

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202390083** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2023.08.28**

(51) Int. Cl. **G01N 23/204** (2006.01)  
**G01N 23/222** (2006.01)  
**G01V 5/10** (2006.01)

(22) Дата подачи заявки  
**2022.12.20**

(54) **СПОСОБ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

(96) **KZ2022/072 (KZ) 2022.12.20**

(72) Изобретатель:

(71) Заявитель:  
**ПАК ЮРИЙ (KZ)**

**Пак Юрий, Пак Дмитрий Юрьевич,  
Ратов Боранбай Товбасарович,  
Баямирова Рысколь Умаровна,  
Сарбопеева Маншук Дагистановна,  
Черкезов Илькин Сакитович (KZ)**

(57) Изобретение относится к ядерно-физическим способам анализа качества твердого топлива. Задачей изобретения является повышение чувствительности определения зольности топлива в широком диапазоне ее изменения. Способ импульсного нейтронного зондирования для оценки качества твердых полезных ископаемых, основанный на облучении среды импульсным потоком быстрых нейтронов и регистрации гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) быстрых нейтронов на ядрах углерода и кислорода (величина отношения  $C/O$ ) и золообразующих элементов (Al, Si, S, Ca, Fe), отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах твердого топлива с минимальной и максимальной зольностью измеряют спектры нейтронного гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов в энергетической области (4,93-7,72) МэВ при различном времени задержки, находят энергетический интервал  $\Delta E$  в области (4,93-7,72) МэВ, при котором обеспечивается максимальная контрастность интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, выбирают время задержки  $t$  таким, чтобы обеспечить максимальную контрастность измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, а зольность твердого топлива определяют по отношению величины  $C/O$  к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  при выбранном времени задержки  $t$ . Технический результат изобретения состоит в расширении сферы применения и повышении чувствительности в условиях значительной изменчивости зольности за счет дополнительного измерения интенсивности ГИРЗ в энергетической области (4,93-7,72) МэВ при различном времени задержки  $t$  и определении зольности топлива по отношению величины  $C/O$  к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  при выбранном времени задержки  $t$ .

**A1**

**202390083**

**202390083**

**A1**

## СПОСОБ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Изобретение относится к ядерно-физическим способам анализа качества твердых полезных ископаемых, в частности оценки качества твердого топлива по импульсной нейтронной гамма спектрометрии. Оно может быть использовано для определения качества топлива в процессе его добычи, переработки в горно-металлургической отрасли и в геолого-геофизических исследованиях.

Известен способ контроля качества с использованием импульсного источника нейтронов, заключающийся в измерении гамма-излучения, возникающего при неупругом рассеянии (ГИНР) быстрых нейтронов на ядрах углерода и кислорода (Заводская лаборатория, 1979, №8, с. 729-730). В данном способе, известном как углеродно-кислородный способ (способ C/O отношения) измеряется гамма-излучение, возникающее при неупругом рассеянии быстрых нейтронов на ядрах углерода и кислорода. Углерод рассматривается как индикаторный параметр, свидетельствующий о наличии органической части топлива, находящийся в обратной зависимости от его зольности, а кислород как параметр, косвенно связанный с минеральной массой.

Недостатком известного способа является сравнительно низкая чувствительность к зольности и значительная погрешность, обусловленная тем, что кислород в ископаемых углях находится не только в минеральной (золообразующей) массе, но и в его органической.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ, основанный на облучении твердого топлива импульсным потоком быстрых нейтронов и измерении величины C/O – отношения интенсивности ГИНР быстрых нейтронов ядрами углерода с энергией 4,43 МэВ и кислорода с энергией 6,1 МэВ и интенсивности ГИНР быстрых нейтронов ядрами породообразующих (золообразующих) элементов (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (0,84 – 3,73) МэВ. (Патент РК №34289, 2020. Способ контроля зольности угля. Авторы: Пак Ю.Н., Пак Д.Ю., Акопян Н.С. и др.).

Недостатком известного способа является невысокая чувствительность к зольности топлива, обусловленная тем, что используются инструментальные сигналы, возникающие только при неупругом рассеянии быстрых нейтронов. Макроскопические сечения неупругого рассеяния быстрых нейтронов на ядрах углерода, кислорода и золообразующих элементов невелики и слабая их дифференциация.

Задачей изобретения является повышение чувствительности определения зольности в широком диапазоне ее изменения.

Технический результат изобретения состоит в повышении чувствительности и расширении сферы применения в условиях значительной изменчивости зольности и вещественного состава топлива.

Поставленная задача решается следующим образом. В процессе облучения анализируемого топлива импульсным потоком быстрых нейтронов от импульсного генератора нейтронов и измерения величины отношения  $C/O$  – отношения интенсивностей ГИНР быстрых нейтронов ядрами углерода (С) и кислорода (О), а также гамма-излучения с энергией 0,84-3,73 МэВ, возникающего при неупругом рассеянии быстрых нейтронов на ядрах золообразующих элементов, дополнительно на стандартных образцах твердого топлива с минимальной и максимальной зольностью: измеряют спектры нейтронного гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов с энергией (4,93-7,72) МэВ при различном времени задержки, находят энергетический интервал  $\Delta E$  в области (4,93-7,72) МэВ, при котором обеспечивается максимальная контрастность интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, выбирают время задержки  $t$  таким, чтобы обеспечить максимальную контрастность измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, а зольность твердого топлива определяют по отношению величины  $C/O$  к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  при выбранном времени задержки.

Экспериментальными исследованиями установлено, что минеральная (золообразующая) часть твердого топлива большинства месторождений в основном состоит из соединений алюминия, кремния, серы, кальция и железа. Суммарное содержание этих соединений составляет устойчивую часть минеральной массы, определяющей качество топлива.

При неупругом рассеянии быстрых нейтронов на ядрах углерода возникает гамма-излучение с энергией 4,43 МэВ, а на ядрах кислорода – 6,1 МэВ.

При неупругом рассеянии быстрых нейтронов на ядрах основных золообразующих элементов испускается гамма-излучение с энергией (0,84-3,73) МэВ (Al – 2,21 МэВ; Si – 1,78 МэВ; S – 2,24 МэВ; Ca – 3,73 МэВ; Fe – 0,4 МэВ).

Макроскопические сечения неупругого рассеяния быстрых нейтронов ядрами отмеченных элементов невелики и слабо дифференцированы. Это не способствует достижению высокой чувствительности способа.

Для повышения чувствительности к зольности дополнительно измеряют гамма-излучение возникающее при радиационном захвате тепловых нейтронов ядрами золообразующих элементов (Al – 7,72 МэВ; Si – 4,93 МэВ; S – 5,42 МэВ; Ca – 6,44 МэВ; Fe – 7,64 МэВ). Макроскопическое сечение радиационного захвата тепловых нейтронов ядрами углерода и кислорода ничтожно малы. Для того, чтобы снизить влияние нейтронно-замедляющих свойств на интенсивность ГИРЗ выбирают время задержки более времени

замедления быстрых нейтронов в исследуемой среде. Кроме того, выбор времени задержки  $t$  важен с точки зрения обеспечения высокой дифференциации измеряемой интенсивности ГИРЗ в условиях значительной изменчивости зольности топлива.

Существенным отличием изобретения от прототипа является то, что дополнительно дополнительно на стандартных образцах твердого топлива с минимальной и максимальной зольностью: измеряют спектры нейтронного гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов в энергетической области (4,93-7,72) МэВ при различном времени задержки, находят энергетический интервал  $\Delta E$  в области (4,93-7,72) МэВ, при котором обеспечивается максимальная контрастность интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, выбирают время задержки  $t$  таким, чтобы обеспечить максимальную контрастность измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, а зольность твердого топлива определяют по отношению величины  $C/O$  к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  при выбранном времени задержки  $t$ .

Пример реализации предлагаемого изобретения. Исследования выполнены на твердом топливе, зольность которого менялась в интервале 16-46%. Масса анализируемых проб около 32 кг. Крупность материала варьировала в диапазоне 0-13 мм. Использовался импульсный генератор нейтронов НГИ-1 (14 МэВ) с выходом нейтронов  $2 \cdot 10^9$  нейтр./сек. В качестве детектора гамма-излучения применен сцинтиллятор (терфенил в полистироле) в сочетании с временным фотоумножителем. Гамма-излучение, возникающее при неупругом рассеянии быстрых нейтронов, регистрировалось в момент нейтронного импульса в течение 30 мкс. Этим самым минимизировано возмущающее влияние гамма-излучения, возникающего при радиационном захвате тепловых нейтронов ядрами порообразующих элементов. На стандартных образцах топлива с минимальной (10%) и максимальной (46%) зольностью измеряют спектры нейтронного гамма-излучения радиационного захвата тепловых нейтронов в энергетической области (4,93-7,72) МэВ при различном времени задержки, находят энергетический интервал  $\Delta E$  в области (4,93-7,72) МэВ и время задержки, при которых обеспечивается максимальная контрастность измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов. Длина зонда выбрана равной 50 см. Найден оптимальный энергетический интервал  $\Delta E=(4,42-7,21)$  МэВ. Выбрано оптимальное время задержки  $t=600$  мкс.

На исследуемом топливе в импульсном режиме измеряют величину отношения  $C/O$  – отношение интенсивности ГИНР на ядрах углерода с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР на ядрах кислорода с энергией 6,1 МэВ и интенсивность ГИНР на ядрах золообразующих элементов с энергией (0,84 – 3,73) МэВ. После временной паузы (времени задержки) 600 мкс измеряли интенсивность ГИРЗ в найденном энергетическом интервале

$\Delta E=(4,42-7,21)$  МэВ. Зольность твердого топлива определяли по отношению величины  $C/O$  к интенсивности ГИНР с энергией  $(0,84-3,73)$  МэВ совместно интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  при выбранном времени задержки  $t$ .

В таблице представлены сопоставительные метрологические характеристики предлагаемого изобретения и прототипа.

Способ	Диапазон изменения зольности, %	Чувствительность, проц./% абс.
Прототип	16-46	1,77
Предлагаемый	16-46	2,36

Предлагаемый способ импульсного нейтронного зондирования характеризуется повышенной чувствительностью к зольности в условиях ее значительной изменчивости, что существенно расширяет сферу применения данного изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

### СПОСОБ ИМПУЛЬСНОГО НЕЙТРОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Способ импульсного нейтронного зондирования для оценки качества твердых полезных ископаемых, основанный на облучении среды импульсным потоком быстрых нейтронов и регистрации гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) быстрых нейтронов на ядрах углерода и кислорода (величина отношения C/O) и золообразующих элементов (Al, Si, S, Ca, Fe), отличающийся тем, что дополнительно на стандартных образцах твердого топлива с минимальной и максимальной зольностью: измеряют спектры нейтронного гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов в энергетической области (4,93-7,72) МэВ при различном времени задержки, находят энергетический интервал  $\Delta E$  в области (4,93-7,72) МэВ, при котором обеспечивается максимальная контрастность интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, выбирают время задержки  $t$  таким, чтобы обеспечить максимальную контрастность измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, а зольность твердого топлива определяют по отношению величины C/O к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале  $\Delta E$  при выбранном времени задержки  $t$ .

**ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ**  
(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

**202390083**

**А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:**

*G01N 23/204 (2006.01)*  
*G01N 23/222 (2006.01)*  
*G01V 5/10 (2006.01)*

Согласно Международной патентной классификации (МПК)

**Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:**

Просмотренная документация (система классификации и индексы МПК)  
G01N, G01V, G01T

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)  
ЕАПАТИС, Esp@cenet, PatSearch, Google Patents, PATENTSCOPE

**В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ**

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	EA 037999 B1 (ПАК Ю.) 22.06.2021.	1
A	EA 039075 B1 (ПАК Ю.) 30.11.2021.	1
A	WO 2016/007265 A1 (SABIA INC) 14.01.2016.	1
A	EP 1328827 B1 (SYMETRICA LIMITED SOUTHAMPTON) 27.08.2008.	1
A	EP 3629342 B1 (RES TRIANGLE INST) 09.06.2021.	1

последующие документы указаны в продолжении

\* Особые категории ссылочных документов:  
«А» - документ, определяющий общий уровень техники  
«D» - документ, приведенный в евразийской заявке  
«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее  
«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.  
«P» - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

«Т» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения  
«Х» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности  
«У» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории  
«&» - документ, являющийся патентом-аналогом  
«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: **02/05/2023**

Уполномоченное лицо:  
Начальник отдела механики,  
физики и электротехники

 Д.Ф. Крылов