

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **044472**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.08.30

(21) Номер заявки
202390083

(22) Дата подачи заявки
2022.12.20

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

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

(43) **2023.08.28**

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

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ПАК ЮРИЙ (KZ)

(56) EA-B1-037999
EA-B1-039075
WO-A1-2016007265
EP-B1-1328827
EP-B1-3629342

(72) Изобретатель:
**Пак Юрий, Пак Дмитрий Юрьевич,
Рагов 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 ΔE 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 ΔE 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 ΔE 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 ΔE при выбранном времени задержки t .

B1**044472****044472****B1**

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 (C) и кислорода (O), 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 ΔE 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 ΔE 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 ΔE 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 ΔE 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 ΔE интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, а зольность твердого топлива определяют по отношению величины C/O к интенсивности ГИРЗ с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале ΔE 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./с. 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 ΔE в области (4,93-7,72) МэВ и время задержки, при которых обеспечивается максимальная контрастность измеренной в найденном энергетическом интервале ΔE 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 ГИРЗ на ядрах углерода с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИРЗ на ядрах кислорода с энергией 6,1 МэВ и интенсивность ГИРЗ 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 ГИРЗ с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале ΔE 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, 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 ΔE 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 энергетиче-

ском интервале ΔE интенсивности ГИРЗ от стандартных образцов с минимальной и максимальной зольностью, а зольность твердого топлива определяют по отношению величины C/O к интенсивности ГИРЗ с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с интенсивностью ГИРЗ, измеренной в найденном энергетическом интервале ΔE при выбранном времени задержки t .



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
