



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2003121568/28**, 11.07.2003

(24) Дата начала действия патента: **11.07.2003**

(43) Дата публикации заявки: **10.01.2005**

(45) Опубликовано: **20.10.2005** Бюл. № 29

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 1289234 A1, 27.04.2000. SU 1000982 A, 01.03.1983. RU 2158011 C2, 20.10.2000. SU 1748529 A1, 20.03.1995.

Адрес для переписки:

456770, Челябинская обл., г. Снежинск, ул. Васильева, 13, ФГУП РЯЦ-ВНИИТФ, отдел интеллектуальной собственности, Г.В. Бакалову

(72) Автор(ы):

**Горин Н.В. (RU),
Покаташкин А.П. (RU),
Ульянов А.И. (RU),
Шмаков Д.В. (RU),
Щербина А.Н. (RU)**

(73) Патентообладатель(ли):

Российская Федерация, от имени которой выступает государственный заказчик - Министерство Российской Федерации по атомной энергии (МАЭ РФ) (RU), Федеральное государственное унитарное предприятие "Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики им. академика Е.И.Забабихина" (ФГУП РЯЦ-ВНИИТФ) (RU)

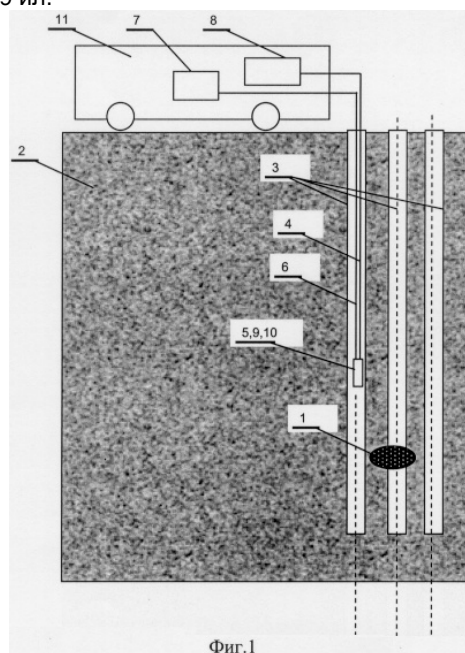
(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ЯДЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ГРУНТЕ И МАКЕТ ДЛЯ ОТРАБОТКИ СПОСОБА

Опубликовано на CD-ROM: **MIMOSA RBI 2005/29D RBI200529D**

(57) Реферат:

Изобретение относится к радиационному мониторингу. Способ включает в себя бурение нескольких скважин у предполагаемого места нахождения ядерного материала на глубину, превышающую глубину залегания искомого материала. Исследуют поле нейтронов в зависимости от глубины погружения, азимута и спектрального состава нейтронов в нескольких скважинах. По полученным результатам судят о размерах, форме и расположении ядерных материалов. Макет для обработки способа содержит измерительную емкость в виде короба, заполненного грунтом, аналогичным по характеристикам грунту с предполагаемого места измерения, моделирующим "бесконечный" грунт разного элементного состава, с разной влажностью и разными неоднородностями, с макетом скважин и ядерным материалом. Макет скважины выполнен в виде обсадной трубы, в которой помещен детектор. Ядерный материал расположен в дополнительной трубе с возможностью перемещения. 2 с. и 3 з.п. ф-

лы, 9 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2003121568/28, 11.07.2003**

(24) Effective date for property rights: **11.07.2003**

(43) Application published: **10.01.2005**

(45) Date of publication: **20.10.2005 Bull. 29**

Mail address:

**456770, Cheljabinskaja obl., g. Snezhinsk,
ul. Vasil'eva, 13, FGUP RFJaTs-VNIITF, otdel
intellektual'noj sobstvennosti , G.V. Bakalovu**

(72) Inventor(s):

**Gorin N.V. (RU),
Pokatashkin A.P. (RU),
Ul'janov A.I. (RU),
Shmakov D.V. (RU),
Shcherbina A.N. (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rossijskaja Federatsija, ot imeni kotoroj
vystupaet gosudarstvennyj zakazchik -
Ministerstvo Rossijskoj Federatsii po
atomnoj ehnergii (MAEh RF) (RU),
Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe
predpriatie "Rossijskij Federal'nyj
jadernyj tsentr - Vserossijskij nauchno-
issledovatel'skij institut tekhnicheskoy
fiziki im. akademika E.I.Zababakhina" (FGUP
RFJaTs-VNIITF) (RU)**

(54) **METHOD FOR DETECTION OF NUCLEAR MATERIALS IN A SOIL AND A MUCK-UP FOR METHOD DEVELOPMENT**

Published on CD-ROM: **MIMOSA RBI 2005/29D** **RBI200529D**

(57) Abstract:

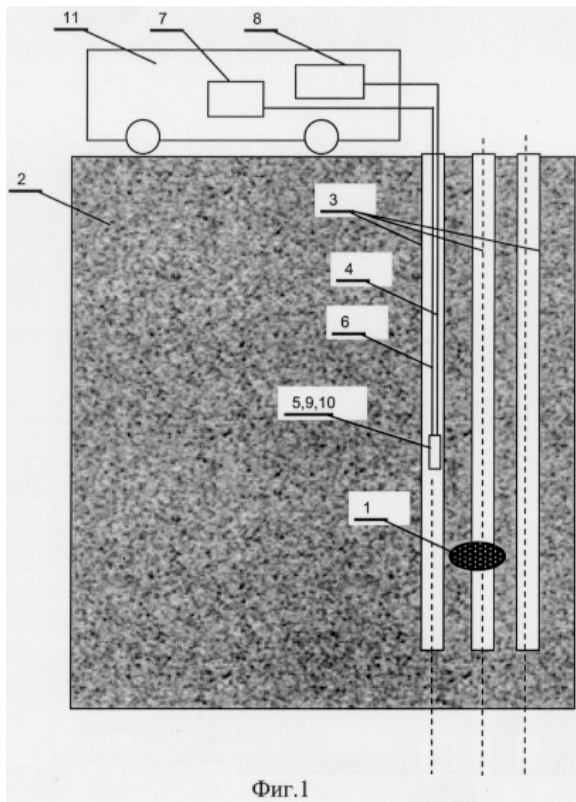
FIELD: radiation monitoring.

SUBSTANCE: the proposed methods includes drilling of some holes near of a proposed place of being a nuclear material. The hole depth exceeds the depth of nuclear material bedding. The neutron field is investigated in dependence on the immersion depth, azimuth and neutron spectra in some holes. The obtained results are used for determining the dimensions, shape and position of nuclear material. The mock-up for method development has a measuring capacity in the form of a box, filled with the soil, the characteristics of which are analogous the

characteristics of the soil of a proposed place of measurements. The mock-up ensures simulation of "infinite" soil with different element composition, humidity and inhomogeneities. The hole mock-up and nuclear material are also the parts of the mock-up for method development. The hole mock-up is fabricated in the form of a casing tube, with a neutron detector. The nuclear material is located in the additional tube. It is ensured the possibility of nuclear material displacement.

EFFECT: high efficiency and accuracy of measurements.

5 cl, 9 dwg



Фиг.1

RU 2262724 C2

RU 2262724 C2

Изобретение относится к ядерной физике, а более конкретно к способам проведения радиационного мониторинга для обнаружения в грунте радиоактивных материалов.

В течение последних десятилетий в мире, в основном в СССР и США, проводилась активная ядерная деятельность, в результате которой в грунте, в горных массивах, на морском дне и т.д. остались значимые количества (массой от нескольких грамм и более) локально расположенных ядерных материалов. Они не только ухудшают экологическую обстановку и представляют опасность для людей, случайно наткнувшихся на них, но и представляют интерес для злоумышленников, преследующих противоправные цели. Такие места, в основном, известны компетентным органам по архивным материалам, но в связи с длительным сроком нахождения в грунте возможна миграция материала и изменение его формы. Поэтому необходима методика для подтверждения неизменности места нахождения ядерных материалов с одновременной проверкой и определением его массы и формы. По результатам измерений с использованием методики можно принять решение о степени опасности материала для экологии, здоровья людей, привлекательности его для злоумышленников и выработать меры защиты и противодействия. В последнее время становится актуальным контроль незаявленной ядерной деятельности и для него необходима методика обнаружения скрытых взрывных экспериментов с ядерными материалами от нулевого ядерного энерговыделения и вплоть до ядерного взрыва, например, по наличию остатков ядерного материала на месте эксперимента.

Известен способ обнаружения ядерных материалов в грунте, заключающийся в отборе и анализе проб из глубины грунта (см. авт. свид. СССР №708811, G 01 V 5/00, публикация - 10.01.2000). Недостатком этого способа в рамках поставленной задачи является то, что при отборе проб часть ядерного материала будет поднята на поверхность и загрязнит ее, а самое главное будет опасной для лиц, извлекающих пробу. Безусловно, можно принять необходимые меры безопасности, но это существенно увеличивает стоимость работ. Кроме того, способ недостаточно информативен, так как не дает представления о массе и форме искомого ядерного материала.

В качестве аналога заявляемого способа было выбрано устройство для обнаружения ядерных материалов в грунте (см. авт. свид. СССР №1000982, G 01 V 5/04, публикация - 01.03.83), содержащее скважинный измерительный зонд с детектором, соединенный мерным тяговым элементом с измерительным пультом. Из отношения максимального к минимальному сигналов детектора и известного диаметра скважины определяют расстояние до источника излучения. Однако описанное устройство работоспособно с точечным источником гамма-квантов, а не с объемным источником нейтронов.

В качестве прототипа для заявляемого способа выбран способ обнаружения ядерных материалов в грунте (см. авт. свид. СССР №1289234, МПК - G 01 V 5/04, публикация - 27.04.2000), включающий детектирование излучения пород, пересеченных скважиной с преобразованием его в последовательность электрических импульсов, число и амплитуда которых соответствуют числу и энергии квантов или частиц детектируемого излучения. Данный способ позволяет обнаружить нейтронное или гамма-излучение ядерного материала и определить глубину залегания излучателя, но не позволяет определить ни его форму, ни массу.

Прототип макета для отработки способа обнаружения ядерных материалов в грунте отсутствует.

Задачей заявляемой группы изобретений является создание высокоинформативного, экологически безопасного и работоспособного в полевых условиях способа обнаружения ядерных материалов в грунте и макета для отработки и калибровки способа.

Для решения поставленной задачи предлагается в способе обнаружения ядерных материалов в грунте, включающем в себя бурение скважины и регистрацию излучения относительно глубины скважины, согласно изобретению, исследуют поле тепловых нейтронов в скважине не только в зависимости от глубины погружения детектора, но и от азимута и спектрального состава нейтронов, достигающих детектора. По полученным результатам судят о расположении ядерных материалов в грунте.

Суждение о расположении ядерных материалов в грунте проводят на основании анализа экспериментальных результатов и расчетов с использованием программ и констант, предварительно верифицированных в экспериментах на макете, все характеристики которого известны. При анализе экспериментальных результатов, полученных в нескольких скважинах, подбирают такую форму и массу ядерного материала, расчетное нейтронное поле от которых наилучшим образом соответствует результатам измерений в скважинах, и считают, что подобранная конфигурация ядерного материала будет соответствовать его действительной форме и массе.

Для повышения точности сопоставления результатов исследований нейтронного поля в скважинах используют один и тот же детектор нейтронов.

Макет для отработки способа обнаружения ядерных материалов в грунте состоит из измерительной емкости в виде короба, заполненного образцом грунта, из макетов скважин, неоднородностей в грунте и ядерного материала. Образец грунта аналогичен по характеристикам грунту с предполагаемого места измерения. Размеры измерительной емкости выбраны такими, что позволяют моделировать "бесконечный" грунт разного элементного состава, с разной влажностью и разными неоднородностями.

Технический результат, используемый для решения поставленной задачи, заключается в возможности определения формы, массы и местонахождения ядерного материала.

Изобретение поясняется чертежом, где:

- на фиг.1 показан фронтальный общий вид эксперимента в полевых условиях по определению формы и массы ядерного материала в грунте;
- на фиг.2 - общий вид эксперимента на фиг.1 сверху;
- на фиг.3 - графики возможных зависимостей счетности детектора нейтронов от глубины опускания его в скважину;
- на фиг.4 - конструкция блока замедлителя для детектора нейтронов;
- на фиг.5 - конструкция коллиматора для детектора нейтронов;
- на фиг.6 - экспериментальная зависимость счетности от азимута (угла поворота коллиматора относительно направления на точечный источник нейтронов);
- на фиг.7 - наиболее простая конструкция измерительной емкости с одним точечным источником нейтронов, одной скважиной и одним местом расположения неоднородности;
- на фиг.8 представлен вид сверху на фиг.7;
- на фиг.9 - экспериментальная зависимость счетности детектора нейтронов от расстояния до точечного источника нейтронов для одного и того же грунта разной влажности.

Значения счетности детектора приведены в относительных единицах.

Способ обнаружения ядерного материала 1 в грунте 2 (фиг.1 и фиг.2) заключается в том, что вокруг предполагаемого места нахождения ядерного материала 1 в заведомо чистом грунте 2 бурят несколько скважин с обсадными трубами 3 на глубину, превышающую глубину залегания материала 1. Перед проведением экспериментов измеряют фоновую счетность $N_{\text{фон}}$ детектора нейтронов 5, анализируют элементный состав грунта 2, извлеченного из скважины 3, и измеряют его влажность. В скважину 3 на жесткой тяге 4 опускают детектор нейтронов 5, который кабельными линиями 6 соединен с системой регистрации 7. В свою очередь, тяга 4 подключена к устройству 8, измеряющему глубину h опускания детектора 5. В эксперименте измеряют зависимость счетности N детектора нейтронов 5 от глубины h его опускания, $N - N_{\text{фон}} = f(h)$. Измерения счетности N проводят сначала для одного детектора 5, затем для детектора 5 с окружающим его блоком замедлителя 9, как показано на фиг.4, затем для детектора 5 с коллиматором 10, как показано на фиг.5. Измерительное устройство 8 позволяет измерять не только глубину опускания h детектора 5, но и азимут α коллиматора 10 в скважине 3. Аппаратура устанавливается и доставляется к месту работ на передвижном комплексе 11.

На фиг.3 представлены возможные типичные зависимости счетности N детектора 5 от глубины h его опускания в скважине 3. Зарегистрированная детектором 5 зависимость $N1 = f(h) + N_{\text{фон}}$ соответствует такой конфигурации ядерного материала 1, при которой его

линейные размеры много меньше, чем расстояние от материала 1 до детектора 5. В этом случае ядерный материал 1 можно считать точечным. Зарегистрированная зависимость N4 на фиг.3 в виде трапеции (с протяженным максимумом) соответствует такой конфигурации объемного ядерного материала 1, при которой его линейные размеры больше, чем
5 расстояние от материала 1 до детектора 5 и его нужно считать объемным.

Те же самые измерения выполняют детектором 5 с блоком замедлителя 9, как показано на фиг.4. Блок замедлителя 9 выполнен из водородосодержащего материала, например из полиэтилена. В результате измерений могут быть получены зависимости N2 или N3 на фиг.3. Формы кривых N1, N2 и N3 будут подобны, положение их максимумов неизменно и
10 они будут находиться при расположении детектора на одной глубине h с искомым материалом 1, но их амплитуды будут разными. Возрастание амплитуды счетности на графике N2 свидетельствует о том, что нейтроны от материала 1, достигшие скважины 3, замедлились до тепловых энергий не в грунте 2, а в блоке замедлителя 9 и, следовательно, ядерный материал 1 должен находиться от скважины 3, по крайней мере,
15 на расстоянии меньшем, чем длина замедления нейтронов в грунте. Уменьшение амплитуды на графике N3 свидетельствует о том, что нейтроны от ядерного материала 1, достигшие скважины 3, замедлились до тепловых энергий грунтом 2 и поглощаются блоком замедлителя 9, следовательно, ядерный материал должен находиться далеко от скважины,
20 на расстоянии большем, чем длина замедления нейтронов в грунте.

Анализ результатов измерений при наличии и отсутствии блока замедлителя 9 на детекторе 5 позволяет оценить спектральный состав нейтронов, достигших детектора 5.

Анализ элементного состава и влажности грунта 2 позволяет оценить предельные расстояния, с которых быстрые нейтроны, родившиеся в ядерном материале 1, могут достичь детектора 5.

Если расстояние от точечного ядерного материала 1 до скважины 3 не более десяти диаметров скважины, то детектор 5 с коллиматором 10 (фиг.5) регистрирует разную
25 счетность при разных направленных углах коллиматора 10 относительно материала 1. На фиг.6 показана экспериментальная зависимость счетности детектора 5 от ориентации коллиматора 10 относительно направления на ядерный материал 1. Место нахождения
30 точечного ядерного материала 1 может быть определено даже из двух скважин 3 при использовании детектора 5 с коллиматором 10 с погрешностью, соизмеримой с размерами "точечного" источника. Конструкция детектора 5 с коллиматором 10 представлена на
35 фиг.5. Коллиматор 10 выполнен из материала, поглощающего тепловые нейтроны, например кадмия или карбида бора. Анализ результатов измерений детектора 5 с коллиматором 10 в одной скважине 3 позволяет оценить направление на ядерный материал 1, а анализ результатов в нескольких скважинах 3, окружающих место
40 расположения ядерного материала 1, позволяет вычислить место нахождения материала 1, оценить его форму. При известном расстоянии от материала 1 до скважины 3 можно оценить массу материала 1.

После исследования поля нейтронов от ядерного материала 1 детектором 5, детектором 5 с замедлителем 9, детектором 5 с коллиматором 10 в нескольких скважинах 3, окружающих предполагаемое место нахождения ядерного материала 1, применив
45 математические методы обработки результатов регистрации, можно оценить массу и форму ядерного материала 1. Существует взаимно однозначное соответствие между формой и массой ядерного материала 1, элементным составом, плотностью и влажностью
50 грунта 2, особенностями регистрации детектора 5 с блоком замедлителя 9, с коллиматором 10 положением ядерного материала 1 относительно скважин 3 и результирующим нейтронным полем в скважинах. В принципе, можно разработать алгоритм восстановления конфигурации ядерного материала 1 по результатам
исследования нейтронного поля в скважинах 3, но в рамках заявляемого решения поступают проще - макетируют эксперимент и в лабораторных условиях подбирают такую конфигурацию ядерного материала 1, при которой в макетах скважин будут те же самые поля, что и в эксперименте. Результат подбора зависит от многих факторов -

соотношения "сигнал-фон" детектора 5, стабильности его характеристик при измерениях в разных скважинах, однородности характеристик грунта 2. Поэтому в экспериментах для повышения относительной точности измерений и более надежной сопоставимости результатов целесообразно проводить измерения одним детектором.

5 Надежная информация о распределении массы ядерного материала 1 по грунту 2 может быть получена лишь при калибровке всего устройства и верификации расчетных методик и констант. Согласно изобретению, предложен макет (фиг.7 и фиг.8) для калибровки устройства и отработки способа, который представляет собой измерительную емкость 12 объемом несколько м³. В ней создают макет грунта 13 с близким элементным составом и
10 влажностью, с точечным или объемным ядерным материалом 14 и с макетом скважины 15. Размеры емкости 12 задают такими, чтобы можно было моделировать "бесконечный" для нейтронов грунт. Нейтрон, достигший края измерительной емкости 12, уже никогда в результате рассеяния и миграции не может вернуться к детектору 5 или ядерному материалу 14, на обратном пути он обязательно будет поглощен макетом грунта 13.
15 Расчеты и эксперименты показали, что емкость 12 объемом от 2 до 5 м³ и расстояниями от краев емкости до детектора и источника ~40-50 см, как правило, удовлетворительно моделирует "бесконечный" грунт. Конструкция измерительной емкости 12 позволяет размещать между ядерным материалом 1 и детектором нейтронов 5 не только однородный грунт разного элементного состава и влажности, но и размещать локальные
20 неоднородности 16 в виде воздушных и водяных полостей, камней разной массы, состава, плотности, формы и т.д. Результаты калибровок будут представительны только в том случае, когда все характеристики измерительной емкости 12, грунта, неоднородностей 16, детектора 5 и взаиморасположение элементов не только измерены, но и известны погрешности этих измерений.

25 При отработке способа детектор нейтронов 5 размещается в макетной скважине 15, проложенной в измерительной емкости 12. Образец ядерного материала 14 перемещается относительно детектора 5 и регистрируется изменение нейтронного поля. Полученные экспериментальные результаты используются для верификации программы ПРИЗМА.Д с библиотекой ядерных данных БАС [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12], которая
30 вычисляет сигнал детектора нейтронов 5 для каждой конфигурации "источник-грунт-детектор". При положительных результатах верификации делают вывод о надежности работы программы ПРИЗМА.Д с библиотекой ядерных данных БАС и используют их при обработке реальных экспериментов в полевых условиях, подбирая форму и массу ядерного материала 1, наилучшим образом соответствующих зарегистрированным
35 сигналам детектора 5 во всех скважинах 3, и затем считают, что подобранные таким образом форма и масса искомого ядерного материала будут соответствовать его действительным форме и массе.

На фиг.7 и фиг.8 показано, как в макете скважины 15 измерительной емкости 12 расположен детектор нейтронов 5 с коллиматором 9. С помощью тяги 4 детектор 5 можно
40 перемещать вдоль макета скважины 15, останавливать в любом положении и проводить измерения. Кабельными линиями 6 детектор 5 связан с системой регистрации нейтронов 7, а тягой 4 - с системой регистрации положения детектора 5. Угол поворота коллиматора α относительно заранее выбранного направления измеряется устройством 8 с погрешностью до $\pm 2^\circ$. В трубе 17 измерительной емкости 12 расположен ядерный
45 материал 14, который с помощью тяги 18 можно перемещать, изменяя конфигурацию опыта. Его положение измеряется с точностью до ± 1 мм системой 19. Измерительная емкость 12 установлена на бетонном полу 20 и заполнена макетом грунта 13, элементный состав которого, плотность и влажность измерены и известна погрешность измерений.
50 Конструкция измерительной емкости 12 позволяет достаточно просто проводить замену грунта 13 и изменение его влажности, а также установку-снятие неоднородности 16.

Описанная конструкция макета позволяет экспериментировать с одним точечным ядерным материалом 14, но она легко может быть переделана для работы с объемным ядерным материалом. Однако для многих ситуаций точечного ядерного материала 14

вполне достаточно. Объемный ядерный материал может быть представлен в виде "суммы" точечных ядерных материалов и, используя принцип суперпозиции, результаты экспериментов с объемным ядерным материалом могут быть рассчитаны на основании экспериментов с точечным ядерным материалом.

5 Типичная экспериментальная зависимость счетности N от расстояния R между точечным образцом ядерного материала 14 и детектором 5 представлена на фиг.9.

При отработке методики и проведении калибровок проводят эксперименты для разных грунтов 13 (в том числе с разной влажностью), включающих разные неоднородности 16, и получают набор экспериментальных зависимостей счетности N от положения Δh 10 детектора 5 в макете скважины 15 относительно ядерного материала 14, счетности N от азимута, или угла направления α щели коллиматора 10, аналогичных фиг.3 и фиг.6. Затем, используя программу ПРИЗМА.Д и библиотеку нейтронных данных БАС, проводят расчет счетности, например при использовании детектора СНМ-18 вычисляют в нем число реакций ${}^3\text{He}(n, p)\text{H}^3$, а при использовании камеры делений типа КНТ-54 вычисляют число 15 актов делений ${}^{235}\text{U}(n, f)$. Полученные расчетные результаты сравнивают с экспериментальными и делают вывод о точности расчетов. В настоящее время достигнуто совпадение расчета с экспериментом с погрешностью на уровне 10%.

20 Заключительный эксперимент в полевых условиях для подтверждения места нахождения ядерного материала с одновременным определением его массы и формы проводят как представлено на фиг.1 и фиг.2, и по сути дела в полевых условиях повторяется тот самый эксперимент, который был проведен в лабораторных условиях при калибровке. Затем расчетным путем подбирают форму, массу и расположение ядерного материала 1 между скважинами 3 так, чтобы расчетная счетность детектора 5 по 25 программе ПРИЗМА.Д наилучшим образом соответствовала экспериментальным результатам. С точностью до 10% (точность верификации методики, определенная при калибровках) подобранная конфигурация ядерного материала будет соответствовать его действительной форме и массе.

Предложенный способ обнаружения ядерных материалов в грунте позволит более 30 надежно и безопасно обнаруживать и подтверждать их наличие в грунте, воде или в строительных конструкциях, определять их массу и форму, а также способствовать принятию решения о степени опасности материала для здоровья людей, привлекательности для злоумышленников и выработке мер защиты и противодействия.

Источники информации

35 1. "Расчетно-экспериментальное исследование температурного поля кладки ИГР". Горин Н.В., Кандиев Я.З. и др., Атомная энергия, 2000. Т.88. С.247-251.

2. "Особенности поля тепловых нейтронов в экспериментальном канале ИГР". Горин Н.В., Кандиев Я.З., Кашаева Е.А. и др., Атомная энергия, 2001. Т.90, С.251-256.

3. "Эффект "просветления" уран-графитового топлива ИГР". Горин Н.В., Кандиев Я.З., Козыбаев Р.М. и др. Атомная энергия, 998. Т.85. С.419-422.

40 4. "Расчетно-экспериментальное исследование особенностей спектра нейтронов ИГР". Горин Н.В., Кандиев Я.З. и др. Атомная энергия, 2000. Т.89. С.233-237.

5. "Обработка результатов эксперимента по измерению температуры радиационного разогрева материалов излучением ИГР". Н.В.Горин, М.О.Садыкова, Н.Р.Садыков и др. 45 Известия Челябинского научного центра, Вып.4. С.21-27. 2002.

6. "Расчетно-экспериментальное исследование особенностей времени жизни нейтронов в ИГР". Гайдайчук В.А., Казьмин Ю.М., Пахниц В.А. и др. Атомная энергетика и безопасность АЭС. Вестник НЯЦ РК, 2001. Вып.1. С.85-89.

7. "Верификация методик расчета характеристик импульсного графитового реактора". Васильев А.П., Горин Н.В. и др., Атомная энергия, 1996. Т.80. С.150-153.

50 8. "Расчетное исследование физических процессов в ИГР по программе ПРИЗМА.Д". Горин Н.В., Кандиев Я.З., Казьмин Ю.М., Атомная энергия, 2000. Т.88. С.83-88.

9. Исследование трехмерного нейтронного поля в активной зоне ИГР. Васильев А.П., Горин Н.В., Кандиев Я.З. и др., Атомная энергия, 1997. Т.82. С.407-413.

10. "Исследование нейтронного поля в центральном канале ИГР при движении поглотителя нейтронов". Горин Н.В., Кандиев Я.З., Козыбаев Р.М. и др., Атомная энергия, 1998. Т.85. С.474-476.

5 11. "Monte-Carlo simulation in nuclear geophysics. Incomparision of the PRIZMA Monte-Carlo Program and benchmark experiments" Arnautova M.A., Kandiev Ya.Z., Lukhminsky B.E., Malishkin G.N. Nucl. Geophys, 1993. v7. №3. P.407-418.

12. A.P.Vasilyev, E.S.Kuropatenko, V.D.Lyutov, A.I.Orlov. Nuclear Data Library - BAS. The history of development and validation for criticality safety calculations. ICNC'95, Proceedings of the international conference of nuclear criticality safety, 10 Albuquerque, New Mexico, USA, September 17...21, 1995, pp.2.56...2.60.

13. Васильев А.П., Кандиев Я.З., Читайкин В.И. "Расчеты некоторых опытов на системах из урана-235 и урана-238 со спектральными нейтронными константами БАС". Нейтронная физика, т.2, стр.119...123, М. 1984.

15

Формула изобретения

1. Способ обнаружения ядерных материалов в грунте, включающий в себя бурение скважин у предполагаемого места их нахождения на глубину, превышающую глубину залегания искомого материала, и регистрацию сигнала от ядерных материалов по отношению к глубине погружения, отличающийся тем, что осуществляют бурение 20 нескольких скважин у предполагаемого места нахождения ядерных материалов, исследуют поле нейтронов в зависимости от глубины погружения, азимута и спектрального состава нейтронов в нескольких скважинах, по полученным результатам судят о размерах, форме и расположении ядерных материалов в грунте на основании анализа результатов расчетов с использованием программ и констант, предварительно верифицированных в 25 экспериментах на макете, все характеристики которого известны.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при анализе экспериментальных результатов, полученных в нескольких скважинах, определяют форму и массу ядерного материала путем подбора конфигураций материалов, расчетное нейтронное поле от которых наилучшим образом соответствует результатам измерений в скважинах.

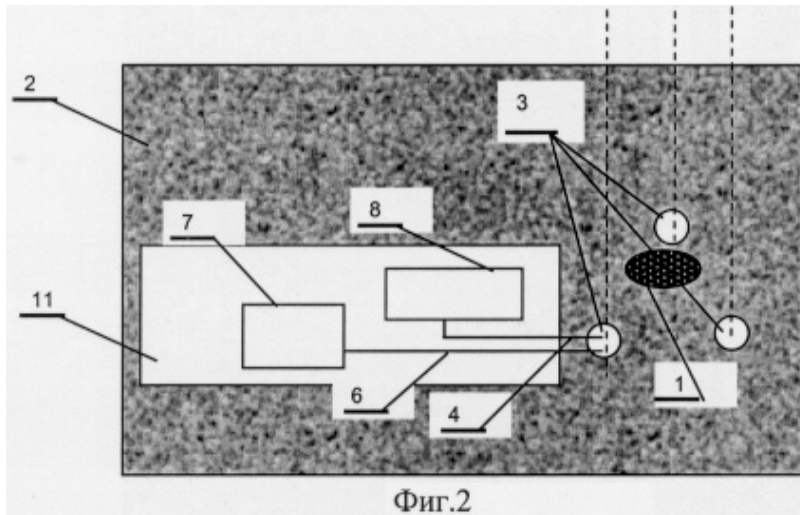
30 3. Способ по п.1, отличающийся тем, что для повышения точности сопоставления результатов измерений нейтронного поля в скважинах используют один и тот же детектор нейтронов.

4. Макет для обработки способа обнаружения ядерных материалов в грунте, содержащий измерительную емкость в виде короба, заполненного грунтом, аналогичного 35 по характеристикам грунту с предполагаемого места измерения, моделирующие "бесконечный" грунт разного элементного состава, с разной влажностью и разными неоднородностями, с макетом скважин и ядерным материалом, причем макет скважины выполнен в виде обсадной трубы, в которой размещен детектор, а ядерный материал расположен в дополнительной трубе с возможностью перемещения.

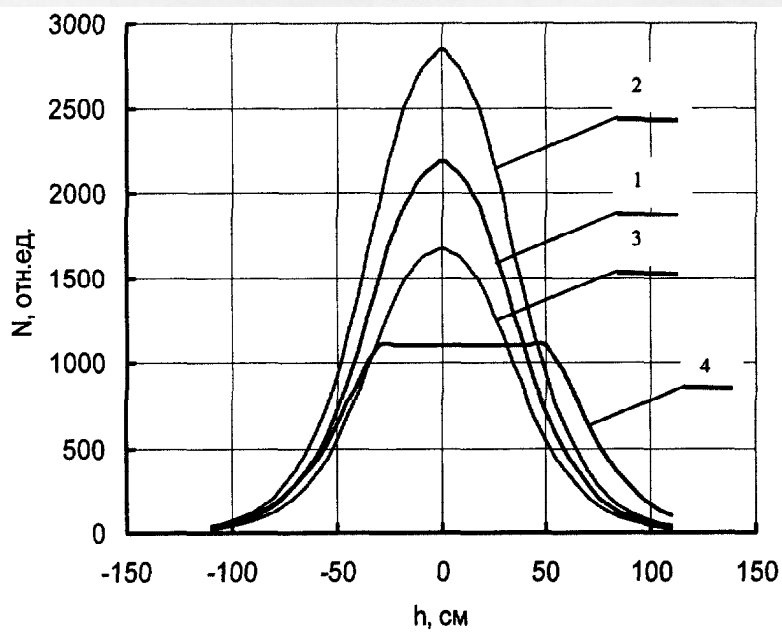
40 5. Макет по п.4, отличающийся тем, что неоднородности в грунте выполнены в виде емкостей, заполненных тем или иным материалом.

45

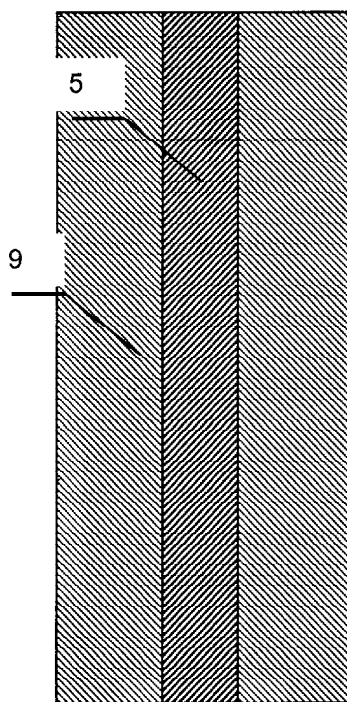
50



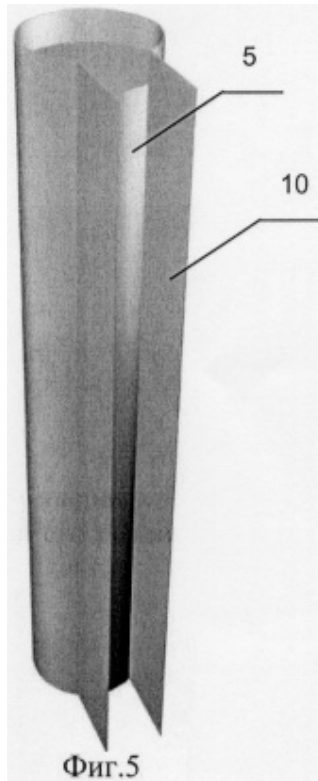
Фиг.2



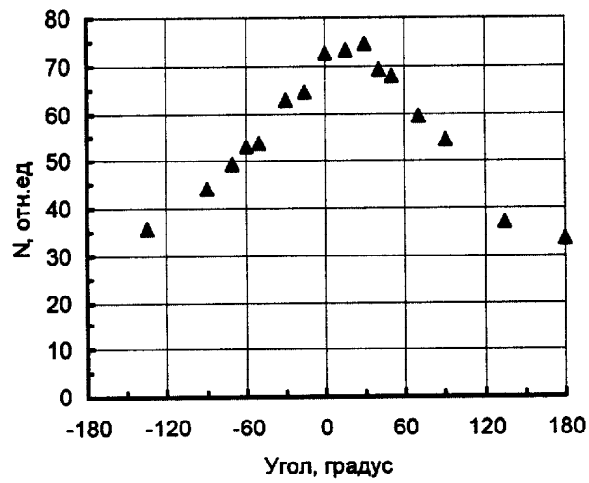
Фиг.3

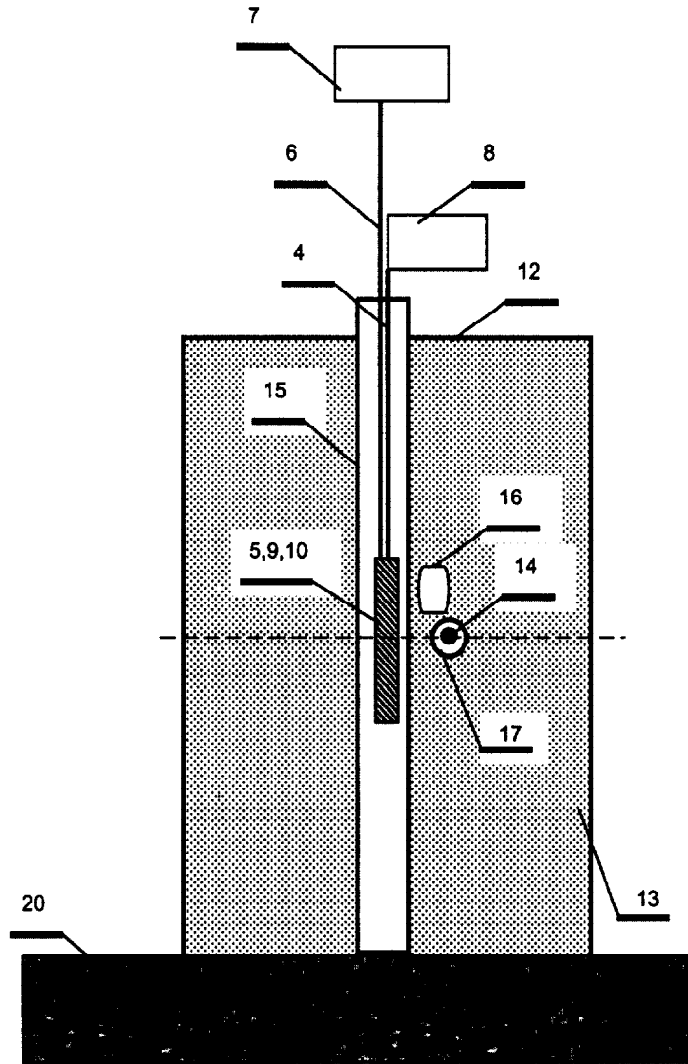


Фиг.4

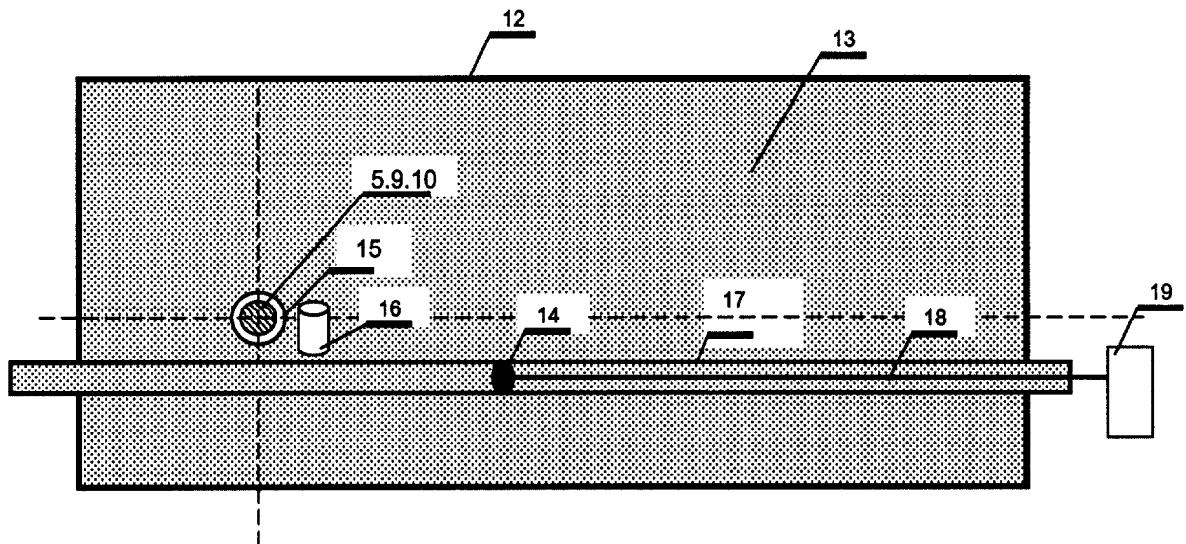


Зависимость счѐтности от направления щели коллиматора

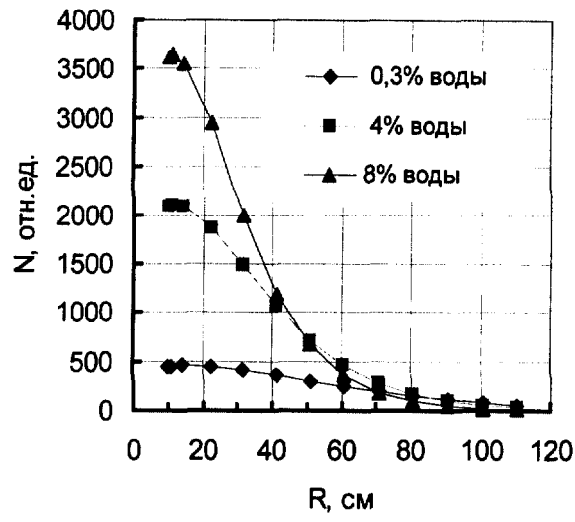




Фиг.7



Фиг.8



Фиг.9