

Рис. 2. Теплопроводность системы KCl — UCl<sub>4</sub>: 1 — изотерма для 600 °С; 2 — теплопроводность на линии ликвидуса; 3 — диаграмма плавкости.

Результаты измерений показывают, что с увеличением радиуса катиона уменьшаются абсолютные величины теплопроводности. Последние определены в сравнительно узких температурных интервалах, что связано с трудностью проведения эксперимента из-за высокой упругости пара тетрахлорида урана при больших температурах. На рис. 1 и 2 показаны изотермы теплопроводности изученных солевых систем для 600 °С. Можно сделать вывод об отсутствии аддитивности, а значит, и о наличии структурных изменений по составу.

Экстраполяцией найдена теплопроводность вблизи температуры плавления. Характерно, что теплопроводность повторяет линию ликвидуса, особенно хорошо это заметно для системы NaCl — UCl<sub>4</sub>.

Отсутствие общей теории, связывающей теплопроводность с межчастичным взаимодействием, не позволяет в настоящее время выделить для расплавленных солей все составляющие теплопроводности, а именно: колебательную, диффузионную, фотонную, а также перенос тепла, обусловленный появлением при плавлении новых видов движения (вращение и крутильные колебания) сравнительно громоздких единиц расплава.

Таким образом, изучение температурной зависимости теплопроводности расплавленных смесей тетрахлорида урана с хлоридами натрия и калия показало, что с увеличением температуры теплопроводность расплавов растет.

Поступило в Редакцию 25/VI 1973 г.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cutler M. «Appl. Sci.», 1961, v. 32, № 6, p. 1075.
2. Mallon C., Cutler M. «Rev. Sci. Instrum.», 1965, v. 36, № 7, p. 1036.
3. Юрчак Р. П., Смирнов Б. П. «Заводск. лаборатория», 1968, № 2, с. 240.
4. Быстрой Г. П., Десятник В. Н. В сб.: Физическая химия и электрохимия расплавленных и твердых электролитов. Свердловск, изд. УНЦ АН СССР, 1973, с. 56.
5. Десятник В. Н., Ничков И. Ф., Распопин С. П. «Изв. вузов. Цветная металлургия», 1969, № 5, с. 95.
6. Десятник В. Н. и др. «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 6, с. 631.
7. Bogacz A., Ziolk W. «Roczn. chem.», 1970, v. 44, p. 665.
8. Поляков П. В., Гильдебрандт Э. М. См. [4], с. 53.
9. Егоров Б. Н., Ревякина М. П., Федорова Т. М. См. [4], с. 54.

## Применение мюонного метода для определения плотности горных пород в условиях высокой радиоактивности

БОНДАРЕНКО В. М., БРОВКИН В. И., ТАРХОВ А. Г., ЧЕРТКОВ В. Я., ПОЛЯКОВ В. Н., ПРОЗОРОВ Л. Б.

УДК 531.75 : 550.83

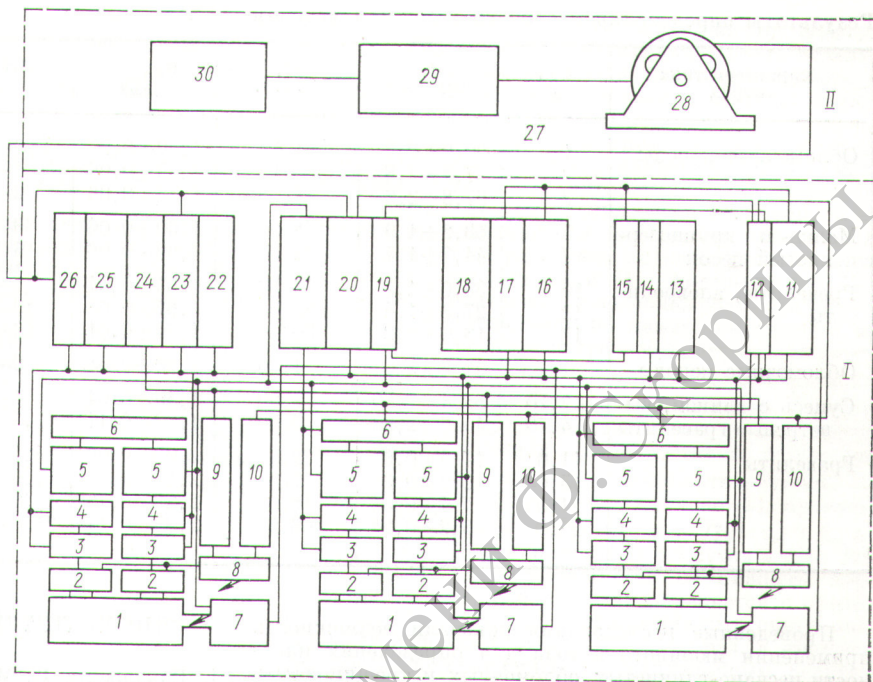
Для решения многих инженерно-геологических задач важное значение имеет определение плотности пород как в естественном залегании, так и в условиях искусственно созданного массива при гидротехнических и иных сооружениях. Применительно к этим задачам разработаны и успешно применяются методы, основанные, в частности, на измерении ослабления потока  $\gamma$ -квантов от искусственного источника. Однако применение  $\gamma$ - $\gamma$ -методов возможно лишь при условии, что источник  $\gamma$ -квантов обладает интенсивностью, которая в четыре—пять и более раз превышает интенсивность естественной радиоактивности. Лабораторные и полевые инженерно-геологические методы изучения плотности горных пород, помимо своей трудоемкости, часто не обладают достаточной представительностью и точностью. Указанные недостатки можно в известной степени исключить, если использовать скважинный вариант мюонного метода [1, 2], который в настоящее

время успешно применяется для определения средней и послонной плотности горных пород.

Для регистрации интенсивности мюонного компонента космических излучений в скважинах применялась установка ИИКЛ-2, состоящая из двух основных частей — скважинного зонда и наземного регистрирующего пульта (рис. 1). Функциональная схема скважинного прибора состоит из трех основных элементов: блока регистрации мюонов; блока автокалировки детектора; стабилизаторов напряжений. В блок регистрации входят три детектора мюонов, усилители, дискриминаторы, схемы совпадений и формирователей выходных импульсов. В качестве детектора излучения используются счетчики Вавилова — Черенкова, изготовленные из флинта ТФ-1. Применение тяжелого флинта и дискриминаторов, а также возможность регулировки коэффициентов усиления фотоумножителей позволяют полностью исключить влияние радио-

Рис. 1. Блок-схема скважинной установки ИИГЛ-2:

I — каротажный снаряд; II — наземная часть установки; 1 — детекторы Вавилова — Черенкова; 2 — ФЭУ; 3 — предварительные усилители; 4 — усилители; 5 — дискриминаторы; 6 — схемы совпадений; 7 — генераторы световых импульсов; 8 — потенциометры; 9 — стабилизаторы; 10 — электродвигатели; 11 — усилитель электродвигателей; 12 — коммутатор; 13 — синхронный детектор; 14 — усилитель; 15 — модулятор; 16 — формирователь импульсов для запуска генераторов света; 17 — пересчетная схема; 18 — кварцевый генератор опорной частоты; 19 — интегратор; 20 — формирователь выходных импульсов; 21 — стабилизатор опорного напряжения; 22 — реле времени; 23 — датчики температуры; 24 — высоковольтный преобразователь; 25 — управляемый стабилизатор преобразователя; 26 — входной стабилизатор; 27 — кабель; 28 — лебедка; 29 — блок регистрации; 30 — блок питания.



активного фона горных пород на результаты измерений интенсивности космических мюонов.

Измерения потока мюонов проводились в скважинах, радиоактивность которых превышала нормальный фон в десятки и сотни раз (рис. 2). Литологически породы представляли собой обломки с щебеннистым и глинистым материалом. Ниже этой толщи залегали скальные трещиноватые породы. Наблюдения выполнялись на глубинах, соответствующих литологическим границам. В случае достаточно мощного слоя литологически однородных пород проводились дополнительные измерения в пределах этого слоя. Скважинным измерениям предшествовали измерения на поверхности, после

обработки скважины регистрировался поток мюонов над устьем скважины. Для повышения надежности исследуемого параметра измерения проводились с различными уровнями дискриминации.

В таблице приведены данные о глубине точек измерения потока мюонов  $N_{\phi}$ , его интенсивности  $I$ , мощности отдельных слоев  $\Delta N_{\phi}$ , а также расчетные величины: средняя плотность пород  $\sigma_{\text{сред}}$ , залегающих между дневной поверхностью и данной точкой наблюдения, плотность слоев  $\sigma_{\text{сл}}$ , выделенных по интервалам наблюдений, плотность литологически однородных слоев горных пород  $\sigma_{\text{сл}}$ .

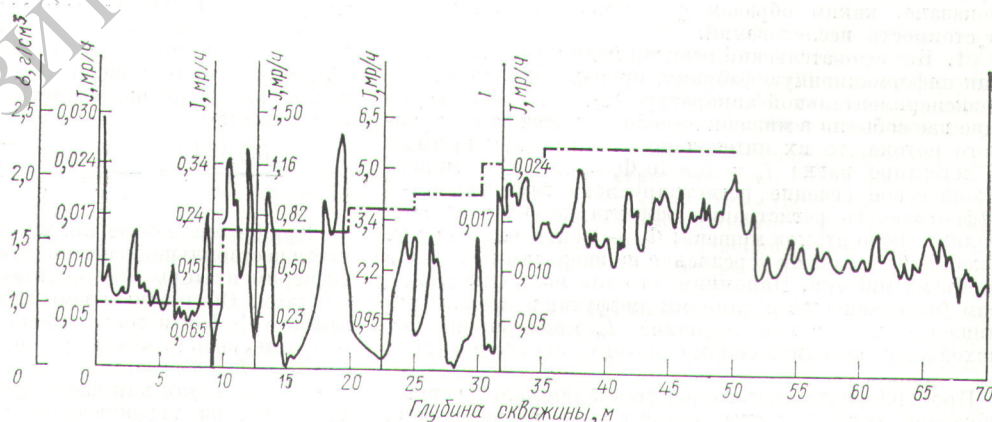


Рис. 2. Результаты определения средних значений плотности горных пород мюонным методом (штрих-пунктир) и с помощью  $\gamma$ -каротажа (сплошная линия).

Результаты определения плотности мюонным методом

Характеристика пород	$N_{\Phi}$ , м	$I$ , имп/мин	$H$ , м. в. э.	$\sigma_{\text{сред}}$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta H_{\Phi}$ , м	$\sigma'_{\text{сл}}$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma''_{\text{сл}}$ , г/см <sup>3</sup>
Обломочные породы	1	90,9±2,7	1,50	1,50±0,05	0-1	1,50±0,05	} 1,57±0,06
	2	77,3±2,8	3,10	1,55±0,06	1-2	1,60±0,08	
	3	67,8±2,6	4,70	1,57±0,06	2-3	1,60±0,08	
Мелко- и крупнозернистый песок	5	53,2±1,9	8,00	1,60±0,06	3-5	1,65±1,08	} 1,65±0,08
	7	44,7±1,7	11,30	1,62±0,06	5-7	1,65±0,09	
Гравелиты, алевролиты	10	33,0±1,5	16,50	1,65±0,07	7-10	1,73±0,09	} 1,87±0,06
	12	27,3±1,4	20,0	1,67±0,08	10-12	1,75±0,10	
	17	18,0±0,2	30,0	1,76±0,01	12-17	2,00±0,08	
Обломочные породы	1	68,7±2,03	1,20	1,20±0,04	0-1	1,20±0,04	} 1,20±0,04
	2,70	55,4±1,80	3,50	1,30±0,04	1-2,7	1,35±0,05	
Супесь с глиной, выветрелые гравелиты	4,70	40,6±2,90	7,50	1,60±0,11	2,7-4,7	2,00±0,12	} 1,70±0,18
	11,0	17,5±0,6	22,5	2,05±0,07	4,7-11,0	2,38±0,07	
Гравелиты	15,0	12,0±0,6	32,3	2,15±0,10	11,0-15,0	2,45±0,12	} 2,51±0,15
	21,0	7,4±0,34	48,0	2,28±0,10	15,0-21,0	2,62±0,14	
	27,0	5,2±0,24	63,5	2,35±0,11	21,0-27,0	2,59±0,15	

Проведенные исследования доказали возможность применения мюонного метода для определения плотности песчано-глинистых, обломочных и трещиноватых скальных пород, обладающих повышенной радиоактивностью.

Поступило в Редакцию 30/VII 1973 г.  
В окончательной редакции 3/X 1973 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В. М. и др. «Бюлл. изобрет. и товарн. знаков», 1962, № 12.
2. Бондаренко В. М. Использование космических лучей в геологии. М., «Недра», 1965.

Учет фона при определении стоимости физических исследований на реакторах

ПЕТРОВ Ю. В.

УДК 621.039.564.2

В работе [1] поставлен вопрос о необходимости учета фона в характеристиках нейтронного потока реакторов, предназначенных для физических исследований. Ниже показано, каким образом фон может быть включен в стоимость исследований.

1. Исследовательский реактор можно рассматривать как информационную фабрику, производящую события в экспериментальной аппаратуре [2]. Если интересующие нас события в мишени линейно зависят от нейтронного потока, то их интенсивность в единицу времени в детекторе равна  $I_e = \beta_e n (\sigma_e \Phi_e)$ , где  $\sigma_e$  — микроскопическое сечение регистрируемого эффекта;  $\beta_e$  — эффективность регистрации эффекта детектором;  $n$  — полное число атомов мишени;  $\Phi_e$  — нейтронный поток. Скобки ( ) означают усреднение по энергиям нейтронов и объему мишени. Напомним, что для малых по размерам (по сравнению с длинами диффузии и замедления) мишеней и каналов величина  $I_e$  пропорциональна исходному невозмущенному потоку нейтронов [2] \*.

\* Пропорциональность сохранится и для малых черных образцов, когда исходный поток в месте расположения мишени возмущен сильно, вопреки неточному утверждению в работе [3].

Если в детекторе присутствует заметный фон с интенсивностью  $I_b$ , то обычно в течение времени  $I_e$  набирается число событий эффекта и фона, равное  $N_{e+b} = (I_e + I_b) T_e$ , а затем в течение времени  $T_b$  измеряется только фон  $N_b = I_b T_b$ , причем значение  $I_e$  определяется как разность соответствующих  $N/T$ , а ошибка  $(\Delta I_e)^2$  состоит из ошибок измерений  $N_{e+b}$  и  $N_b$ . Если последняя носит чисто статистический характер, то, как известно:

$$\frac{[(\Delta I_e)^2]^{1/2}}{I_e} = \frac{1}{\sqrt{I_e T_e}} \sqrt{1 + \frac{I_b (T_e + T_b)}{I_e T_b}} \quad (1)$$

При большом фоне для уменьшения ошибок, связанных с нестабильной работой измерительной аппаратуры, экспериментаторы предпочитают работать короткими циклами. Обозначив время цикла  $\tau$ , время измерения эффекта + фон и только фона соответственно  $\tau_e$  и  $\tau_b$ , получим связь между текущим (календарным) временем  $t$  и  $T_e$ ,  $T_b$ :  $T_e = t\tau_e/\tau$ ,  $T_b = t\tau_b/\tau$ . В общем случае  $\tau_e + \tau_b \neq \tau$ , так как часть времени цикла может быть потрачена на переключение аппаратуры.

Если принять, что статистический вес измеряемой величины (например,  $\sigma_e$ ) по сравнению с измерениями