдению за уровнем подземных вод (УПВ). В своём нынешнем виде он принципиально не способен своевременно, в т.ч. и в режиме реального времени, обнаружить утечки, особенно локальные и малообъёмные, преимущественно из содержащих маломинерализованную воду трубопроводов систем UJ, UL, UK, а уже тем более – условно радиоактивные утечки из спецтрубопроводов и спецканализации на площадке АЭС. Разработанные в своё время АО «Институт Оргэнергострой» (Москва) специально для условий данной площадки инструкции по обследованию поверхности вдоль трасс водонесущих коммуникаций с целью обнаружения утечек, причём, как при расположении труб в грунте, так и при их размещении в заглубленных сооружениях (технологических каналах), а также методики по испытаниям фланцевых соединений на герметичность, так и не были востребованы местной службой эксплуатации. И это всё при том, что значительная часть строительных конструкций и часть трубопроводных коммуникаций были сооружены ещё фирмой KWU в 1974-1976 гг.

Выполняемый начиная с 2012 г. в рамках проведения радиационного мониторинга отбор проб грунтовых вод из ограниченного числа скважин с периодичностью 1 раз в месяц в настоящее время уже также недостаточен, поскольку не позволяет получить полную картину содержания трития в грунтовых водах. К тому же часть скважин на участке т.н. «ядерного острова» начиная с 2015 г. вообще была исключена из перечня опробуемых, что резко снизило представительность получаемых результатов. Предоставление результатов по времени также значительно задерживалось и по этой причине они теряли свою актуальность. А между тем, анализ данных радиационного мониторинга подземных вод свидетельствовал о значительном увеличении в отдельные периоды содержания радионуклидов в скважинах площадки АЭС после начала её постоянной эксплуатации, особенно на участке сооружений указанного «ядерного острова» (в частности, в скважинах у реакторного здания 1ZA/B). Так, содержание трития ^3_1H в пробах воды в одной из этих скважин за период с 17.02.2013 г. по 14.07.2013 г. увеличилось от уровня минимально детектируемой активности (МДА) до 15000 Бк/л, а содержание прочих β -радионуклидов за период с 06.08.2012 г. по 17.02.2013 г. увеличилось от уровня минимально детектируемой активности до 252 Бк/л. Содержание α -радионуклидов в смежной скважине только за период с 19.05.2013г. по 30.06.2013 г. увеличилось с 0.06 Бк/л до 0.97 Бк/л, а в другой скважине за период с 19.05.2013 г. по 13.07.2013г. соответственно с 0.14 Бк/л до 1.44 Бк/л.

В период проведения ремонтных компаний содержание радионуклидов в подземных (грунтовых) водах в целом значительно снижалось, но после пуска блока в эксплуатацию в отдельных скважинах быстро увеличивалось (и прежде всего содержание трития), что только ставило дополнительные вопросы к службе эксплуатации и надзора за коммуникациями.

Уровень вмешательства (УВ) для β -излучения в подземных водах составляет 1 Бк/л. По тритию ^3_1H уровень вмешательства согласно НРБ-99/2009 составляет 7600 Бк/л (для сравнения, этот показатель в странах Евросоюза равен 100 Бк/л) [1], [7], [8]. По α -излучающим радионуклидам уровень вмешательства составляет по установленным нормам радиационной безопасности 0,1 Бк/л. Необходимо подчеркнуть, что «Санитарные правила...» рассматривают значения суммарной α - и β -активности не как критерии ограничения радиационной безопасности воды, а как критерии предварительной оценки ее соответствия УВ [9], [10]. Анализ воды на содержание радионуклидов считается нецелесообразным, если $Q_\alpha < 0.1$ Бк/л и $Q_\beta < 1.0$ Бк/л. В случае же превышения указанных уровней, предлагается проводить анализ воды на содержание ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{222}Rn и ^{40}K , причем,

определение ^{40}K обязательно при $Q_{\beta} > 1.0$ Бк/л. Хотя и приведенные данные УВ относятся к питьевым водам, но их сопоставление с данными радиационного мониторинга подземных вод площадки АЭС «Бушер-1» может служить как свидетельством чрезвычайной чувствительности подземной гидросферы площадки 1 блока, так и прямым доказательством значительного увеличения техногенной нагрузки на водоносный горизонт после пуска АЭС в эксплуатацию с соответствующей постановкой вопроса, который, в свою очередь, требует дальнейшего расширения и совершенствования систем мониторинга.

Эти обстоятельства заставляют вновь вернуться к вопросу об организации на площадке АЭС службы своевременного выявления утечек из различных трубопроводных коммуникаций, в т.ч. и наружных спецкоммуникаций со слаборадиоактивными технологическими водами, основанных, в т.ч. и на мониторинге трития в подземных (грунтовых) и сбросных водах АЭС [11], [12]. Тем более, что на этой площадке в ближайшем будущем будут размещены дополнительные энергоблоки, решение о начале сооружения которых уже принято.

МОНИТОРИНГ ТРИТИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АЭС

С целью своевременного выявления малодобитных утечек из наружных условно радиационно-опасных трубопроводных систем и заглубленных сооружений, существующая на площадке система мониторинга нуждается в расширении и дополнении новой системой – мониторинга трития ^3_1H .

В данной области известны способы контроля протечек из ёмкостей и резервуаров, описание которых выходит за рамки настоящей статьи. Однако в большинстве случаев эти способы не являются способами непосредственного контроля протечек и не позволяют определять малые протечки из резервуаров и слабо напорных или безнапорных трубопроводов. Для данной цели малоприменимы также акустические течеискатели, так как малые протечки из безнапорных трубопроводов (в отличие от напорных) обладают низкими поисковыми характеристиками, особенно в условиях площадки АЭС «Бушер», обладающей достаточно высоким уровнем шумовых помех от работающего оборудования.

Для обнаружения малых протечек требуется использование индикатора протечки, т.е. необходимо наличие вещества, находящегося в растворенном виде в резервуаре или технологической системе. Такие индикаторы известны, как правило, это химические вещества, обладающие окрашивающим эффектом, либо это радиоактивные вещества. Однако использование красителей не является эффективным из-за сорбции этих веществ на поверхностях материалов, через которые просачивается жидкость, например бетон строительных конструкций. Пропускающие стыки трубопровода могут быть также выявлены по «Способу определения утечек из трубопровода» [13]. Однако данный способ применим только в процессе проверки оборудования на герметичность и не применим в процессе эксплуатации. Наиболее близким к рассматриваемому в данной статье вопросу является «Способ обнаружения течи в охлаждающем контуре, встроенном в электрическую машину» [14], по которому утечка обнаруживается добавлением индикатора типа трития к воде, используемой для охлаждения и последующим обнаружением индикатора соответственно в воде. Данный способ иллюстрирует техническую возможность определения не герметичности систем путём использования для этой цели трития ^3_1H .

Назначение предлагаемой дополнительной системы мониторинга – контроль резервуаров, каналов и сбросных трубопроводов АЭС «Бушер-1» на герметичность с

помощью жидких веществ с тритием в качестве индикатора (тритиевой воды), если источники протечек установить затруднительно иными способами либо они не дают должного эффекта. Такие задачи возникают, например, в тех случаях, когда резервуары или системы забетонированы, или заглублены под многослойные асфальтобетонные дорожные покрытия (что особенно характерно для значительной части площадки 1 блока АЭС «Бушер»), а также расположены в стесненных помещениях, непосредственный визуальный контроль в которых невозможен. По увеличению концентрации трития в пробах воды из ближайшей точки отбора (скважина, секция подземного канала, сбросной коллектор и пр.) судят о негерметичности ближайшей к точке отбора технологической системы или резервуара. Следует особо отметить, что предлагаемая система относится исключительно к расширенному мониторингу подземных вод и предназначена для использования службой эксплуатации зданий и сооружений АЭС «Бушер-1».

Предлагаемый способ несложен и вполне практически реализуем. На начальном этапе измерения сводятся к регистрации относительной активности трития с большей частотой, чем прочих радионуклидов. Метод отличается специфичностью и относительная точность определения негерметичной системы (участок трубопровода, коллектор и пр.). Для регистрации радиоактивности используют серийную измерительную аппаратуру. Соблюдение норм радиационной безопасности в нормальных условиях обеспечивается применением относительно низких индикаторных концентраций. Специальных мер безопасности не требуется [15, 16].

ПЕРЕЧЕНЬ ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА НА ПЛОЩАДКЕ АЭС

Для качественного проведения мониторинга трития на площадке АЭС «Бушер-1» с целью определения дефектных коммуникаций перечень объектов мониторинга должен быть существенным образом расширен.

Основные положения:

- опробование базовых скважин и прочих водопунктов с частотой 1 раз в 15 дней (а при необходимости и чаще) и немедленной выдачей результатов измерений в виде карты радиационного поля подземных вод (возможна выдача поэлементных карт);
- помимо базовых скважин на участке т.н. «ядерного острова» отбор проб при необходимости производится из секций прилегающих кабельных каналов (только при условии наличия грунтовых или иных вод в стыках и на днище секций);
- отбор проб из сопрягающих сооружений 1ZN.2, 1ZN.3, открытого сбросного канала ZN33, открытого подводящего канала ZM.0;
- отбор проб из дренажного колодца ПН-1 у турбинного здания 1ZF (из отводящего трубопровода);
- отбор проб из концевых частей промливневых коллекторов системы UG на участках сброса в Персидский залив, а из коллекторов системы UG-2 перед сбросом в UG-1;
- включение в перечень объектов для отбора проб периферийных скважин за пределами площадки 1 блока с целью определения фоновых значений;
- в связи с периодическим превышением пороговых концентраций (уровней вмешательства) α - и β -радионуклидов в подземных водах отдельных скважин дополнительно определять в пробах воды следующие элементы: ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{222}Rn и ^{40}K во всех водопунктах.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Отечественная полевая аппаратура для непрерывной регистрации трития ^3_1H в

подземных водах (в скважинах), как и аппаратура для непрерывной регистрации трития в проточных (сбросных водах) АЭС в настоящее время практически отсутствует. Это связано с тем, что непосредственное непрерывное автоматизированное измерение содержания трития в проточных водах – достаточно сложная техническая задача, связанная с тем, что тритий, как указывалось ранее, относится к радионуклидам низких энергий и для его регистрации существующими средствами измерений (спектрометры типа TRI-CARB, QUANTULUS, TRIAFLE) в пробу воды для увеличения интенсивности света (пропорциональна энергии β -частиц) необходимо добавлять сцинтиллятор.

На начальных этапах мониторинга трития на площадке АЭС предлагается использовать имеющееся в структуре BNPP (Environmental Monitoring and Protection Laboratory) специальное лабораторное оборудование, а именно – ультра-низкофоновый жидко-сцинтилляционный спектрометр Quantulus 1220. В дальнейшем предлагается использовать портативные образцы фактически лабораторных приборов для определений непосредственно на месте отбора. В качестве такого оборудования может быть предложен интеллектуальный радиометр РКБ-05П российского производства [17].

В качестве единственного существующего зарубежного автоматизированного оборудования для мониторинга трития на АЭС может быть указана модель «TriMaran-H2O», производимая компанией «Overhoff Technologies Corporation» (США). Следует, однако, отметить помимо достоинств данного типа оборудования – полную автономность, также и его недостатки: высокую стоимость, значительные габариты и сложность в эксплуатации, в т.ч. и по причине относительно низкой сейсмостойкости. Стандартные приборы этой модели оснащены 6 входными линиями для подвода воды из нескольких опробуемых водопунктов, что делает проблематичной и затратной её применение для единичных источников в конкретных условиях площадки, как правило, удалённых друг от друга на значительное расстояние. Длина подводящих линий не может быть протяжённой как по причине сложных климатических условий площадки, так и особенностей общей компоновки АЭС, что требует установки оборудования непосредственно у каждой точки отбора проб воды на тритий, что также нецелесообразно с экономической точки зрения.

На длительную перспективу необходимо будет оборудовать критически значимые сбросные коммуникации автоматизированными системами непрерывного определения содержания трития ^3H в проточных (сбросных) водах. В качестве первоочередного объекта установка данной системы возможна на отводе дренажного колодца ПН-1 возле турбинного здания 1ZF.

По возможности, необходимо полезно будет оборудовать подобной системой сбросные промливневые коллекторы системы UG-1 перед сбросом вод в Персидский Залив, а также на сбросные трубопроводы систем VE и UL в сопрягающих сооружениях 1ZN.3-1ZN.32 перед сбросом вод в открытый сбросной канал ZN.33.

ВЫВОДЫ

С целью своевременного выявления малodeбитных утечек из наружных условно радиационно-опасных трубопроводных систем и заглубленных сооружений, существующие на площадке АЭС «Бушер-1» системы мониторинга, в т.ч. мониторинга подземных вод, нуждаются в расширении и дополнении новой системой – мониторинга трития ^3H .

Для качественного проведения мониторинга трития на площадке АЭС «Бушер-1» с целью определения дефектных водонесущих коммуникаций перечень объектов мониторинга должен быть существенным образом расширен.

На длительную перспективу необходимо оборудовать сбросные коммуникации автоматизированными системами непрерывного определения содержания трития ^3H в проточных (сбросных) водах.

Внедрение в практику АЭС «Бушер-1» мониторинга трития самым положительным образом скажется как на безопасной эксплуатации отдельных её систем, так и на АЭС в целом.

При отработке всех организационных и технологических вопросов системы мониторинга трития на 1 блоке АЭС «Бушер» можно будет рассмотреть вопрос о распространении её и на следующие блоки АЭС, решение о сооружении которых уже принято.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03. «Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)». – М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2003.
2. Nuclide safety data sheet: Hydrogen-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: https://www.ncsu.edu/ehs/radiation/forms/nuclide_sheets.pdf – 10.11.2016.
3. Backgrounder on Tritium, Radiation Protection Limits, and Drinking Water Standards (англ.). U.S.NRC (февраль 2011). Архивировано из первоисточника 14 октября 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/factsheets/tritium-radiation-fs.html> – 10.11.2016.
4. Osborne R.V. Review of the Greenpeace report: «Tritium Hazard Report: Pollution and Radiation Risk from Canadian Nuclear Facilities» (англ.). Canadian Nuclear Association (август 2007). Архивировано из первоисточника 14 октября 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: http://www.nuclearfaq.ca/ReviewofGreenpeacereport_Final.pdf – 10.11.2016.
5. Турбаевский, В.В. Миграция трития в подземных водах в районе расположения Запорожской АЭС: дис. канд. техн. наук: 21.06.01 [Текст] / В.В. Турбаевский. – Харьков: Украинский НИИ экологических проблем, 2006. – 144 с.
6. МУ 2.6.1.15-02. Тритий и его соединения. Контроль величины индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения при поступлении в организм человека. Методические указания [Текст]. – М., 2004.
7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Минздрав России [Текст]. – М., 1999. – С. 79–102.
8. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). Минздрав России [Текст]. – М., 2000. – С. 55–56.
9. СанПин 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009 (утв. постановлением главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. №47) [Текст].
10. СТО 95 102-2013. Ведение объектового мониторинга состояния недр на предприятиях госкорпорации «РОСАТОМ». Введ. 2013-02-14 [Текст]. – М.: СРО НП «СОЮЗАТОМГЕО», 2013. – 57 с.
11. СП 2.6.6.2572-2010 «Обеспечение радиационной безопасности при обращении с промышленными отходами атомных станций, содержащих техногенные радионуклиды» [Текст].
12. МР 2.6.1.27-2003. Зона наблюдения радиационного объекта. Организация и проведение радиационного контроля окружающей среды [Текст].
13. Вартазаров, С.Я. Применение радиоактивных изотопов в гидравлических и гидрологических исследованиях [Текст] / В.Я. Вартазаров. – М.: Атомиздат, 1967. – 186 с.
14. Способ обнаружения течи в охлаждающем контуре, встроенном в электрическую машину. Заявка №1362924, G01M3/20 [Текст]. Великобритания, 1974.
15. РД 52.18.595-96. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды / Методика контроля содержания трития в природных водах МВИ 01– 6/96 [Текст]. – М., 1998.
16. Методика выполнения измерений удельной (объемной) активности трития и углерода-14 в объектах окружающей среды сцинтилляционным методом. Аттестована во ВНИИФТРИ - ВИ-41-99 [Текст]. – 12 с
17. Рекомендации по приборному обеспечению дозиметрического и радиометрического контроля в соответствии с НРБ-99 и ОСПОРБ-99 [Текст].

REFERENCES

- [1] Sanitarnye pravila i gigienicheskie normativy SanPin 2.6.1.24-03. «Sanitarnye pravila proektirovaniia i ekspluatatsii atomnykh stantsii (SP AS-03)» [The sanitary rules and hygienic standards of SanPiN 2.6.1.24-03. "Sanitary rules design and operation of nuclear power plants (SP AS-03)"]. M. Pub. Ministerstvo zdravookhraneniia Rossiiskoi Federatsii [Ministry of Health of the Russian Federation], 2003. (in Russian)
- [2] Nuclide safety data sheet: Hydrogen-3. Available at: https://www.ncsu.edu/ehs/radiation/forms/nuclide_sheets.pdf (in English)
- [3] Backgrounder on Tritium, Radiation Protection Limits, and Drinking Water Standards. U.S.NRC. February 2011. Available at: <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/tritium-radiation-fs.html> (in English)
- [4] Osborne R.V. Review of the Greenpeace report: «Tritium Hazard Report: Pollution and Radiation Risk from Canadian Nuclear Facilities». Canadian Nuclear Association August 2007. Available at: http://www.nuclearfaq.ca/ReviewofGreenpeacereport_Final.pdf (in English)
- [5] Turbaevskii V.V. Migratsiia tritiia v podzemnykh vodakh v raione raspolozheniia Zaporozhskoi AES [Migration of tritium in underground waters around an arrangement of the Zaporizhzhia NPP]: dissertatsiia na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. Ukrainskii NII ekologicheskikh problem [PhD thesis in Engineering. Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems]. Kharkov, 2006. 144 p. (in Russian)
- [6] MU 2.6.1.15-02. Tritii i ego soedineniia. Kontrol velichiny individualnoi effektivnoi dozy vnutrennego oblucheniia pri postuplenii v organizm cheloveka. Metodicheskie ukazaniia [MU 2.6.1.15-02. Tritium and its connections. Control of size of an individual effective dose of internal radiation at receipt in a human body. Methodical instructions]. M. 2004. (in Russian)
- [7] Normy radiatsionnoi bezopasnosti (NRB-99). Minzdrav Rossii [Standards of radiation safety (NRB-99). Russian Ministry of Health]. M. 1999, pp. 79–102. (in Russian)
- [8] Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniia radiatsionnoi bezopasnosti (OSPORB-99). Minzdrav Rossii [Basic health regulations of ensuring radiation safety (OSPORB-99). Russian Ministry of Health]. M. 2000, pp. 55–56. (in Russian)
- [9] SanPiN 2.6.1.2523-09 Normy radiatsionnoi bezopasnosti NRB-99/2009 (utverzhdeny postanovleniem glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossiiskoi Federatsii ot 7 iuliia 2009 goda. №47) [SanPiN 2.6.1.2523-09 Norms of radiation safety of NRB-99/2009 (the resolution of the chief state health officer of the Russian Federation of July 7, 2009 № 47)]. (in Russian)
- [10] CTO 95 102-2013. Vedenie obiektovogo monitoringa sostoianiia nedr na predpriiatiakh goskorporatsii «ROSATOM». Vvedeno 2013-02-14 [STO 95 102-2013. Conducting object monitoring of a condition of a subsoil at the enterprises of ROSATOM State Corporation. Intr. 2013-02-14]. M. Pub. Samoreguliruemaia organizatsiia NP «SOLUZATOMGEO» [Self-regulatory organization NP SOYUZATOMGEO], 2013. 57 p. (in Russian)
- [11] SP 2.6.6.2572-2010 «Obespechenie radiatsionnoi bezopasnosti pri obrashchenii s promyshlennymi otkhodami atomnykh stantsii, soderzhashchikh tekhnogennye radionuklidy» [SP 2.6.6.2572-2010 "Ensuring radiation safety at the address with industrial wastes of the nuclear power plants containing technogenic radionuclides"]. (in Russian)
- [12] MR 2.6.1.27-2003. Zona nabludeniia radiatsionnogo obiekta. Organizatsiia i provedenie radiatsionnogo kontroliia okruzhaiushchei sredy [MP 2.6.1.27-2003. Zone of observation of radiation object. Organization and carrying out radiation control of the environment]. (in Russian)
- [13] Vartazarov S.Ya. Primenenie radioaktivnykh izotopov v gidravlicheskikh i gidrologicheskikh issledovaniiax [Use of radioactive isotopes in hydraulic and hydrological researches]. M. Pub. Atomizdat [Atomizdat], 1967. 186 p. (in Russian)
- [14] Sposob obnaruzheniia techi v okhlazhdaiushchem konture, vstroennom v elektricheskuiu mashinu. Zaiavka №1362924, G01M3/20 [Way of detection of a leak in the cooling contour which is built in the electrical machine. Application № 1362924, G01M3/20]. UK, 1974. (in Russian)
- [15] RD 52.18.595-96. Federalnyi perechen metodik vypolneniia izmerenii, dopushchennykh k primeneniiu pri vypolnenii rabot v oblasti monitoringa zagriazneniia okruzhaiushchei prirodnoi sredy. Metodika kontroliia soderzhaniia tritiia v prirodnykh voda MVI 01– 6/96 [RD 52.18.595-96. The federal list of techniques of performance of the measurements allowed to application when working in the field of monitoring of pollution of the surrounding environment / the Technique of control of content of tritium in natural MVI 01-6/96 water]. M. 1998. (in Russian)
- [16] Metodika vypolneniia izmerenii udelnoi (obieemnoi) aktivnosti tritiia i ugleroda-14 v obiektakh okruzhaiushchei sredy stsintilliatсионным методом. Attestovana vo VNIIFTRI - VI-41-99

[Technique of measurements performance of specific (volume) activity of tritium and carbon-14 in environment objects by a scintillation method. It is certified in VNIIFTRI - VI-41-99]. pp. 1–12. (in Russian)

- [17] Rekomendatsii po pribornomu obespecheniiu dozimetricheskogo i radiometricheskogo kontrolya v sootvetstvi s NRB-99 i OSPORB-99 [Recommendations about instrument ensuring radiation and radiometric control according to NRB-99 and OSPORB-99]. (in Russian)

Tritium Monitoring as Possible Indicator of Leaks from Special Pipelines and Other Water Bearing Communications at the "Bushehr-1" NPP

V.Yu. Ulyanov*, A.P. Elokhin**

** Dnieper State Academy of Construction and Architecture,
Chernyshevsky St., 24a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600*

e-mail: vulanov@mail.ru

*** National Research Nuclear University «MEPhI»,*

Kashirskoye shosse, 31, Moscow, Russia 115409

e-mail: elokhin@yandex.ru

Abstract – In work justification of need of the organization at the NPP "Bushehr-1" located in the Islamic Republic of Iran, essentially new system - tritium monitoring for the purpose of increase in safety of the NPP objects and equipment is given. This system should be an integral part of the NPP monitoring system located in a seismically active region. The main objective of tritium monitoring system has to consist in ensuring constant control of special pipelines integrity at the NPP in real time. Regulations of the organization of the tritium monitoring service should be developed and enshrined in the normative documents.

Keywords: Islamic Republic of Iran, "Bushehr" NPP, tritium monitoring, intelligent radiometer, ultra-low-background liquid scintillation spectrometer.