

облучения персонала будут менее допустимых, а именно:

– в случае суммарного воздействия внешнего фотонного и внутреннего облучения будет соблюдено условие (1);

– в случае воздействия только внешнего гамма-излучения эффективная доза будет менее 15,4 мЗв/год;

– в случае воздействия только внутреннего облучения эффективная доза будет менее 8,0 мЗв/год;

– в случае воздействия бета-излучения на кожу, кисти и стопы эквивалентная доза будет менее 330,0 мЗв/год;

– в случае воздействия бета-излучения на хрусталики глаза эквивалентная доза будет менее 100,0 мЗв/год.

При этом должны выполняться следующие требования:

а) не повышать категорию потенциальной опасности предприятия ЯТЦ;

б) не повышать класс работ с открытыми источниками ионизирующего излучения;

в) не повышать класс условий труда персонала более чем на один класс [5].

**Конфликт интересов** не заявляется.

#### Библиографический список

1. Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Петров С. В., Степанов С. В., Исаев О.В. Методические подходы к оценке вклада примесных радионуклидов в формирование величин эффективных доз облучения персонала предприятий ЯТЦ // Сборник тезисов VII международного симпозиума «Урал атомный». Екатеринбург: УО РАН, 1999. С. 3–4.

2. Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Петров С. В., Рогожкин В.Ю. [и др.] Прогностическая оценка изменения радиа-

ционной обстановки при изготовлении топлива для реактора ВВЭР-440 из регенерированного урана // Сборник тезисов VII международного симпозиума «Урал атомный». Екатеринбург: УО РАН, 1999. С. 5–7.

3. Методические указания МУ 2.6.1.016–2000. Определение индивидуальных эффективных и эквивалентных доз и организация контроля профессионального облучения в контролируемых условиях обращения с источниками излучения. Общие требования. М., 2000.

4. Методические указания МУ 2.6.1.25–2000. Дозиметрический контроль внешнего профессионального облучения. Общие требования. М., 2000.

5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). М., 2009. 100 с.

#### Translit

1. Simakov A.V., Abramov Ju.V., Petrov S. V., Stepanov S. V., Isaev O.V. Metodicheskie podhody k ocenke vklada primесnyh radionuklidov v formirovanie velichin jeffektivnyh doz obluchenija personala predpriyatij JaTC // Sbornik tezisov VII mezhdunarodnogo simpoziuma «Ural atomnyj». Ekaterinburg: UO RAN, 1999. S. 3–4.

2. Simakov A.V., Abramov Ju.V., Petrov S. V., Rogozhkin V. Ju. [i dr.] Prognosticheskaja oценка izmenenija radiacionnoj obstanovki pri izgotovlenii topliva dlja reaktora VVJeR-440 iz regenerirovannogo urana // Sbornik tezisov VII mezhdunarodnogo simpoziuma «Ural atomnyj». Ekaterinburg: UO RAN, 1999. S. 5–7.

3. Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.016–2000. Opredele-nie individual'nyh jeffektivnyh i jekvivalentnyh doz i organizacija kontrolja professional'nogo obluchenija v kontroliruemyh uslovi-jah obrashhenija s istochnikami izluchenija. Obshhie trebovanija. M., 2000.

4. Metodicheskie ukazaniya MU 2.6.1.25–2000. Dozimetriche-skij kontrol' vneshnego professional'nogo obluchenija. Obshhie trebovanija. M., 2000.

5. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009). M., 2009. 100 s.

УДК 614.72, 621.039.766:53.082.8

## МЕТОД И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ГАЗОВОЙ И АЭРОЗОЛЬНОЙ ФРАКЦИЙ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

**А. Г. Цовьянов** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», заведующий лабораторией № 25; **А. Е. Карев** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», инженер лаборатории № 25.

## METHOD AND THE DEVICE FOR MEASUREMENT OF VOLUME ACTIVITY OF GAS AND AEROSOL FRACTIONS OF RADIOACTIVE AERO DISPERSE SYSTEMS

**A. G. Tsovia nov** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Head of the laboratory; **A. E. Karev** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, engineer.

Дата поступления — 18.11.2013 г.

Дата принятия в печать — 16.12.2013 г.

**Цовьянов А. Г., Карев А. Е.** Метод и устройство для измерения объемной активности газовой и аэрозольной фракций радиоактивных аэродисперсных систем // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 4. С. 821–824.

**Цель:** создание метода и устройства для дисперсного анализа и одновременного измерения объемной активности аэрозольной и газовой фракций радиоактивных аэродисперсных систем. Актуальность данной статьи обусловлена тем, что для определения объемной активности пробы, содержащей газовую и аэрозольную фракции радионуклидов, необходимо измерение их активности в обоих агрегатных состояниях, в противном случае учет активности только одной из фракций приводит к занижению оценки дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении данных радионуклидов в организм человека. Предложенный метод включает в себя отделение аэрозольной фракции от газовой инерционным осаждением на каскадных элементах импактора, последующее химическое преобразование газовой составляющей аэродисперсной системы в дисперсную фазу путем ввода паров реагента в газовый поток и осаждение образовавшихся аэрозольных частиц на фильтре. Устройство может быть использовано в промышленности для контроля радиоактивного загрязнения воздушной среды.

**Ключевые слова:** аэрозоль, объемная активность, дисперсность, радионуклид.

**Tsoviaiov A. G., Karev A. E. Method and the device for measurement of volume activity of gas and aerosol fractions of radioactive aero disperse systems // Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2013. Vol. 9, № 4. P. 821–824.**

*The given article aims* a development of the method and the device for the disperse analysis and simultaneous measurement of volume activity of aerosol and gas fractions of radioactive aero disperse systems. Importance of the article is concerned with the fact that for measuring volume activity of sample including gas and aerosol fractions it's necessary to measure an activity of both fractions. Taking into account the volume activity of only one fraction in other case can result to understatement of internal dose estimation induced by radioactive aerosols inhalation. The method includes separation of aerosol fraction from gas by inertial sedimentation on cascade elements of the impactor, the subsequent chemical transformation of a gas component of aero disperse system to a disperse phase by input of reagent vapors in a gas stream and sedimentation of the formed aerosol particles on the filter. The device can be used in the industry for control of radioactive pollution of the air environment.

**Key words:** aerosol, volume activity, dispersion, radionuclide.

**Цель работы:** описание метода и устройства для дисперсного анализа и одновременного измерения объемной активности аэрозольной и газовой фракций радиоактивных аэродисперсных систем. Актуальность данной статьи обусловлена тем, что для определения объемной активности пробы, содержащей газовую и аэрозольную фракции радионуклидов, необходимо измерение их активности в обоих агрегатных состояниях, в противном случае учет активности только одной из фракций приводит к занижению оценки дозы внутреннего облучения при ингаляционном поступлении данных радионуклидов в организм человека. Многие аэрозоли сопровождаются газообразными продуктами, находящимися в определенном равновесии с веществами, содержащимися в аэрозольных частицах, и количество их зависит в основном от летучести вещества и параметров состояния (давления, состава и температуры) окружающей среды, например соединения радиоактивного йода, ртути, рутения и других радионуклидов. Для определения объемной активности пробы, содержащей газовую и аэрозольную фракцию радионуклидов, необходимо измерение их активности во всех агрегатных состояниях одновременно. Для решения этой задачи предлагается способ преобразования газоаэрозольных смесей в дисперсную фазу и устройство для реализации данного метода.

Предлагаемый метод основан на химическом преобразовании газовой составляющей газоаэрозольной смеси в дисперсную фазу. Под термином «газоаэрозольная смесь» понимается аэродисперсная система, в которой газовая составляющая представляет собой смесь нейтрального газа (воздух, инертный газ и т.п.) и химически активного компонента. Предлагаемый метод включает: 1) отделение аэрозольной фракции от газовой инерционным осаждением на каскадных элементах импактора и фильтре; 2) химическое преобразование газовой составляющей аэродисперсной системы в дисперсную фазу путем ввода паров реагента в газовый поток; 3) осаждение полученных частиц на фильтр.

Устройство для реализации предлагаемого метода (рис. 1) состоит из расположенных последовательно импактора 1, химического реактора 2 и присоединенной к реактору емкости для реагента 3, преобразующего газовую составляющую аэродисперсной системы в дисперсную фазу.

Импактор 1 применяется для анализа дисперсности и определения объемной активности аэрозольной фракции аэродисперсной системы (обеспечива-

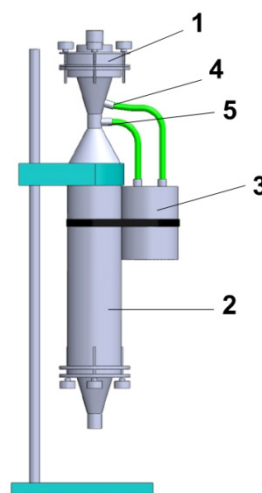
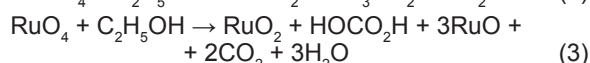
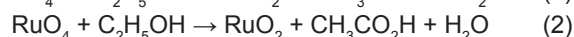
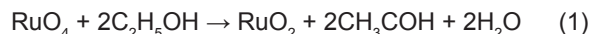


Рис. 1. Схема устройства для реализации метода преобразования газоаэрозольных смесей в дисперсную фазу

ет получение образцов для исследования на гамма/альфа-спектрометрической установке).

С помощью химического реактора, в котором газообразная фракция, содержащаяся в пробе, преобразуется в дисперсную фазу, определяется объемная активность исследуемого радионуклида в газовой фракции. Реактор 2 представляет собой полуемкость, на входе в которую расположены два штуцера: штуцер 4 для подачи незначительной части газового потока в емкость с реагентом 3 и штуцер 5 для подачи паров реагента из емкости 3 в реактор 2. На выходе из реактора находится фильтр, улавливающий образовавшиеся частицы, и сетка, предотвращающая разрыв фильтра. Активность исследуемого радионуклида, осажденного на фильтре, определяется с помощью гамма- (либо альфа)-спектрометрической установки.

Возможности метода преобразования аэродисперсных систем в дисперсную фазу были исследованы на примере смеси летучих и аэрозольных окислов рутения. В этом случае в качестве реагента может использоваться этанол, поскольку известно, что  $\text{RuO}_4$  активно взаимодействует с этанолом, при этом образуется  $\text{RuO}_2$  и продукты окисления этанола [1]. Реакции имеют вид:



**Ответственный автор** — Цовьянов Александр Георгиевич  
Адрес: 123098, г. Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23.  
Тел.: 8-499-190-93-38  
E-mail atsovyan@mail.ru

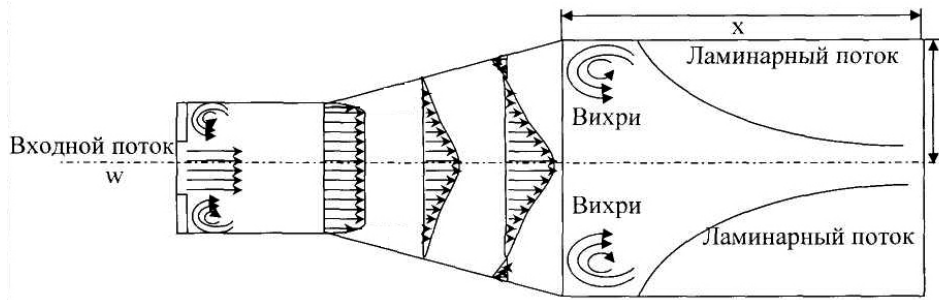


Рис. 2. Схема образования вихрей в реакционной камере

Измерение активности радиоактивного рутения может проводиться с помощью гамма-спектрометрической установки.

Параметры реакционной камеры были рассчитаны исходя из требований минимизации осаждения аэрозолей на внутренней поверхности химического реактора и необходимого времени реакции.

Минимизация осаждения аэрозолей на внутренней поверхности химического реактора достигается за счет уменьшения вероятности возникновения вихрей на входе в реакционную камеру и организации ламинарного потока в реакционной камере (рис. 2).

В этом случае воздействием неровностей внутренней поверхности можно пренебречь и осаждение образовавшегося аэрозоля на внутренней поверхности будет минимально. Опытным путем установлено,

что число Рейнольдса, при котором переход от ламинарного потока к турбулентному начинает влиять на осаждение, имеет значение  $Re=2300$  [2]. Для камеры в форме трубы [3]:

$$Re = \frac{ux}{\nu} = \frac{wx}{\nu\pi r^2} \ll 2300, \quad (4)$$

где:  $u$  — средняя скорость потока, для трубы  $u=w/\pi r^2$ , см/с;  $x$  — длина реакционной камеры, см;  $r$  — внутренний радиус трубы (реакционной камеры), см;  $\nu$  — кинематическая вязкость воздуха,  $\nu=0,15\text{см}^2/\text{с}$ ;  $w$  — объемный расход (объемная скорость),  $\text{см}^3/\text{с}$ .

Достаточность времени реакции достигается выбором такого соотношения объема реакционной камеры и объемного расхода через устройство, которое обеспечивает полноту реакции. Если  $t_0$  — время, за которое в реакцию вступило 99,99% вещества (исследуемого газа), то получаем условие:

$$t_0 \leq t = V/w = (x \cdot \pi \cdot r^2)/w, \quad (5)$$

где  $V$  — объем реакционной камеры,  $\text{см}^3$ ;  $t$  — время прохождения реакции в реакционной камере, с;  $x$  — длина реакционной камеры, см;  $r$  — внутренний радиус реакционной камеры, см.

Проведено численное моделирование течения воздушной среды в устройстве с помощью программного комплекса Star-CCM+, который предназначен для решения задач механики сплошных сред и реализован на основе методов вычислительной гидрогазодинамики (выпускается компанией CD-Adapco с 2004 г.) Трехмерная модель внутреннего объема устройства была создана в программе SolidWorks. Математическая модель для описания гидродинамических процессов, происходящих в устройстве, состояла из системы уравнений, описывающих стационарное турбулентное движение несжимаемой вязкой жидкости и включала в себя уравнение Навье-Стокса и систему уравнений, описывающих поле течения в  $k-\epsilon$  модели турбулентности.

В результате расчета получено поле скоростей в устройстве (рис. 3), из анализа которого следует, что объемная скорость потока через штуцер 5 (см. рис. 1) в 100–120 раз меньше, чем объемная скорость воздуха в верхней цилиндрической части реактора. Это приводит к тому, что незначительная часть воздуха от основного потока (от 0,8% при объемной скорости прокачки 20 л/мин до 1% при 50 л/мин) направляется через штуцер 4 из реактора 2 в емкость для реагента 3, где насыщается парами реагента, после чего возвращается в реактор 2 через штуцер 5. Как было упомянуто ранее, минимизация осаждения аэрозолей на внутренней поверхности химического реактора достигается за счет уменьшения вероятности возникновения вихрей на входе в реакционную камеру и организации в ней ламинарного потока. В результате

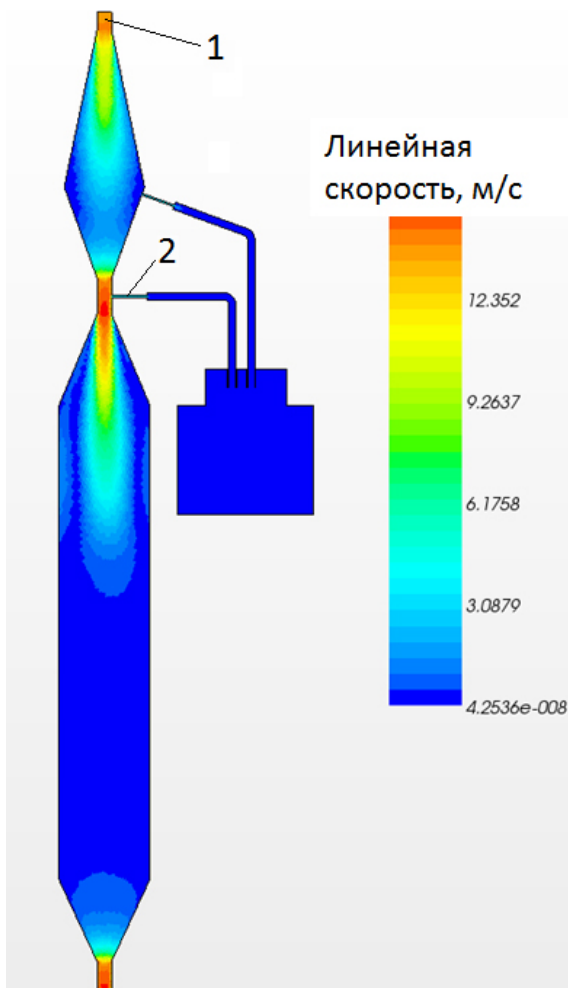


Рис. 3. Поле скоростей в устройстве



численного моделирования установлено, что на ламинарность потока влияет угол расширения трубы. Расчеты показывают, что оптимальным углом является  $\alpha=15^\circ$ .

**Закключение.** Разработаны метод преобразования газоаэрозольных смесей в дисперсную фазу и устройство для его реализации, которое может быть использовано для дисперсного анализа и контроля фазового состава (соотношение «газ — аэрозоль») радиоактивных аэродисперсных систем в технологических коммуникациях, производственных помещениях и в окружающей среде. Метод опробован на примере смеси летучих и аэрозольных окислов рутения, однако обладает потенциалом для работы с другими радионуклидами (в зависимости от подбора химического реагента).

#### Библиографический список

1. Tojo G., Fernandez M. Oxidation of Primary Alcohols to Carboxylic Acids: A Guide to Current Common Practice. N. Y., USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2007. P. 61–78.
2. Холзунов А. Г. Основы расчета пневматических приводов. М.: Машиностроение, 1964. С. 86.
3. Parker C. Reist Introduction to Aerosol Science. N. Y.: Macmillan Publishing Company, 1984. P. 129–130.

#### Translit

1. Tojo G., Fernandez M. Oxidation of Primary Alcohols to Carboxylic Acids: A Guide to Current Common Practice. N. Y., USA: Springer Science+Business Media, LLC, 2007. P. 61–78.
2. Holzunov A. G. Osnovy rascheta pnevmaticheskikh privodov. M.: Mashinostroenie, 1964. S. 86.
3. Parker S. Reist Introduction to Aerosol Science. N. Y.: Macmillan Publishing Company, 1984. P. 129–130.

УДК 614.876: 621.0397

Оригинальная статья

### РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПРИАРГУНСКОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ

**Н. К. Шандала** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», заместитель Генерального директора по науке и биофизическим технологиям, доктор медицинских наук; **А. В. Титов** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», старший научный сотрудник; **С. М. Киселев** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», ведущий научный сотрудник; **В. А. Серёгин** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», научный сотрудник; **Д. В. Исаев** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», инженер; **М. П. Семенова** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», старший научный сотрудник.

### MONITORING OF RADIATION HYGIENIC SITUATION IN THE AREA OF THE ARGUN PRODUCTION MINING AND CHEMICAL ASSOCIATION

**N. K. Shandala** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Deputy Director General, Doctor of Medicine; **A. V. Titov** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Senior Research Scientist; **S. M. Kiselev** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, leading researcher; **V. A. Seryogin** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, scientist; **D. V. Isaev** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, engineer; **M. P. Semenova** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Senior Research Scientist.

Дата поступления — 9.12.2013 г.

Дата принятия в печать — 16.12.2013 г.

**Шандала Н. К., Титов А. В., Киселев С. М., Серёгин В. А., Исаев Д. В., Семенова М. П.** Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 4. С. 824–827.

Приаргунское производственное горно-химическое объединение является многоотраслевым горнодобывающим предприятием, осуществляющим подземную добычу урановых руд и их переработку гидрометаллургическим способом с получением природной закиси-окиси урана. Для установления стратегии и разработки критериев реабилитации территории предприятия в течение нескольких лет проводится независимый радиационно-гигиенический мониторинг. Проведенные исследования показали существенное превышение содержания  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  по сравнению с районом, расположенным вне зоны влияния добычи урана.

**Ключевые слова:** радиоактивное загрязнение, естественные радионуклиды, мощность дозы, пробы объектов окружающей среды.

**Shandala N. K., Titov A. V., Kiselev S. M., Seregin V. A., Isaev D. V., Semenova M. P.** Monitoring of radiation hygienic situation in the area of the Argun production mining and chemical association // Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2013. Vol. 9, № 4. P. 824–827.

The Argun Production Mining and Chemical Association is a multi-activity mining company which performs mining of uranium ore, carries out refining of such ores in hydrometallurgical process to produce natural uranium oxide. In order to establish the strategy and develop criteria for the site remediation, independent radiation hygienic monitoring is being carried out over some years. The researches performed showed that there is a significant excess of  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  content compared to areas outside the zone of influence of uranium mining.

**Key words:** radioactive contamination, natural radionuclides, dose rate, samples of environmental media.