



ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2021/0175.1

(22) 16.03.2021

(45) 22.04.2022, бюл. №16

(72) Пак Юрий; Пак Дмитрий Юрьевич; Вдовкин Александр Васильевич; Ибрагимова Диана Андреевна; Отубаев Ильдар Тимирханович

(73) Пак Юрий

(56) Мейер В.А., Ваганов П.А. Основы ядерной геофизики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985;

KZ 34108 B, 10.01.2020;

SU 473451 A1, 25.02.1978;

US 7511266 B1, 31.03.2009.

(54) **СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ УГЛЕРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН ПО ИМПУЛЬСНОЙ НЕЙТРОННОЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ**

(57) Изобретение относится к ядерно-физическим способам исследования, а именно к исследованию углеразведочных скважин нейтронным способом.

Задачей изобретения является более однозначное выделение угольных пластов и повышение чувствительности оценки качества угольных пластов.

Способ исследования углеразведочных скважин по импульсной нейтронной гамма-спектрометрии, заключающийся в облучении среды импульсным потоком быстрых нейтронов и регистрации гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) быстрых нейтронов ядрами углерода, кальция и кремния, отличающийся тем, что дополнительно на опорном угольном пласте находят длину зонда L , при которой обеспечивается максимальная интенсивность ГИНР на углероде с энергией 4,43 МэВ, при найденной длине зонда L в момент нейтронного импульса измеряют отношение интенсивности ГИНР на углероде с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (0,84-3,73) МэВ во временном окне Δt , менее времени замедления первичных нейтронов в опорном угольном пласте, а на опорном пласте плотного песчаника находят положение второго (дальнего от источника) зонда, располагаемого от первого (ближнего к источнику) зонда на

расстоянии не менее трех длин диффузии нейтронов и найденным вторым зондом измеряют интенсивность гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (4,93-7,73) МэВ при времени задержки t в интервале (300-1200 мкс), выбираемом из условия обеспечения максимальной контрастности измеренных интенсивностей ГИРЗ тепловых нейтронов с энергией (4,93-7,73) МэВ от опорных пластов угля и песчаника, а угольные пласты в разрезе скважин выделяют по максимуму интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ, минимуму интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ, минимуму интенсивности ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ, а качество угольных пластов (зольность) определяют по величине отношения интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ.

Технический результат изобретения состоит в повышении чувствительности к зольности угольного пласта и расширении сферы применения способа за счет дополнительного измерения на опорном угольном пласте отношения интенсивностей ГИНР на углероде с энергией 4,43 МэВ и породообразующих элементах с энергией (0,84-3,73) МэВ во временном окне Δt , менее времени замедления первичных нейтронов и нахождении на опорном пласте плотного песчаника положения второго зонда с учетом длины диффузии нейтронов, при котором измеряют интенсивность ГИРЗ тепловых нейтронов на породообразующих элементах с энергией (4,93-7,73) МэВ при времени задержки, выбираемом из условия максимальной контрастности измеренных интенсивностей ГИРЗ от опорных пластов угля и песчаника, а качество угольных пластов определяют по величине отношения интенсивностей ГИНР от углерода и породообразующих элементов совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ.

Изобретение относится к ядерно-физическим способам исследования, а именно к исследованию углеразведочных скважин нейтронным способом.

Известен импульсный нейтрон-нейтронный способ исследования углеразведочных скважин для выявления угольных пластов в разрезе скважин и оценки качества угольных пластов (Фоменко Н.Е., Попов В.В., Коваленко А.С. Исследование углеразведочных скважин методом импульсного нейтрон-нейтронного каротажа. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т.331, № 2. С. 151-161.). Суть известного способа заключается в облучении исследуемой среды импульсным потоком быстрых нейтронов и регистрации в заданные моменты времени тепловых нейтронов, интенсивность которых зависит от замедляющих и поглощающих свойств исследуемой среды.

Недостатком известного способа является низкая контрастность и сравнительно невысокая глубинность нейтрон-нейтронного метода.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является способ, заключающийся в облучении стенок скважины импульсным потоком быстрых нейтронов и регистрации мгновенного гамма-излучения, возникающего при неупругом рассеянии быстрых нейтронов на углероде с энергией 4,43 МэВ, кальция с энергией 3,73 МэВ и кремнии с энергией 1,78 МэВ (Мейер В.А., Ваганов П.А. Основы ядерной геофизики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 300 с.). Использование в известном способе инструментальных сигналов от углерода, являющегося индикатором угля, кальция и кремния как породообразующих элементов, позволяет выделить угольные пласты и оценить их качество (зольность угля).

Недостатком известного способа является невысокая достоверность выделения угольных пластов и низкая чувствительность оценки качества (зольности) угольных пластов, обусловленные ограниченностью инструментальных сигналов, несущих информацию о качестве и влиянием литологически разных пород на нейтронно-замедляющие и диффузионные характеристики.

Задачей изобретения является более однозначное выделение угольных пластов и повышение чувствительности оценки качества (зольности) угольных пластов.

Технический результат изобретения состоит в расширении сферы применения способа при исследовании углеразведочных скважин. Поставленная задача решается следующим образом. В процессе облучения стенок скважины импульсным потоком быстрых нейтронов с энергией 14 МэВ от импульсного нейтронного генератора дополнительно на опорном угольном пласте находят длину зонда L , при которой обеспечивается максимальная интенсивность гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) быстрых нейтронов на углероде с энергией 4,43 МэВ, при найденной длине зонда L в момент нейтронного импульса измеряют отношение интенсивности

ГИНР на углероде с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (0,84-3,73) МэВ во временном окне Δt , менее времени замедления первичных нейтронов в опорном угольном пласте, а на опорном пласте плотного песчаника находят положение второго (дальнего от источника) зонда, располагаемого от первого (ближнего к источнику) зонда на расстоянии не менее трех длин диффузии нейтронов и найденным вторым зондом измеряют интенсивность гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (4,93-7,73) МэВ при времени задержки t в интервале (300-1200 мкс), выбираемом из условия обеспечения максимальной контрастности измеренных интенсивностей ГИРЗ тепловых нейтронов с энергией (4,93-7,73) МэВ от опорных пластов угля и песчаника, а угольные пласты в разрезе скважин выделяют по максимуму интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ, минимуму интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ, минимуму интенсивности ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ, а качество угольных пластов (зольность) определяют по величине отношения интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ.

Суть способа состоит в выборе длины зонда для регистрации ГИНР с точки зрения обеспечения максимальной интенсивности ГИНР на углероде с энергией 4,43 МэВ, измерении в момент импульса быстрых нейтронов во временном окне Δt , выбранном менее времени замедления быстрых нейтронов, отношения интенсивности ГИНР на углероде с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (0,84-3,73) МэВ, нахождении на опорном пласте плотного песчаника положения второго зонда, на расстоянии не менее трех длин диффузии нейтронов от первого зонда, измерении вторым зондом интенсивности ГИРЗ тепловых нейтронов на породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (4,93-7,73) МэВ при времени задержки t в интервале (300-1200 мкс), выбираемом из условия обеспечения максимальной контрастности измеренной интенсивности ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ от опорных пластов угля и песчаника. При этом однозначное выделение угольных пластов в разрезе скважин осуществляют по трем критериальным параметрам: по максимуму интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ; минимуму интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ; минимуму интенсивности ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ, а качество угольных пластов (зольность) определяют по величине отношения интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ

Существенными отличиями изобретения от прототипа являются то, что на опорном угольном пласте находят длину зонда с точки зрения максимальной интенсивности ГИНР на углеводе с энергией 4,43 МэВ и измерении во временном окне Δt , менее времени замедления быстрых нейтронов, отношения интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР на основных породообразующих элементах с энергией (0,84-3,73) МэВ. Это позволяет свести к минимуму фоновое ГИРЗ и более четко выделить угольный пласт от породы. На опорном пласте плотного песчаника находят положение второго зонда с учетом длины диффузии нейтронов, с помощью которого измеряют интенсивность ГИРЗ тепловых нейтронов породообразующими элементами с энергией (4,93-7,73) МэВ при времени задержки, выбираемом из условия обеспечения максимальной контрастности измеренных интенсивностей ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ от опорных пластов угля и песчаника. Это позволяет обеспечить независимость показаний второго зонда от нейтронно-замедляющих свойств и более контрастно выделить угольный пласт от породы. При этом угольный пласт однозначно выделяют по трем критериальным параметрам, а качество угольных пластов определяют с повышенной чувствительностью по величине отношения интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР с энергией (0,84—3,73) МэВ совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ.

Интенсивности ГИНР на углеводе с энергией 4,43 МэВ и породообразующих (золотообразующих) элементах с энергией (0,84-3,73) МэВ меняются в обратной зависимости от зольности, а оценка зольности по величине отношения интенсивностей ГИНР от углевода и золотообразующих элементов совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с

энергией (4,93-7,73) МэВ существенно повышает чувствительность способа к зольности.

Пример реализации способа. Источником быстрых нейтронов служил импульсный генератор нейтронов (14 МэВ) мощностью $\sim 10^8$ н/с. В качестве детекторов мгновенного нейтронного гамма-излучения использован монокристалл германат висмута. Регистрация спектров гамма-излучения осуществлялась как во временном, так и энергетическом режиме. Длина зонда, ближнего к источнику нейтронов, выбрана равной 35 см. Длительность нейтронного импульса ~ 20 мкс. Период ~ 2500 мкс. Гамма-излучение неупругого рассеяния регистрировалась в момент нейтронного импульса во временном окне 30 мкс. ГИНР на углеводе измерялось в энергетическом окне (4,15-4,71) МэВ. Дальний от источника зонд располагался на расстоянии 50 см от ближнего зонда. Дальним детектором регистрировалось ГИРЗ тепловых нейтронов на породообразующих элементах в энергетическом интервале (4,93-7,73) МэВ при времени задержка ~ 1000 мкс. По максимуму интенсивности ГИНР в энергетическом интервале (4,15-4,71) МэВ, минимуму интенсивности ГИНР в энергетическом интервале (0,84-3,73) МэВ и минимуму интенсивности ГИРЗ в энергетическом интервале (4,93-7,73) МэВ однозначно выделяют угольные пласты в разрезе скважин, а зольность угольных пластов определяют по величине отношения интенсивностей ГИНР от углевода (4,15-4,71) МэВ и породообразующих элементов (0,84-3,73) МэВ совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ, что обеспечивает повышенную чувствительность способа к зольности.

В таблице представлены сопоставительные данные о чувствительности способов к зольности.

Способ	Чувствительность, проц./%абс
Прототип I по $\frac{C}{Si}$	1,21
Прототип II по $\frac{C}{Si+O}$	1,43
Предлагаемый	2,75

Предлагаемый способ в сравнении с известными выгодно отличается повышенной чувствительностью к зольности, что существенно расширяет сферу его применения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ исследования углеразведочных скважин по импульсной нейтронной гамма-спектрометрии, заключающийся в облучении среды импульсным потоком быстрых нейтронов и регистрации гамма-излучения неупругого рассеяния (ГИНР) быстрых нейтронов ядрами углевода, кальция и кремния, отличающийся тем, что дополнительно на опорном угольном пласте находят длину зонда L, при

которой обеспечивается максимальная интенсивность ГИНР на углеводе с энергией 4,43 МэВ, при найденной длине зонда L в момент нейтронного импульса измеряют отношение интенсивности ГИНР на углеводе с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (0,84-3,73) МэВ во временном окне Δt , менее времени замедления первичных нейтронов в опорном угольном пласте, а на опорном пласте плотного песчаника находят положение второго (дальнего от источника) зонда, располагаемого от первого (ближнего к источнику) зонда на расстоянии не менее трех длин диффузии нейтронов и найденным вторым зондом измеряют

интенсивность гамма-излучения радиационного захвата (ГИРЗ) тепловых нейтронов на основных породообразующих элементах (Al, Si, S, Ca, Fe) с энергией (4,93-7,73) МэВ при времени задержки t в интервале (300-1200 мкс), выбираемом из условия обеспечения максимальной контрастности измеренных интенсивностей ГИРЗ тепловых нейтронов с энергией (4,93-7,73) МэВ от опорных пластов угля и песчаника, а угольные пласты в разрезе скважин выделяют по максимуму

интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ, минимуму интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ, минимуму интенсивности ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ, а качество угольных пластов (зольность) определяют по величине отношения интенсивности ГИНР с энергией 4,43 МэВ к интенсивности ГИНР с энергией (0,84-3,73) МэВ совместно с измеренной интенсивностью ГИРЗ с энергией (4,93-7,73) МэВ.