

УДК 543.053

## Разработка методики контроля содержания трития в воздухе производственных помещений

**А. Н. Букин, В. С. Мосеева, С. А. Марунич, Ю. С. Пак,  
М. Б. Розенкевич, В. Г. Барчуков<sup>1</sup>, А. А. Максимов<sup>1</sup>**

Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева  
<sup>1</sup>ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России

*Рассмотрены особенности анализа трития в газовых средах в области низких концентраций трития. Предложен новый скрубберный метод пробоотбора на основе фазового изотопного обмена воды. Проведенные испытания опытного пробоотборника скрубберного типа МТ-01 продемонстрировали его преимущества по сравнению с устройствами барботажного типа: малое время отбора, низкая степень разбавления пробы. Для МТ-01 наблюдается явление эффекта «памяти», которое оказывает влияние на последующие 3–4 измерения.*

### Введение

Современный уровень безопасности на атомных станциях и ядерных объектах обеспечивает максимально возможное удержание образующихся радионуклидов. Наиболее значимый вклад в выбросы ядерных объектов вносит радиоактивный изотоп водорода – тритий [1]. Изучение мутагенных свойств трития и его влияния на окружающую среду приводит к постоянному ужесточению ядерного законодательства [2]. Повышенное внимание к тритию также объясняется его инертностью к стандартным системам улавливания радионуклидов, что снижает надежность методов отбора проб и их анализа, усложняет разработку соответствующих регламентов по обращению с ним.

Способы измерения и пробоотбора трития зависят от его химической формы и уровня концентраций. В воздухе рабочих помещений тритий может содержаться в форме молекулярного водорода (НТ), паров тритированной воды (НТО) и в форме органически связанного трития (ОСТ). Наиболее опасными формами трития являются пары тритированной воды и ОСТ. Эти соединения могут вступать в изотопное взаимодействие с молекулой ДНК и вызывать разнообразные мутации. Опасность ОСТ, кроме того, заключается в длитель-

ном времени полувыведения из организма человека: для ОСТ – от 40 суток до года, в зависимости от вида ОСТ, а для НТО – 10 дней [3]. Тритий в форме молекулярного водорода имеет низкую скорость обмена с водородом в растениях и малый период полувыведения, что не приводит к его существенному накоплению в биомассе. Подробный обзор работ по выведению трития из организма человека представлен в [4]. Согласно [5], допустимая среднегодовая объемная активность трития в форме НТО в воздухе для населения составляет  $1900 \text{ Бк/м}^3$ , а для персонала категории А в этой форме –  $4,4 \cdot 10^5 \text{ Бк/м}^3$ , и в форме НТ –  $4,4 \cdot 10^9 \text{ Бк/м}^3$ . То есть необходимый диапазон измерения концентраций трития составляет не менее десяти порядков: от природного фона вблизи ядерных объектов ( $0,1\text{--}10 \text{ Бк/м}^3$ ) до  $10^9 \text{ Бк/м}^3$  в технологических потоках. Наиболее распространенными способами определения трития в газе являются методы анализа, основанные на измерении радиоактивности: ионизационные камеры, жидкостные и твердотельные сцинтилляционные счетчики, пропорциональные счетчики. Сравнение различных методов измерения активности трития в газовой фазе изложено в работе [6].

При удельной активности измеряемого газа более  $0,1\text{--}10 \text{ Бк/м}^3$  эффективными средствами контроля загрязнения воздуха являются ионизационные камеры, пропорциональные счетчики и твердотельные сцинтилляционные детекторы. Несмотря на низкую чувствительность, ионизационные камеры – наиболее распространенный способ непрерывного контроля радиационной обстановки на ядерных объектах. Однако они не являются селективными к различным формам трития, а также к другим типам радионуклидов, например, к радиоактивным благородным газам и  $^{14}\text{C}$ . Возможно существенно повысить чувствительность измерений за счет использования усиливающего газа, применяемого в пропорциональных счетчиках, но такой метод является периодическим, что не всегда допустимо. Твердотельные сцинтилляционные детекторы обладают существенно меньшей эффективностью, по сравнению с жидкостными. В настоящее время перспективным направлением можно считать использование специальных детектирующих сборок из сцинтилляционного оптоволокна [7].

Для измерения концентрации трития в газе в диапазоне менее  $10 \text{ кБк/м}^3$  применяются методы предварительного пассивного (адсорбция на цеолитах) или активного (барботаж через слой жидкого поглотителя или вымораживания атмосферной влаги) пробоотбора [8–9] с последующим измерением полученного жидкого образца на сцинтилляционном счетчике. Например, для измерения удельной активности смеси «воздух-НТ-НТО» ее пропускают через ряд барботеров с чистой водой, что позволяет извлечь НТО, а далее оставшийся в газе тритий в форме водорода окисляют в каталитическом реакторе и повторно извлекают образовавшиеся пары НТО. По аналогичной схеме работают адсорбционные осушители: ОСТ улавливают на угольных фильтрах или осмотических установках, для извлечения НТО применяются осушители на основе силикагелей или цеолитов, а молекулярный НТ извлекается после его каталитического окисления. На сегодняшний день существует несколько про-

мышленно реализуемых пробоотборников абсорбционного типа, такие как: Marc7000 (SDEC, Франция), TASC-НТО-НТ-С14 (Overhoff Technology Corporation, США), V3H14C (VF Nuclear, Чехия) и т. д. [10–12]. Соотношение объема поглотителя (для сравниваемых устройств – от 20 до 200 мл) и количества отбираемого газа (до 50 л/ч) определяет время пробоотбора, степень разбавления пробы (60–100 раз), а, следовательно, и точность полученных результатов. При концентрациях трития менее  $0,1 \text{ кБк/м}^3$  время отбора газа на таких устройствах может составлять до недели, что исключает возможность определения динамики поступления трития в окружающую среду.

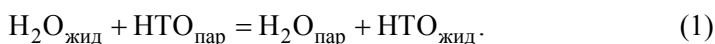
При использовании метода вымораживания паров воды не происходит дополнительного разбавления пробы, а время пробоотбора значительно сокращается. Например, согласно технической документации [12] пробоотборник НЗР 7000 TRITIUM CONDENSER (SDEC, Франция) позволяет производить отбор проб тритированных паров с дискретностью 30–40 мин, а точность определения объемной активности составляет не менее  $0,1 \text{ Бк/м}^3$  газа. Однако для контроля радиационной обстановки в помещении с относительной влажностью менее 40–30 % время отбора возрастает в 2–3 раза. Кроме того, малые объемы отбираемой пробы практически исключают возможность разработки комбинированного пробоотборного и измерительного устройства.

Таким образом, для создания единого подхода к контролю содержания трития даже в рамках одного промышленного объекта или аналитической лаборатории необходимо разрабатывать методику, учитывающую весь возможный диапазон изменения концентраций трития, а также методы пробоподготовки и анализа. Сочетание сорбционного или криогенного способов отбора тритированных паров со сцинтилляционными методами анализа подходит для контроля экологической обстановки, но не позволяет оперативно принимать решения в случае аварийных выбросов трития на самом объекте. Для непрерывного мониторинга радиационной обстановки в помещениях целесообразнее использовать ионизационные камеры, но при этом заметно падает чувствительность и точность анализа.

В рамках настоящей работы рассмотрена возможность применения нового пробоотборного устройства МТ-01 на основе фазового изотопного обмена (ФИО) воды. Ранее в работах [13, 14] было показано его преимущество по сравнению с барботажной схемой пробоотбора: время отбора (не более 1,5 ч после первого пуска), минимальное разбавление пробы (от 2 до 5 раз), возможность дискретного (каждые 10–15 мин) или непрерывного пробоотбора.

## Методическая часть

Принцип работы пробоотборника МТ-01 основан на фазовом изотопном обмене между жидкой водой и парами тритированной воды с переводом трития в жидкую фазу:



Аппаратурно процесс ФИО реализуется в противоточных насадочных колоннах, заполненных высокоэффективной насадкой [15]. Принципиальная схема устройства МТ-01 для автоматического пробоотбора трития представлена на рис. 1.

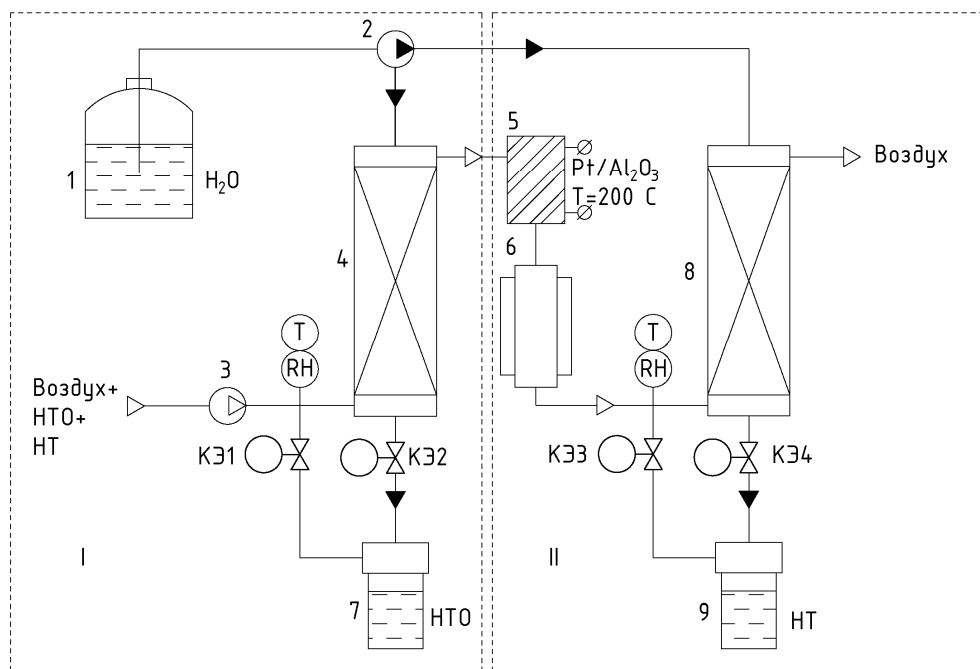


Рис. 1. Принципиальная схема автоматического селективного пробоотборника трития на основе фазового изотопного обмена воды

Селективность извлечения молекулярного трития и паров тритированной воды в устройстве МТ-01 достигается за счет последовательной работы технологических частей I (отбор НТО) и II (отбор НТ). Воздух, содержащий тритий в виде паров воды и молекулярного водорода ( $G_{in} = 115-300$  л/ч), с помощью газового компрессора 3 подается на вход колонки с независимыми потоками 4, заполненной нерегулируемой спирально-призматической насадкой (СПН, размер элемента  $2 \times 2 \times 0,2$  мм). Противотоком газу на питание аппаратов 4 и 8 из емкости 1 с помощью двухканального перистальтического насоса 2 подается дистиллированная вода природного изотопного состава. Параметры колонн являются идентичными:  $H = 200$  мм,  $D = 20$  мм. Очищенный от паров НТО воздух подается в узел каталитической конверсии молекулярного водорода 5 (катализатор –  $Pt/Al_2O_3$ ), а далее через теплообменник 6 на вход колонны 8. Пробы тритированной воды собираются в приемных виалах 7 и 9 при помощи электромагнитных клапанов (КЭ1–КЭ4).

Высота насадочного слоя, загруженного в аппараты 4 и 8, температура проведения процесса и мольное соотношение потоков определяют степень очистки газа  $DF$ :

$$DF = \frac{\lambda}{\alpha - \lambda} \left[ \left( \frac{\alpha}{\lambda} \right)^{n+1} - 1 \right],$$

При величине  $DF$  более 100 получаем, что эффективность извлечения трития составляет не менее 99 %:

$$E_{НТО} = 1 - \frac{1}{DF}.$$

Расчет объемной активности воздуха, обусловленной присутствием паров НТО, производился по результатам измерения объемной активности трития в первой приемной вiale 7 по следующему уравнению:

$$A_{НТО} = \frac{A_{\alpha 1} (L_{in1} + H_{in} - H_{out})}{G_{in} E_{НТО}}.$$

Объемная активность воздуха за счет наличия молекулярного трития определялась по результатам измерения его объемной активности во второй приемной вiale 9 с учетом проскокового значения трития после колонны 4:

$$A_{НТ} = \frac{A_{\alpha 2} L_{in2}}{G_{in} E_{ox} E_{НТ}} - \frac{A_{\alpha 1} (L_{in1} + H_{in} - H_{out})}{G_{in} E_{НТО} DF}.$$

Согласно приведенным выше уравнениям, воспроизводимость результатов пробоотбора зависит от точности поддержания потоков газа и жидкости, ошибки в определении влагосодержания, степени улавливания паров тритированной воды в массообменных колоннах, эффективности окисления молекулярного водорода в каталитическом реакторе и погрешности в определении концентрации трития на жидкостном сцинтилляционном счетчике. Суммарная погрешность измерения активности воздуха определялась по закону сложения ошибок, с учетом приборных погрешностей и частных ошибок различных стадий процесса измерения. Методика внесения в поток газа метки НТО, необходимой для калибровки прибора МТ-01, подробно изложена в работе [15]. Для получения метки в виде НТ применялся электролизер с твердополимерным электролитом МФ-4СК, в который заливалась вода известного изотопного состава. Отбор проб на анализ осуществляли путем окисления в сухом воздухе в пламенной горелке. Все эксперименты по получению НТ проводили при постоянной силе тока  $I = 5$  А, а коэффициент разделения по тритию составил 5,8.

## Экспериментальная часть и обсуждение

### Эффективность извлечения трития

Первым этапом работы стало определение эффективности извлечения трития  $E_{НТО}$  в насадочной колонке. Все эксперименты проводились при одинаковом влагосодержании отбираемого воздуха, соответствующем среднеста-

тистическим условиям в лаборатории: поток воздуха, насыщенный парами НТО при температуре  $T = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности  $RH = 35\%$ . Содержание НТО в воздухе определялось по результатам полного вымораживания паров воды при температуре жидкого азота. Для каждой области концентраций было проведено по 20 параллельных измерений. Эффективность извлечения трития в виде паров воды составила около 91 %. Сравнение разрабатываемой скрубберной технологии с существующими барботажными методами в условиях отбора только паров НТО представлено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение эффективности пробоотбора трития на пробоотборнике МТ-01 и приборах барботажного типа

$A_{уд},$ Бк/м <sup>3</sup>	МТ-01			Барботажные методы				
	Ошибка, %	$G$ , л/час	$t$ , мин	Ошибка, %	Жидкость	$G$ , л/час	$t$ , мин	Ссылка
$<10^3$	5–6,3	115–300	75–90	14,7	Этиленгликоль	2,46	165	[16]
				6	Этиленгликоль	0,225	720	[17]
				4–8	Вода	30	168–336	[18]
$10^3\text{--}10^5$	3,8	115–300	75	0,25–3	–	–	–	[19]
$>10^5$	1,8	115–300	75	$>0,25$	–	–	–	[19]

Следует отметить, что основная точность измерения концентрации трития в воздухе при скрубберном методе пробоотбора обусловлена ошибками в поддержании потоков газа  $G$  и жидкости  $L$  и при используемом дозирующем оборудовании составляет не менее 1,5 %. Для барботажной системы конечная ошибка измерения зависит от времени накопления и удельной активности отбираемого газа. Например, при точности измерения концентрации трития в отбираемой аликвоте 0,1 Бк/мл для барботажных методов ( $G = 6$  л/ч,  $V_{абс} = 60$  мл,  $t_{отб} = 24$  ч) получаем, что ошибка определения удельной активности воздуха будет изменяться от 4,2 % при 1000 Бк/м<sup>3</sup> до 42 % при 100 Бк/м<sup>3</sup>.

### Селективное измерение объемной активности

Эффективность извлечения молекулярного трития будет определяться степенью его конверсии в каталитическом блоке. Поэтому сначала была определена температурная зависимость степени окисления водорода. В каталитический блок 5 (рис. 1) подавался воздух со следующими параметрами: объемный расход – 300 л/ч, концентрация водорода – 500 ppm, диапазон температур – от 160 до 220 °С. Обработка экспериментальных данных проводилась по уравнению первого порядка:

$$-\ln(1 - E_{OX}) = kt.$$

Для используемого катализатора  $Pt/Al_2O_3$  (содержание платины 5 масс. %) значение энергии активации  $E_A$  составило 19,2 кДж/моль, а минимальная температура проведения процесса для достижения степени конверсии водорода  $E_{OX}$  более 0,99–220 °С.

Далее для демонстрации возможности покомпонентного разделения смеси на прибор МТ-01 подавалась модельная смесь, включающая в себя пары тритированной воды и тритий, полученный в результате электролиза НТО. Для исследования была выбрана объемная активность, равная приблизительно 25 % от предельно допустимой объемной активности трития в воздухе для персонала категории А [5]:  $A_{\Sigma} - 310,15$  кБк/м<sup>3</sup>,  $A_{НТО} - 101,11$  кБк/м<sup>3</sup>;  $A_{НТ} - 209,04$  кБк/м<sup>3</sup>. Результат селективного пробоотбора модельной смеси можно представить в следующем виде:

$$A_{\Sigma}^{Мод} = (A_{НТО} \pm 4,9\%) + (A_{НТ} \pm 3,2\%).$$

### Эффект памяти

При измерении трития в газовой фазе особое внимание уделяется эффекту «памяти» используемого прибора – влиянию результатов предыдущего измерения на последующие. В общем случае возникновение этого явления может быть обусловлено, например, адсорбцией паров НТО на внутренних поверхностях измерительных кювет или пробоотборных устройств. В исследуемом приборе основной причиной загрязнения является задержка насадочного слоя по жидкой фазе. Капли жидкости на насадке, оставшиеся после предыдущего измерения, обмениваются с новыми порциями воды и искажают результаты измерений. Возможно два основных способа устранения эффекта «памяти»: многократная промывка рабочим газом или газом, содержащим пары воды природного изотопного состава, а также термодесорбционная обработка технологических коммуникаций. Устранение данного явления является сложной, но необходимой стадией в работе любого измерительного или пробоотборного устройства.

В настоящей работе эксперименты по определению эффекта «памяти» проводились при ступенчатом изменении активности отбираемых проб от 100 до 18 кБк/м<sup>3</sup>. Отдельное измерение занимало 75 мин и состояло из следующих операций: включение прибора (2 мин), выход в стационарное состояние (60 мин), отбор пробы (15 мин) и выключение прибора и новое включение при другой концентрации НТО в газе. Между отдельными пробоотборами дополнительного обезгаживания не производилось.

Из представленных на рис. 2 данных видно, что для полного устранения эффекта памяти необходимо проведение не менее трех последовательных отборов проб. Так, после третьего пробоотбора ошибка в определении объемной активности уже не превышает 11 %, а в дальнейшем определяется только уровнем удельной активности трития (не более 2 %). Таким образом, при отсутствии дополнительных мер по очистке прибора эффект «памяти» наблюдается на протяжении следующих 3–4 пробоотборов, что необходимо учитывать при проведении прецизионных измерений.

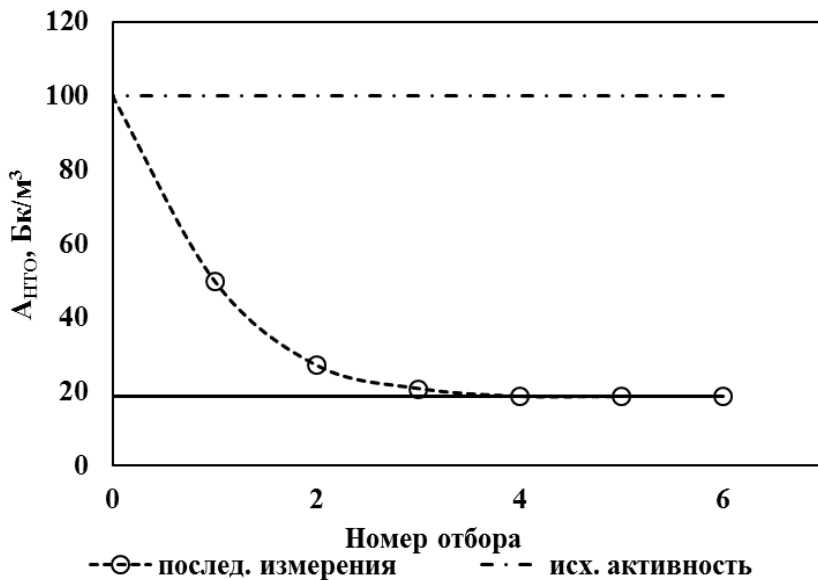


Рис. 2. Динамика изменения активности отбираемых проб воздуха при ступенчатом в 5,5 раз изменении концентрации НТО

### Сравнение методов пробоотбора

Отбор проб воздуха осуществлялся одновременно в одних и тех же помещениях (производственные помещения, помещения постоянного пребывания персонала, гермообъем здания реактора) на предприятиях ГК Росатом (в т.ч. на АЭС с реакторами ВВЭР-1000) с помощью разрабатываемого устройства МТ-01 (время отбора 1,5 ч) и аттестованного расходомера-пробоотборника Overhoff TASC-НТ-НТО-С14 [20] (время отбора 24 ч). Условия во время испытаний: температура воздуха в помещениях  $t = 23 \div 27$  °С, относительная влажность  $RH = 35 \div 40$  %. Результаты исследования удельной активности трития в форме НТО представлены на рис. 3, 4.

Следует отметить, что большинство полученных результатов измерений удельной активности трития в воздухе рабочих помещений заметно ниже калибруемого в настоящей работе на приборе МТ-01 диапазона изменения объемной активности трития. На основе проведенной выше оценки примем значение приборной погрешности для исследуемых устройств одинаковым и равным 40 отн. %. Кроме того, заметно отличается время пробоотбора: 1,5 ч на МТ-01 и 24 ч на Overhoff. Это приводит к тому, что значения, полученные на МТ-01, характеризуют локальные выбросы трития, а на Overhoff – средний уровень концентраций за сутки. Однако из представленных на рис. 3, 4 данных видно, что данные по пробоотбору паров НТО для сравниваемых устройств в пределах приборной погрешности совпадают.



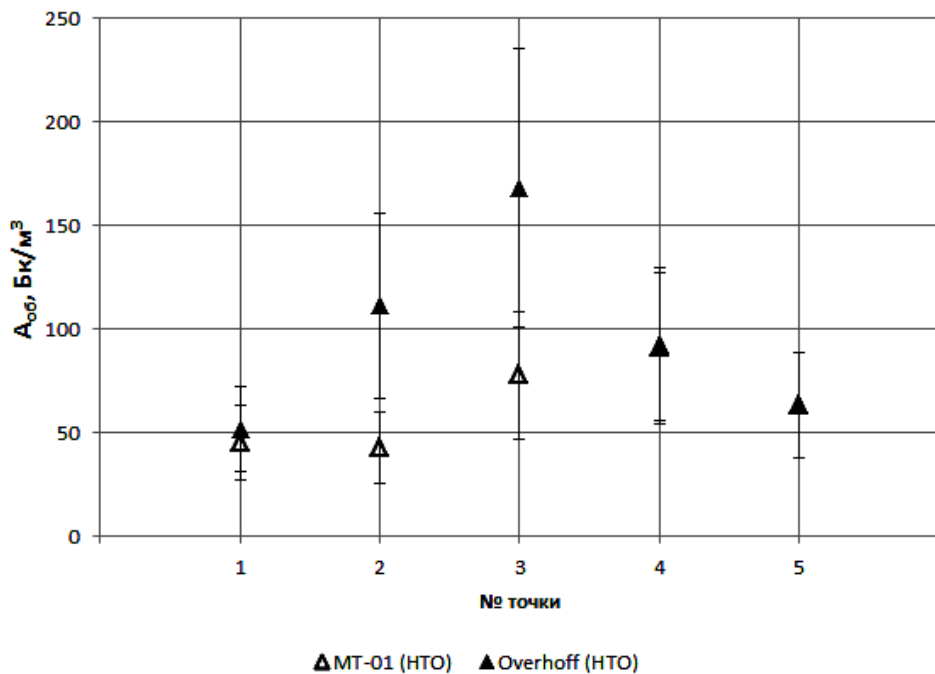


Рис. 3. Результаты измерений объемной активности НТО в воздухе

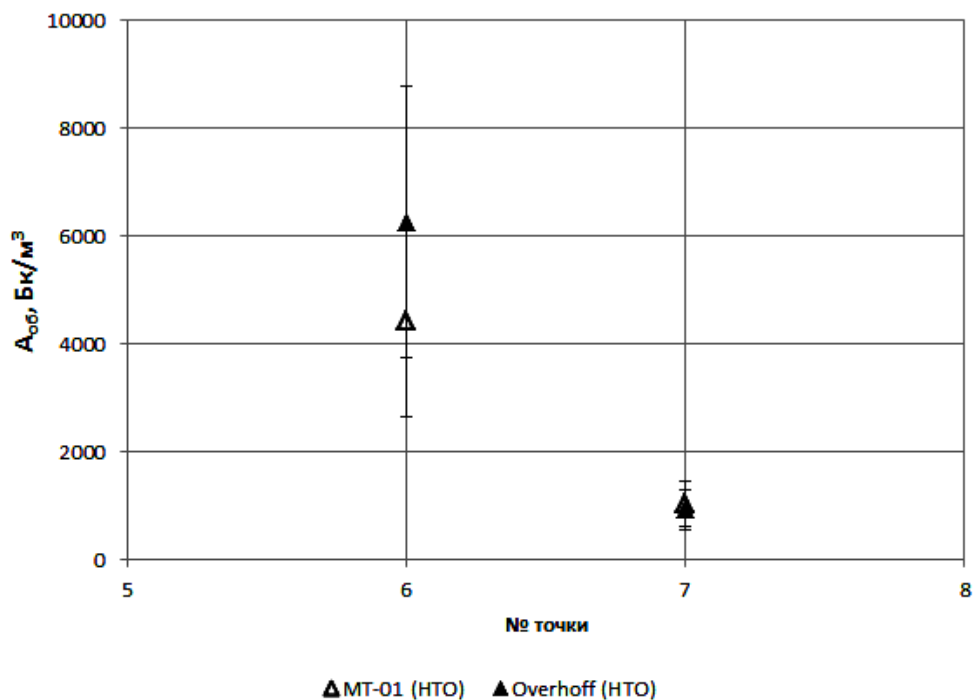


Рис. 4. Результаты измерений объемной активности НТО в воздухе

Производственные исследования также показывают различия в значениях удельной активности трития в форме НТ, полученных на сравниваемых устройствах (см. рис. 5, 6).

Результаты измерений объемной активности НТ, полученные на МТ-01, в большинстве точек показывают существенное расхождение, причем показатели, полученные на Overhoff, системно ниже показателей, полученных на МТ-01. Такое расхождение при определении НТ может быть объяснено проскоками трития в расходомере-пробоотборнике Overhoff, а также меньшим временем, требующимся для выхода МТ-01 на стационарный режим работы: достижение равновесной концентрации трития в виале и отбираемом воздухе для МТ-01 составляет 60 мин, в то время как расходомеру-пробоотборнику Overhoff для этого может потребоваться несколько суток (время пробоотбора на Overhoff в экспериментах составляло 24 ч).

Таким образом, принцип фазового изотопного обмена для оценки содержания трития в воздухе рабочей зоны можно считать более эффективным для измерения содержания НТ, однако для более полного подтверждения этого факта необходимо проведение дополнительных исследований с моделированием газовой среды.

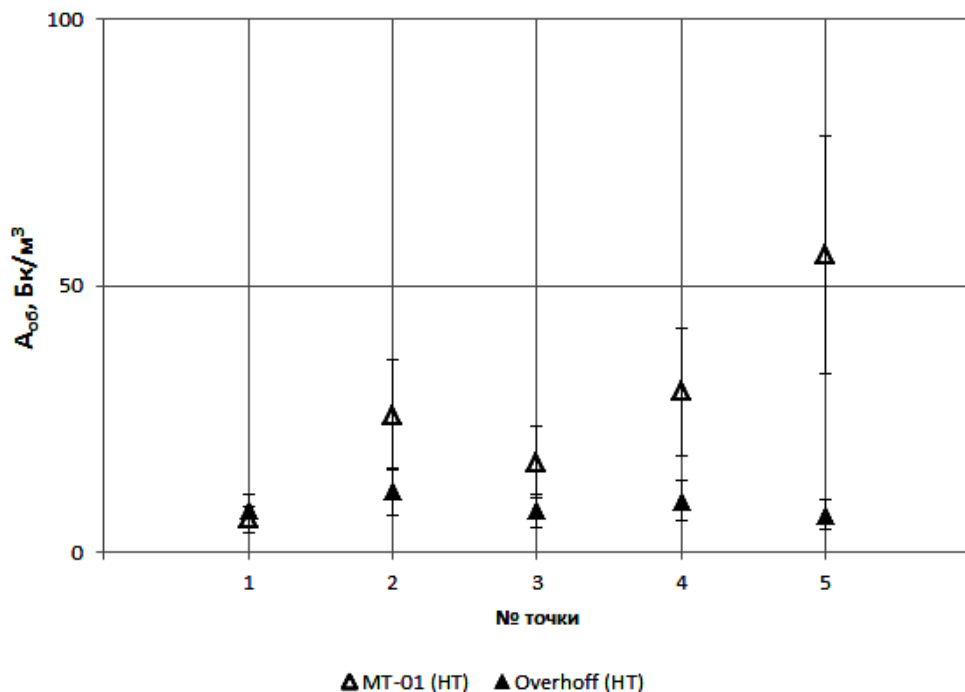


Рис. 5. Результаты измерений объемной активности НТ в воздухе

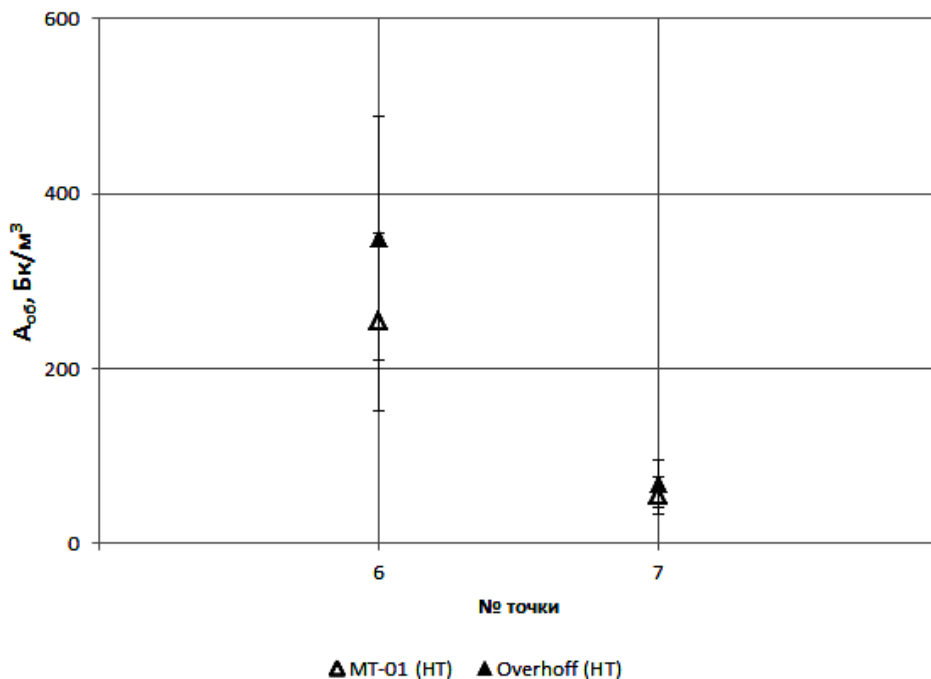


Рис. 6. Результаты измерений объемной активности НТ в воздухе

## Заключение

В рамках настоящей работы проведено исследование эффективности пробоотборного устройства на основе фазового изотопного обмена воды MT-01 применительно к селективному отбору трития из газовых потоков. Эффективность извлечения трития в виде паров воды составила около 91 %, а эффективность окисления молекулярного водорода – 99,9 %. При изменении удельной активности отбираемого газа на протяжении 3–4 отборов наблюдается эффект «памяти» прибора. Сравнение рассматриваемого устройства MT-01 с промышленным образцом TASC-НТ-НТО-С14 барботажного типа показало высокую сходимость результатов.

Работа была выполнена в рамках программы УМНИК «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», договор 13097ГУ/2018.

## Список литературы

1. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly «Sources, effects and risks of ionizing radiation». 13 October. 2016, p. 255–258.

2. Hill R. L., Johnson J. R. Metabolism and dosimetry of tritium. *Health Physics*. 1993, vol. 65, N 6, p. 628–647.
3. Барчуков В. Г., Кочетков О. А., Кузнецова Л. И., Кабанов Д. И., Сурин П. П. Нормативно-методическое обеспечение контроля содержания органических соединений трития в объектах окружающей среды (современное состояние проблемы) // АНРИ. 2018, № 3 (94), с. 1–10.
4. Балонов М. И., Чипига Л. А. Оценка дозы от поступления окиси трития в организм человека: роль включения трития в органическое вещество тканей // *Radiation hygiene*. 2016, т. 9, № 4, с. 16–25.
5. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы. – М.: Роспотребнадзор, 2009, 100 с.
6. Wood M. J., McElroy R. G. C., Surette R. A. Tritium Sampling and Measurement // *Health Physics*. 1993, vol. 65 (6), p. 610–627.
7. Jang K. W., Cho D. H., Yoo W. J. Fabrication and characterization of a fiber-optic radiation sensor for detection of tritium // *Korean Journal of Optic. Phot.* 2009, vol. 20 (4), P. 201–206.
8. Maro D. et al. The VATO project: An original methodology to study the transfer of tritium as HT and HTO in grassland ecosystem // *Journal of env. radioactivity*. 2017, vol. 167, p. 235–248.
9. Qin L., Xia Z., Gu S., Zhang D. A novel atmospheric tritium sampling system // *Nuclear Instr. and Methods in Phys. Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2018, vol. 892, p. 127–133.
10. CDEC Tritium sampler [Электронный ресурс] // официальный сайт компании. URL: <https://radioprotection.sdec-france.com/tritium-sampler-4-vials-marc-7000.html> (дата обращения 25.12.19).
11. Overhoff technology corporation passive samplers [Электронный ресурс] // официальный сайт компании. URL: <http://overhoff.com/products.html> (дата обращения 25.12.19).
12. Vf nuclear [Электронный ресурс] // официальный сайт компании. URL: <https://vfnuclear.com/cz/produkty/zarizeni-pro-odber-3h-a-14c> (дата обращения 25.12.19).
13. Букин А. Н., Иванова А. С., Розенкевич М. Б., Пак Ю. С., Марунич С. А. способ отбора проб тритированной воды методом фазового изотопного обмена // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2017, т. 83, № 7, с. 27–31.
14. Мосеева В. С., Букин А. Н., Пак Ю. С., Марунич С. А., Викулов Д. Д. Оптимизация методики пробоотбора следовых количеств трития из воздуха рабочих помещений на основе фазового изотопного обмена воды // *Успехи в химии и химической технологии*. 2019, т. 33, № 1 (211), с. 91–93.

15. Rozenkevich M., Pak Yu., Marunich S., Bukin A., Ivanova A., Perevezentsev A., Lepetit L. Main Features of the Technology for Air Detritiation in Scrubber Column // Fusion Sci. Technol. 2017, vol. 70, N 3, p. 435.
16. Munyon W. J., Reilly D. W., Webb J. AGHCF gaseous-effluent tritium sampling system: design considerations and performance testing results // Health physics. 2008, vol. 94, p. 75–85.
17. Wood M. J. Outdoor field evaluation of passive tritiated water vapor samplers at Canadian power reactor sites // Health physics. 1996, vol. 70, p. 258–267.
18. Duda J. M., Le Goff P., Leblais Y. Efficiencies of tritium (3H) bubbling systems // Journal of envir. radioactivity. 2018, vol. 189, p. 236–249.
19. Davey E. C., McElroy R. G. (1985). Tritium Instrumentation for the Chalk River Nuclear Laboratories Tritium Extraction Plant // Fusion Technology. 1985, vol. 8(2P2), p. 2089–2094.
20. Методика МТ1.2.1.15.002.0238-2014 «Выполнение измерений при радиационном контроле трития и углерода-14 в помещениях АЭС с применением расходомера-пробоотборника TASC-НТ-НТО-С14 (МБК)». Аттестована ФГУП «ВНИИФТРИ». Свидетельство об аттестации №40063.4Д199/01.00294-2010 от 14 мая 2014 года. Зарегистрирована в Федеральном информационном фонде по ОЕИ № Ф.1.40.2014.18213.

## **Development of a tritium content control methodology in the air of industrial spaces**

**A. N. Bukin, V. S. Moseeva, S. A. Marunich, Yu. S. Pak,  
M. B. Rozenkevich, V. G. Barchukov<sup>1</sup>, A. A. Maksimov<sup>1</sup>**

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

<sup>1</sup>Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical  
Biological Agency

*The distinctive features of the tritium analysis in gaseous in the region of low tritium concentrations are considered. A new scrubber sampling method based on the water phase isotopic exchange is proposed. The tests carried out by the MT-01 experimental scrubber type sampler have demonstrated its advantages compared to the bubbler type devices: short sampling time, low degree of sample dilution. For MT-01, the phenomenon of the «memory» effect is observed. This effect exert some action on the next 3–4 measurements.*