

Г. В. ГОРШКОВ и Н. М. ЛЯТКОВСКАЯ

**К ВОПРОСУ О НЕЙТРОННОМ КАРРОТАЖЕ БУРОВЫХ СКВАЖИН  
ПО ГАММА-ЛУЧАМ**

(Представлено академиком В. Г. Хлопиным 9 X 1946)

В 1941 году Понтекорво <sup>(1)</sup> предложил новый вид радиоактивного карротажа буровых скважин — нейтронный карротаж.

Сущность его заключается в измерении вторичных лучей, испускаемых горными породами при облучении последних быстрыми нейтронами от искусственного нейтронного источника. В процессе прохождения быстрых нейтронов через толщи горных пород, окружающих ствол буровой скважины, они постепенно замедляются и превращаются в тепловые нейтроны. Можно построить прибор для нейтронного карротажа, который будет регистрировать непосредственно тепловые нейтроны <sup>(2)</sup>. С другой стороны, при взаимодействии нейтронов (главным образом тепловых) с ядрами элементов, входящих в состав горных пород, будут испускаться гамма-лучи, которые также можно регистрировать счетчиком Гейгера-Мюллера или ионизационной камерой, помещенной в карротажный снаряд. При этом втором способе можно использовать аппаратуру, которая была разработана для гамма-карротажа буровых скважин, немного видоизменив только карротажный снаряд.

Американские исследователи используют при нейтронном карротаже гамма-лучи <sup>(3)</sup>. Мы попытались <sup>(2)</sup> расчетным путем оценить эффект гамма-лучей в ионизационной камере при нейтронном источнике  $100\text{ mCi}$  и расстоянии между источником и центром камеры 20 см. Эти расчеты показали, что в водной среде эффект от гамма-лучей, обусловленных нейтронами, примерно в 25 раз выше, чем эффект от естественных гамма-лучей горной породы типа гранита, окружающей со всех сторон ионизационную камеру.

В настоящей работе мы экспериментальным путем измерили этот эффект и, кроме того, определили приблизительную толщину свинцовых фильтров, которые необходимо поставить между нейтронным источником и индикатором гамма-лучей (ионизационная камера, счетчик,) а также толщину свинцовых фильтров, которыми необходимо защитить индикатор от действия рассеянных гамма-лучей нейтронного источника. Опыты были проведены в той же искусственной скважине, которая нами использовалась в предыдущей работе <sup>(2)</sup>. В качестве индикатора гамма-лучей мы взяли латунную счетную трубку с толщиной стенок в 1,5 мм, диаметром 2,2 см и рабочей длиной 8,5 см. Анодом счетчика служила стальная проволока 0,3 мм толщиной. Импульсы от счетчика усиливались четырехкаскадным усилителем на металлических лампах и регистрировались обычным стрелочным нумератором. Высокое напряжение на счетчик подавалось от сухих батарей с общим напряжением около 1400 V. Разрешающая способность нашей установ-

ки была определена по максимальному количеству импульсов, которое способен считать стрелочный нумератор при постепенном приближении препарата радия. Время восстановления было равно 0,027 сек. Поправки на просчет импульсов мы вводили по формуле (4):

$$n = n_0 e^{-n_0 \tau},$$

где  $n$  — число считаемых импульсов и  $n_0$  — истинное число импульсов, которое наблюдалось бы при отсутствии просчетов. Константа Ива для нашего счетчика, определенная нами при помощи препарата радия 3,5 мг на расстоянии 4,5 м от центра счетчика, оказалась равной  $3 \cdot 10^8$ .

Для измерения гамма-лучей, возбуждаемых в воде нейтронами, мы использовали поочередно препараты Rn и Rn + Be, для того чтобы выделить эффект, обусловленный нейтронами, так как спектральный состав гамма-лучей практически можно считать одинаковым вследствие ничтожно малой интенсивности дополнительных гамма-лучей, возникающих в ампулке Rn + Be, по сравнению с гамма-лучами, испускаемыми Rn. Препарат помещался в отверстие в свинцовом блоке,

Таблица 1

А м п у л а	Общее число импульсов в счетчике в 1 мин.	Число импульсов в 1 мин. на 1 mCu	Число импульсов в 1 мин., обусловленное гамма-лучами от нейтронов	Среднее число импульсов в 1 мин., обусловленное гамма-лучами от нейтронов
7,6 mCu Rn + Be . . . . .	50	6,6	5,2	—
28 mCu Rn . . . . .	39	1,4	—	5
3,5 mCu Rn + Be . . . . .	22	6,2	4,8	—
158 mCu Rn . . . . .	220	1,4	—	—

который защищал счетчик от прямых гамма-лучей источника. Толщину свинцового экрана между источником и счетчиком мы взяли равной 18 см. Счетчик при измерениях окружался свинцовым цилиндром в 1 см толщины для уменьшения фона, создаваемого рассеянными гамма-лучами. Искусственная скважина была наполнена водой, так что счетчик и нейтронный источник, находящиеся в водонепроницаемой внутренней трубе (скважине), были окружены со всех сторон цилиндрическим слоем воды толщиной в 23 см и высотой в 88 см.

Полученные данные с поправкой на просчет импульсов и за вычетом натурального фона\* приведены в табл. 1.

Из приведенных данных видно, что рассеянные + прямые гамма-лучи источника при окружении счетчика свинцовым экраном толщиной в 1 см. создают эффект в счетчике в 1,4 импульса в минуту, в то время как гамма-лучи от нейтронов создают эффект в 5 импульсов в минуту на 1 mCu источника. Прямые гамма-лучи от источника должны создавать эффект, который приближенно можно вычислить по формуле

$$J = K \frac{m}{r^2} S e^{-\mu d},$$

где  $K$  — константа Ива для счетчика, равная у нас  $3 \cdot 10^8$ ,  $m$  — число грамм Ra в радиоактивном препарате, равное у нас  $10^{-3}$ ,  $r$  — расстояние от центра источника до середины счетчика, равное 23 см,  $S$  — поверхность счетчика, равная  $57 \text{ см}^2$ ,  $\mu$  — коэффициент поглощения

\* Под натуральным фоном здесь подразумевается фон в счетчике в искусственной скважине со всеми экранами, но без соответствующего радиоактивного препарата.

гамма-лучей в свинце, равный 0,543, и  $d$  — толщина свинца между источником и счетчиком, равная 18 см. Подставляя значения букв, получим  $J = 1,2$ .

Принимая во внимание, что через 18 см свинца может пройти только жесткая компонента гамма-лучей RaC, мы должны полученный результат уменьшить в 1,75 раза (<sup>5</sup>), после чего получим эффект от прямых гамма-лучей в 0,7 импульса в минуту. Полученная на опыте величина 1,4 импульса в минуту, следовательно, примерно на половину обуславливается рассеянным гамма-излучением. Чтобы исследовать хотя бы качественно спектр рассеянного гамма-излучения в этом случае, мы произвели ряд дополнительных измерений со счетчиком, защищенным от рассеянного гамма-излучения свинцовыми цилиндрами различной толщины. Эти данные, полученные с ампулой в 3,5 mCu, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Толщина свинцового цилиндра вокруг счетчика в мм . . . . .	0	3	5	10
Число импульсов в счетчике с поправкой на просчеты и натуральный фон . . . . .	118	8	6	5
Число импульсов в минуту, отнесенное к 1 mCu . . . . .	34	2,3	1,7	1,4
Число импульсов в минуту на 1 mCu, обусловленное рассеянным излучением . . . . .	33,3	1,6	1,0	0,7

Из табл. 2 видно, что достаточно окружить счетчик свинцовым экраном толщиной 3 мм, чтобы фон рассеянных гамма-лучей снизился до значения, которое примерно в 3 раза ниже, чем эффект от гамма-лучей, обусловленных нейтронами. Дальнейшее увеличение толщины экрана вокруг счетчика еще больше снижает этот фон, и при толщине в 10 мм фон рассеянных гамма-лучей уже в 7 раз ниже эффекта, обусловленного гамма-лучами, образованными под действием нейтронов. При увеличении блока свинца между источником нейтронов и индикатором гамма-лучей будет снижен фон от прямых гамма-лучей, а также несколько уменьшен и фон рассеянных гамма-лучей. Возможно, что для дальнейшего снижения фона рассеянных гамма-лучей при практическом осуществлении нейтронного карротажа придется увеличивать толщину фильтра вокруг индикатора.

Перейдем теперь к сравнению эффекта гамма-лучей, обусловленных нейтронами, с эффектом, создаваемым гамма-лучами горных пород, окружающих снаряд в буровой скважине со всех сторон.

Вычислим эффект, создаваемый горными породами типа гранита. Этот эффект можно вычислить по формуле

$$J = \frac{4\pi K Q \rho}{\mu} S,$$

где  $Q$  — концентрация Ra в граните, которую мы примем равной  $3 \cdot 10^{-12}$  г Ra/г,  $\rho$  — плотность породы, равная приблизительно 2,7, и  $\mu$  — средний коэффициент поглощения гамма-лучей радия для бесконечно толстого слоя, равный 0,17. Таким образом, получаем  $J \cong 10$ .

Если принять во внимание ториевое семейство в горных породах, а также калий, то мы получим общий эффект примерно в 22 импульса в минуту. Эффект от искусственных гамма-лучей при источнике в 100 mCu будет 500 импульсов в минуту. Таким образом, эффект от искусственных гамма-лучей будет в 20 с лишним раз выше фона, создаваемого естественными гамма-лучами. Следовательно, при нейтронном карротаже по гамма-лучам, обусловленным нейтронами, этот фон не может оказывать заметного влияния.

На основании полученных данных по счетчикам Гейгера—Мюллера мы легко можем оценить ионизационный ток в камере, зная ее константу  $K$ . В самом деле, число импульсов  $N$  в счетчике от  $m$  г Ra на расстоянии  $r$  см от счетчика выражается формулой

$$N = K_c \frac{m}{r^2} S.$$

С другой стороны, ионизационный ток  $J$  мы можем от того же источника и на том же расстоянии выразить формулой:

$$J = K_k \frac{m}{r^2} v,$$

где  $v$  — объем ионизационной камеры в см<sup>3</sup>. Из этих двух формул имеем:

$$J = N \frac{v}{S} \frac{K_k}{K_c}$$

Мы определили эффект от гамма-лучей на счетчике при источнике в 100 мСи в 500 импульсов в минуту. Это позволяет нам определить  $J$  для камеры в 2000 см<sup>3</sup> (с которой производились расчеты в нашей работе (2)), константу Ива для которой мы примем равной  $5 \cdot 10^9$ .

Подставляя в формулу эти значения, получим

$$J \cong 4,7 \cdot 10^{-14} \text{ А.}$$

В работе (2) мы оценили этот эффект в  $5 \cdot 10^{-14}$  А. Если пересчитать эффект на расстояние между источником и центром камеры в 23 см, мы получим около  $3,5 \cdot 10^{-14}$  А. Согласие нужно признать вполне удовлетворительным.

Поступило  
9 X 1946

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. Pontecorvo, Oil and Gas J., 40, № 18, 32 (1941). <sup>2</sup> Г. В. Горшков и Н. М. Лятковская, Вестн. Лен. ун-та, № 2 (1946). <sup>3</sup> Н. E. Fearon, Oil Weekly, 118, No. 238 (1945). <sup>4</sup> Н. Volz, Z. Physik, 93, 539 (1935). <sup>5</sup> Meyer and Schweidler, Radioaktivität. 1927.