

В настоящее время ведутся работы по созданию INTRANET-версии комплекса, которая позволит централизовать технологические процессы в рамках крупного объединения, в состав которого может

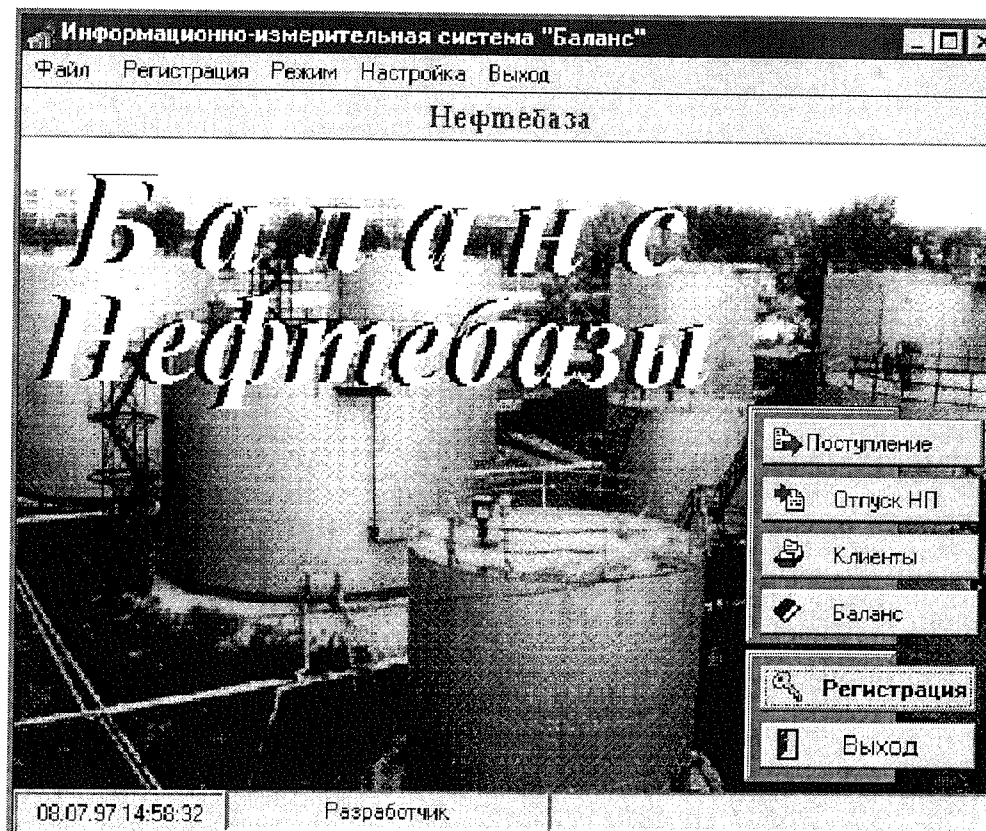


Рис.6. Дружественный интерфейс программного комплекса системы "Баланс"

входить значительное число отдельных территориально распределенных предприятий нефтепродуктообеспечения.

УДК 621.039.84:543.71

Ю.А. ВОЛЧЕНКО

НЕЙТРОННЫЙ МЕТОД ЭКСПРЕССНОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ПРОБ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Теоретически и экспериментально исследован перенос нейтронов в гомогенных пробах неорганических материалов, геометрические размеры которых сравнимы с длиной свободного пробега нейтронов внешнего источника в материале пробы. Показано преимущество абсорбционных влагомеров с детектором медленных нейтронов перед другими типами нейтронных влагомеров при контроле влажности таких проб. Разработана методика расчета абсорбционных влагомеров, использованная при создании влагомеров НИ10ВЩ, НИ10ВА, НИ20ВБ и анализатора кернов нефтеносных пород АНКР-2М.

Влажность исходного сырья, полуфабрикатов или конечной продукции является одним из основных параметров, подлежащих периодическому или непрерывному контролю в различных технологических процессах. Периодический контроль осуществляется путем отбора и анализа проб, геометрические размеры которых ограничены по разным причинам: технология производства данного материала, ограничение пробы по весу и т.д. Аналогичная задача возникает при исследовании кернов различных геологических пород.

Потребность в экспрессных неразрушающих средствах контроля влажности проб различных материалов, в особенности радиоактивных или токсичных, может быть удовлетворена за счет нейтронного метода, который обеспечивает бесконтактность измерений, высокую экспрессность и достаточно высокую точность. Тем не менее потенциальные возможности нейтронного метода для контроля влажности в пробах не реализованы из-за практически полного отсутствия исследований по переносу нейтронов в таких объектах с позиции неразрушающего контроля. Объясняется это тем, что геометрические размеры подобных объектов сравнимы с длиной свободного пробега быстрых нейтронов в материале объекта контроля. В теории это приводит к значительным математическим трудностям при решении кинетического уравнения переноса нейтронов с соответствующими граничными условиями. Практические трудности связаны с необходимостью экспериментального определения, весьма трудо-

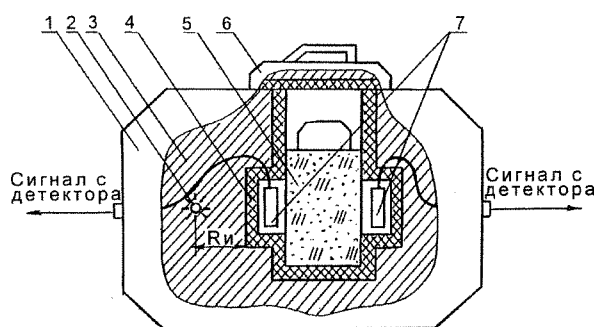


Рис. 1

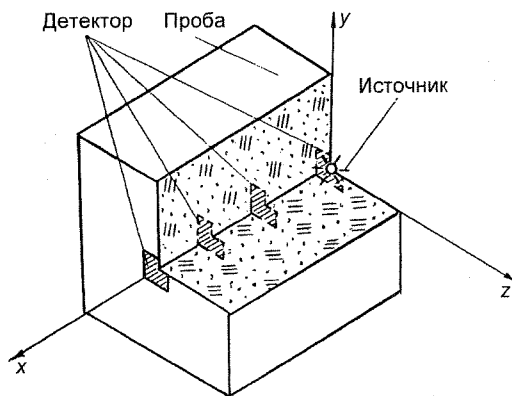


Рис. 2

Рис. 1. Схема измерительного блока радиационно-безопасного нейтронного влагомера проб материалов: 1 – корпус, 2 – радиоактивный источник нейтронов, 3 – водородосодержащий замедлитель, 4 – поглощающий нейтроны экран, 5 – контейнер с пробой, 6 – защитная крышка, 7 – детектор нейтронов

Рис. 2. Геометрия расчета переноса нейтронов в пробах

емкого, различных зависимостей (влияния на показания детектора нейтронов переменных химсостава, размеров объекта, плотности, энергетического спектрального распределения нейтронов источника и т.п.), по результатам анализа которых можно разработать конструкцию конкретного влагомера. Поэтому нейтронные влагомеры для анализа проб неорганических материалов не выпускаются как в России, так и за рубежом.

Основными требованиями к нейтронному влагомеру являются экспрессность, высокая точность и радиационная безопасность для обслуживающего персонала. Обеспечение экспрессности нейтронного влагомера для проб вынуждает применять источники с выходом вплоть до 10^7 нейтр.·с⁻¹, что в свою очередь требует применения биологической защиты. Схема измерительного блока такого нейтронного влагомера для проб материалов показана на рис. 1. Описать перенос нейтронов в столь сложных геометрических условиях аналитически невозможно, а использование метода Монте-Карло становится неэффективным из-за громоздкости программы расчета. Поэтому задача была разделена на две независимые и более простые задачи: моделирование переноса нейтронов в пробах, облучаемых внешним источником (рис. 2.), и моделирование переноса нейтронов в водородосодержащих защитно-замедлительных блоках (рис. 3.) с поглощающим нейтроны экраном на излучающей поверхности и радиоактивным источником внутри. Для моделирования этих задач методом Монте-Карло использован комплекс программ ММК-2226 [1], т.к. он позволяет моделировать делящиеся и неделящиеся материалы с внешними

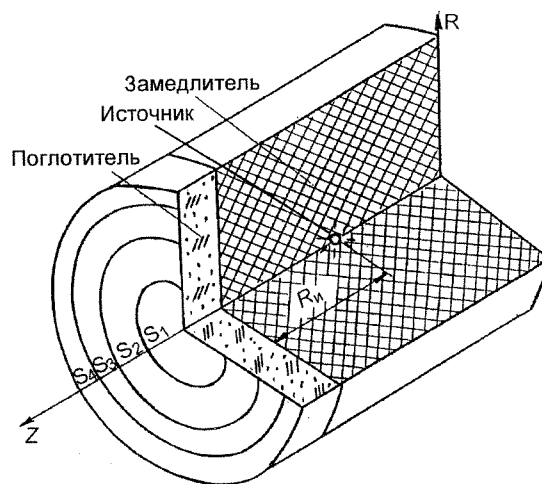


Рис. 3. Геометрия расчета переноса нейтронов в защитно-замедлительном блоке: S_1 – S_4 – площади регистрации нейтронов

и внутренними источниками нейтронов. Основные результаты моделирования проверялись экспериментально.

Перенос нейтронов исследовался в пробах различных материалов, типичными представителями которых являются шихта двуокиси урана и песчаниковый керн, отбираемый при бурении нефтеразведочных скважин. Переменными величинами при моделировании являлись влажность, химсостав, геометрические размеры пробы и энергия нейтронов источника, которая задавалась в виде энергетических интервалов, принятых в 26-групповой системе констант БНАБ-78 [2]. Результатом расчета являлась величина отклика соответствующего детектора нейтронов в абсорбционной или альбедной геометрии контроля, определяемая соотношением

$$K = \sum_{j=1}^{j=26} \epsilon_j(E) \cdot \Phi_j(x, y, z, E) \cdot \Delta E_j, \quad (1)$$

где j – номер энергетической группы нейтронов по [2]; ϵ_j – эффективность регистрации детектором j -й группы нейтронов; $\Phi(x, y, z, E)$ – плотность потока нейтронов j -й группы, падающего на поверхность детектора; ΔE_j – энергетический интервал для нейтронов j -й группы.

Полученные расчетным путем показания детектора нейтронов различного типа использовались для вычисления относительно-абсолютной чувствительности моделируемых влагомеров по формуле

$$\eta = \Delta K / K_0 \cdot \Delta W, \quad (2)$$

где K_0 – показание детектора при минимальной массовой доле влаги W .

Результаты моделирования переноса нейтронов в пробах шихты двуокиси урана и в песчаниковом керне, а также экспериментальная проверка следующих из них выводов приведены на рис.4,а,б и рис.5,а,б. Из результатов, приведенных на рис.4,а и рис.5,а следует сделать вывод о том, что абсорбционный влагомер (источник нейтронов и детектор расположены на противоположных сторонах пробы) с детектором медленных нейтронов может обеспечить точность в 2–3 раза выше, чем альбедный влагомер с таким же детектором или абсорбционный влагомер с детектором быстрых нейтронов. Экспериментальные результаты, приведенные на рис.4,б и рис.5,б, подтверждают этот вывод. Такое преимущество абсорбционных влагомеров с детектором медленных нейтронов обусловлено существованием резкого максимума у зависимости относительно-абсолютной чувствительности от энергии нейтронов источника. Величина максимума и его положение по оси энергии нейтронов зависят от химсостава и геометрических размеров пробы, а также диапазона контроля влажности. Это позволяет оптимизировать условия контроля путем подбора такого источника, у которого доля нейтронов в спектре с энергиями, близкими к оптимальной, максимальна.

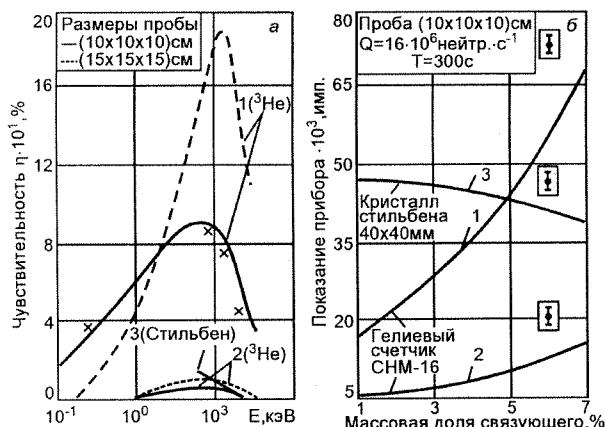


Рис.4

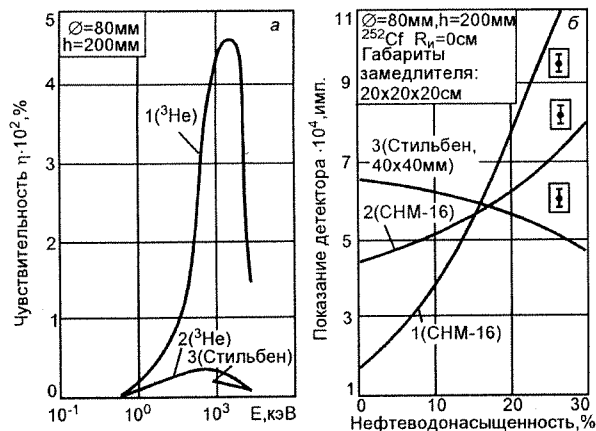


Рис.5

Рис.4. Расчетное (а) и экспериментальное (б) сравнение абсорбционного (1), альбедного (2) методов и метода ослабления быстрых нейтронов (3) на пробах шихты двуокиси урана различных геометрических размеров в диапазоне связующего (1–7%)

Рис.5. Расчетное (а) и экспериментальное (б) сравнение абсорбционного (1), альбедного (2) методов и метода ослабления быстрых нейтронов (3) на песчаниковом керне в диапазоне нефтеводонасыщенности (7–30%)

Перенос нейтронов в водородосодержащих защитных материалах исследовался на примере парафиновых цилиндрических блоков (наиболее распространенный материал в нейтронных влагомерах) различных размеров с экраном из карбида бора на торцевой поверхности. Внутри блока по горизон-

тальной оси перемещается радионуклидный источник нейтронов. Толщина экрана из карбида бора выбрана равной 20 мм, что обеспечивает практически полное поглощение медленных нейтронов вплоть до энергии 46,5 эВ. В расчетах диаметр парафиновых блоков менялся от 20 до 40 см, а длина

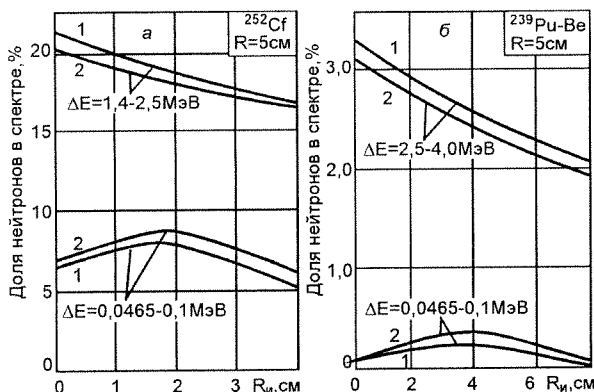


Рис.6

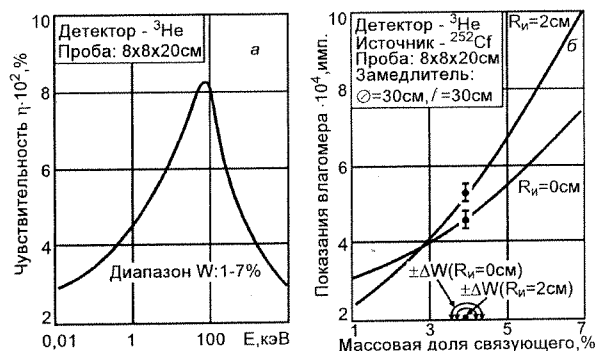


Рис.7

Рис.6. Зависимость доли нейтронов различных энергетических групп в спектре нейтронов, излучаемых рабочей поверхностью защитно-замедлительных парафиновых блоков, от расстояния "источник-поглощающий экран". Габариты блока: 1 - $\varnothing = 20$ см, $L = 10$ см, 2 - $\varnothing = 40$ см, $L = 20$ см

Рис.7. Повышение точности определения массовой доли связующего в пробе шихты двуокиси урана за счет регулировки спектра нейтронов: а - зависимость чувствительности от энергии нейтронов источника; б - зависимости показаний влагомеров с различным расположением источника в замедлителе от массовой доли связующего

изменялась от 10 до 20 см. Это соответствует толщине защитного слоя, необходимого для снижения дозы нейтронного излучения на поверхности защиты до предельно допустимого уровня, если использовать источники с выходом от 10^6 нейтр.·с⁻¹ до 10^7 нейтр.·с⁻¹. Расчеты проведены для двух основных типов радионуклидных источников, выпускаемых серийно отечественной промышленностью: 252 калифорний и 239 плутоний-бериллий. Относительная доля нейтронов различных энергетических групп на конкретной площади (S_1 – S_4) излучающей поверхности блока рассчитывалась по соотношению

$$\theta_{\text{пов}} = \Phi_j(r, z, E) / \sum_j \Phi_j(r, z, E), \quad (3)$$

где $\Phi_j(r, z, E)$ – плотность потока нейтронов j -й группы на рассматриваемой поверхности площадью S .

Типичные результаты приведены на рис.6. Видно, что при перемещении источника по горизонтальной оси блока на излучающей поверхности происходит "перекачка" нейтронов из высокоэнергетических в низкоэнергетические группы. Однако увеличение доли нейтронов низкоэнергетических групп невелико по сравнению с долей этих же нейтронов при расположении источника вплотную к изготовленному из карбида бора экрану. Это обстоятельство сильно ограничивает возможность "регулировки" спектра нейтронов, но все-таки позволяет значительно повысить точность абсорбционного влагомера. Так, например, при определении массовой доли связующего (на 90–95% состоит из воды) в пробе шихты двуокиси урана размерами 8x8x20 см (см. рис.7) удастся повысить точность в 2 раза [3]. Полученные энергетические спектры для основных типов радионуклидных источников нейтронов приведены в табл.1 и 2.

Так как замедляющие свойства парафи-

Таблица 1
Энергетические спектры нейтронов на излучающей поверхности блока с источником 252 калифорний

Относит. доля нейтронов, $\theta \cdot 10^{-2}$	$R_{\text{и}}, \text{см}$					
	0	1	2	3	4	5
6,5–10,5 МэВ	0	0	0	0	0	0
4,0–6,5	2,5	2,2	1,8	1,6	1,4	1,3
2,5–4,0	10,2	9,4	8,4	6,8	6,2	6,0
1,4–2,5	19,9	19,2	18,2	17,3	16,2	15,0
0,8–1,4	16,9	17,6	17,0	16,4	15,8	14,6
0,4–0,8	13,0	13,9	14,4	14,3	13,6	12,7
0,2–0,4	12,2	12,6	13,2	11,3	10,8	9,6
0,1–0,2	8,3	8,6	8,9	8,7	8,5	7,2
46,5–100 кэВ	6,9	8,3	8,6	7,5	6,3	4,7
21,5–46,5	3,9	4,4	5,2	5,5	4,5	3,6
10,0–21,5	2,6	2,9	3,4	3,7	4,3	3,0
4,65–10,0	1,7	1,9	2,5	3,2	3,5	2,2
2,15–4,65	0,92	1,2	1,7	1,9	2,2	1,6
1,0–2,15	0,59	0,84	1,3	1,4	1,6	1,0

Таблица 2
Энергетические спектры нейтронов на излучающей
поверхности блока с источником ^{239}Pu -бериллий

Относит. доля нейтронов, $\theta \cdot 10^{-2}$	$R_{\text{пл}}, \text{см}$				
	0	2	4	6	8
6,5–10,5 МэВ	4,2	3,8	3,5	3,3	2,9
4,6–6,5	18,4	15,7	14,2	13,5	10,6
2,5–4,0	30,9	27,6	24,3	21,6	20,0
1,4–2,5	28,4	26,3	22,5	20,6	18,5
0,8–1,4	10,4	12,3	14,5	11,7	9,4
0,4–0,8	6,2	7,8	10,3	6,9	5,2
0,2–0,4	4,7	6,8	8,2	4,7	3,8
0,1–0,2	2,5	3,2	6,2	3,8	2,7
46,5–100 кэВ	1,4	2,8	4,6	2,5	1,3
21,5–46,5	0,84	1,3	2,7	1,6	0,96
10,0–21,5	0,58	0,99	2,2	1,3	0,76
4,65–10,0	0,38	0,64	1,4	0,92	0,59
2,15–4,65	0,26	0,44	0,66	0,87	0,49
1,0–2,15	0,16	0,35	0,47	0,66	0,36

на и других водородосодержащих защитных материалов (полиэтилен, оргстекло и т.п.) очень близки, то данные, приведенные в табл.1 и 2, можно использовать для оценки этих материалов.

Поскольку на основании результатов моделирования переноса нейтронов в пробах методом Монте-Карло не удалось получить полуэмпирическую формулу для вычисления плотности потока нейтронов в пробе гомогенного материала произвольного химсостава, необходимой для оценки величины оптимальной энергии источника нейтронов, нами было получено аналитическое решение кинетического уравнения Больцмана в 26-групповом диффузионно-возрастном приближении для гомогенных сред произвольного химсостава, геометрические размеры которых сравнимы с длиной свободного пробега нейтронов источника в веществе среды.

Уравнение возраста в трехмерной геометрии, учитывающее поглощение нейтронов в процессе замедления, для гомогенной среды, в которой действует точечный изотропный полиэнергетический источник нейтронов, в стационарном случае

(источник с постоянным выходом нейтронов) имеет вид [4]

$$\frac{\partial q(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \nabla^2 q(x, y, z, \tau) - \alpha^2(\tau) q(x, y, z, \tau) + Q(\tau) \cdot \delta(x, y, z), \quad (4)$$

где $q(x, y, z, \tau)$ – плотность замедления нейтронов; $\alpha^2(\tau) \equiv \Sigma_a(\tau)/D(\tau)$; $\Sigma_a(\tau)$ – макроскопическое сечение поглощения нейтронов возраста τ в среде; $D(\tau)$ – коэффициент диффузии нейтронов возраста τ в среде; $Q(\tau) \cdot \delta(x, y, z)$ – точечный изотропный полиэнергетический источник нейтронов; $\delta(x, y, z)$ – дельта-функция Дирака.

Если точечный источник нейтронов поместить на поверхности пробы (см. рис.1.), то, пренебрегая взаимодействием нейтронов с воздухом, граничные условия можно записать в следующем виде (далее $q(x, y, z, \tau)$, будем обозначать просто q):

$$\begin{aligned} 1. \quad -\epsilon \frac{\partial q}{\partial x} + q \Big|_{x=0} &= 0, & \epsilon \frac{\partial q}{\partial x} + q \Big|_{x=a} &= 0; \\ 2. \quad \frac{\partial q}{\partial y} \Big|_{y=0} &= 0, & \epsilon \frac{\partial q}{\partial y} + q \Big|_{y=b} &= 0; \\ 3. \quad \frac{\partial q}{\partial z} \Big|_{z=0} &= 0, & \epsilon \frac{\partial q}{\partial z} + q \Big|_{z=c} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

В (5) под ϵ понимается средняя длина линейной экстраполяции плотности замедления у плоской границы раздела среда–пустота, определяемая следующим образом:

$$\epsilon = \frac{\int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{наб}}} \epsilon(\tau) d\tau}{\tau_{\text{наб}} - \tau_{\text{ист}}}, \quad (6)$$

где $\tau_{\text{наб}}$ – возраст регистрируемых нейтронов; $\tau_{\text{ист}}$ – возраст нейтронов полиэнергетического источника.

Решение уравнения возраста (4) с граничными условиями (5) имеет вид

$$q(x, y, z, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} X_k(x) \cdot Y_l(y) \cdot Z_m(z) \times$$

$$\times \left[\frac{e^{-(\lambda_k^2 + \mu_l^2 + \nu_m^2)(\tau_{\text{поб}} - \tau_{\text{ист}}) - \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} \alpha^2(\tau) d\tau}}{\|X_k(x) \cdot Y_l(y) \cdot Z_m(z)\|^2} \cdot \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} Q(\tau) \cdot e^{(\lambda_k^2 + \mu_l^2 + \nu_m^2)(\tau_{\text{поб}} - \tau_{\text{ист}}) + \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} \alpha^2(\tau) d\tau} \cdot d\tau \right], \quad (7)$$

где $X_k(x)$, $Y_l(y)$, $Z_m(z)$ – собственные функции краевой задачи (4–5).

Уравнение диффузии в трехмерной геометрии, где источником нейтронов является плотность замедления $q(x, y, z, \tau)$, имеет вид [4]

$$\nabla^2 \Phi(x, y, z, \tau) - \alpha^2(\tau) \Phi(x, y, z, \tau) + \beta(\tau) \cdot q(x, y, z, \tau) = 0, \quad (8)$$

где $\Phi(x, y, z, \tau)$ – плотность потока нейтронов, имеющих возраст τ ; $\alpha^2(\tau) \equiv \Sigma_a(\tau)/D(\tau)$; $\beta(\tau) \equiv 1/D(\tau)$.

Граничные условия, так же, как для уравнения возраста, можно записать в следующем виде (далее $\Phi(x, y, z, \tau)$ будем обозначать просто Φ):

$$\begin{aligned} 1. \quad & -\varepsilon \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \Phi \Big|_{x=0} = 0, \quad \varepsilon \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \Phi \Big|_{x=a} = 0; \\ 2. \quad & \frac{\partial \Phi}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad \varepsilon \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \Phi \Big|_{y=b} = 0; \\ 3. \quad & \frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad \varepsilon \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \Phi \Big|_{z=c} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Решение для уравнения диффузии (8) с граничными условиями (9) имеет вид

$$\Phi(x, y, z, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\beta(\tau) \cdot T_{k,l,m}(\tau)}{\lambda_k^2 + \mu_l^2 + \nu_m^2 + \alpha^2(\tau)} \cdot X_k(x) \cdot Y_l(y) \cdot Z_m(z), \quad (10)$$

где

$$T_{k,l,m}(\tau) = \frac{e^{-(\lambda_k^2 + \mu_l^2 + \nu_m^2)(\tau_{\text{поб}} - \tau_{\text{ист}}) - \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} \alpha^2(\tau) d\tau}}{\|X_k(x) \cdot Y_l(y) \cdot Z_m(z)\|^2} \times \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} Q(\tau) \cdot e^{(\lambda_k^2 + \mu_l^2 + \nu_m^2)(\tau_{\text{поб}} - \tau_{\text{ист}}) + \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} \alpha^2(\tau) d\tau} \cdot d\tau. \quad (11)$$

Выражение (10) описывает пространственное распределение плотности потока нейтронов возраста τ в трехмерной гомогенной среде конечных размеров, которое обусловлено действием полиэнергетического, точечного, изотропного источника нейтронов, расположенного на поверхности среды. Суммарное значение плотности потока нейтронов на площадке, ограниченной в пределах $-b_1 < y < b_1$, $-c_1 < z < c_1$ и с центром на оси x , находится интегрированием $\Phi(x, y, z, \tau)$ по этой площадке:

$$\Psi(x, \tau) = 4 \int_0^{b_1} \int_0^{c_1} \Phi(x, y, z, \tau) dy dz = 4 \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{k,l,m}(\tau) \cdot X_k(x) \cdot \sin \frac{\mu_l b_1}{b} \cdot \sin \frac{\nu_m c_1}{c}, \quad (12)$$

где

$$A_{k,l,m}(\tau) = \frac{\beta(\tau) \cdot T_{k,l,m}(\tau)}{\lambda_k^2 + \mu_l^2 + \nu_m^2 + \alpha^2(\tau)}. \quad (13)$$

Считая, что площадка, по которой интегрируется плотность потока нейтронов, есть некоторый идеальный детектор нейтронов, обладающий эффективностью регистрации нейтронов $\varepsilon_d(\tau)$, можно записать выражение для отклика такого детектора на изменение плотности потока нейтронов в следующем виде:

$$K = \int_{\tau_{\text{ист}}}^{\tau_{\text{поб}}} \varepsilon_d(\tau) \cdot \Psi(x, \tau) d\tau \equiv \sum_j \varepsilon_d(\tau_j) \Psi(x, \tau_j) \Delta \tau_j, \quad (14)$$

где τ_j – возраст нейтронов, имеющих энергию конца j -го энергетического интервала шкалы разбиения энергии нейтронов на группы, принятой в [2].

С помощью выражения (14) можно оценить отклик детектора нейтронов с эффективностью регистрации $\epsilon_d(\tau)$, который обусловлен действием полиэнергетического источника нейтронов $Q(\tau)$, расположенного на поверхности гомогенной среды конечных размеров. Если источник нейтронов моноэнергетический, то, меняя его положение по шкале энергии, можно оценить влияние начальной энергии нейтронов источника, которыми облучают пробу конечных размеров, на отклик детектора нейтронов.

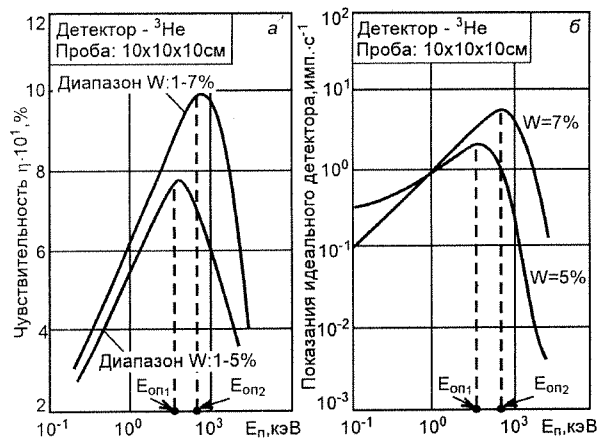


Рис.8. Зависимости относительно-абсолютной чувствительности, рассчитанной по ММК-2226 (а) и показаний идеального детектора, рассчитанных в диффузионно-возрастном приближении (б) для пробы шихты двуокиси урана от энергии нейтронов источника

На рис.8 сравниваются способы определения оптимальной энергии нейтронов источника в пробе шихты двуокиси урана по критерию относительно-абсолютной чувствительности, рассчитанной по результатам вычисления плотности потока нейтронов методом Монте-Карло с помощью программного комплекса ММК-2226 [1], и по показаниям идеального детектора, рассчитанных в диффузионно-возрастном приближении по выражениям (10)–(14). Видно, что расхождение в величине оптимальной энергии нейтронов источника, рассчитанной этими двумя способами, не превышает 10%. Следовательно, оптимальную энергию нейтронов источника можно рассчитывать с помощью полученного нами аналитического решения кинетического уравнения Больцмана в 26-групповом диффузионно-возрастном приближении с точностью, удовлетворяющей нужды практики.

Таким образом, разработка новых абсорбционных влагомеров сводится к нахождению величины оптимальной энергии нейтронов источника расчетным путем для пробы заданных параметров, детектора, обладающего эффективностью регистрации $\epsilon(\tau)$, и выбору по этой энергии типа источника нейтронов и его положения на оси защитно-замедлительного блока с помощью данных табл.1 и 2. Эта

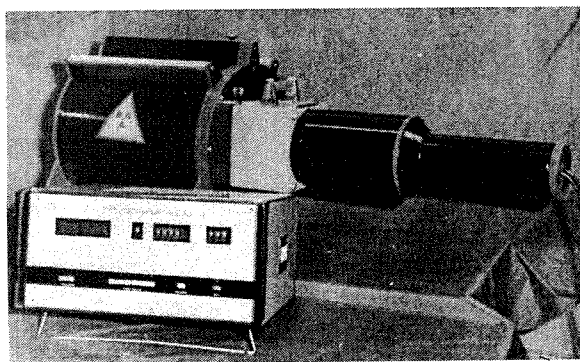


Рис.9. Общий вид абсорбционных влагомеров НИ10ВШ, НИ10ВА, НИ20ВБ

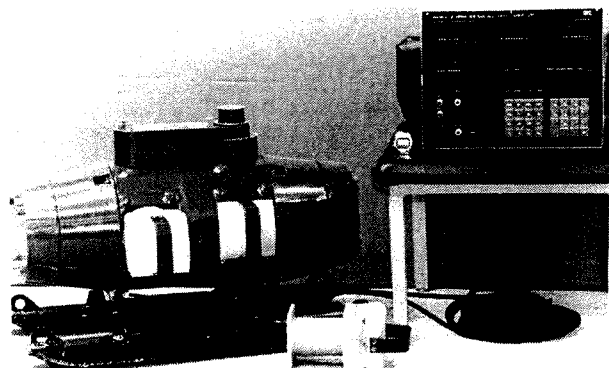


Рис.10. Общий вид анализатора (влагомера-плотнoмера) керна нефтеносных пород АНКР-2М

методика была использована при разработке абсорбционных нейтронных влагомеров НИ10ВШ, НИ10ВА, НИ20ВБ (рис.9) и анализатора керна нефтеносных пород АНКР-2М (рис.10).

Такие влагомеры при мощности источника $1 \cdot 10^6$ нейтр./с обеспечивают за 5 мин определение влажности, либо концентрации углеводородных жидкостей (например, в кернах нефтеносных пород) в пробах объемом 0,5-1,0 дм³ с абсолютной погрешностью не хуже $\pm 0,25\%$ в диапазоне от 1,0 до 50%. Опытные образцы влагомеров внедрены на ряде предприятий Минатома, Минтопэнерго, Минстройматериалов. Они могут эффективно использоваться в порошковой металлургии, в черной и цветной металлургии, в химической промышленности, в геологии, в промышленности стройматериалов и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Франк-Каменцкий А.Д. Библиотека подпрограмм на ФОРТРАНЕ для расчета реакторов методом Монте-Карло // Сборник докладов по программам и методам физического расчета быстрых реакторов. – Димитровград: СЭВ, НИИАР, 1975. – С.250–254.
2. Групповые константы для расчета реакторов и защиты: Справочник / Л.П. Абагян, Н.О. Базазянц, М.И. Николаев, А.М. Цибуля; Под ред. М.И. Николаева. – М.: Энергоиздат, 1981. – 232 с.
3. Патент № 1345804 Российской Федерации. Радиационный способ определения концентрации водорода в пробах вещества / Ю.А. Волченко, 1993, МКИ G01N 23/02.
4. Бекурц К., Виртц К. Нейтронная физика / Пер. с англ. И.Л. Чихладзе, А.Д. Климанова; Под ред. Л.А. Микаэляна, В.И. Лебедева. – М.: Атомиздат, 1968. – 456 с.

УДК 622.24.063.001.5

*Ю. А. ВОЛЧЕНКО, А. И. БЕЗУГЛОВ, Н. П. КЛИМЕНКОВ, Ю. К. ТОУШКАНОВ, Н. Н. ЧИСЛОВ***ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЫХ РАСТВОРОВ ПРИ БУРЕНИИ НЕФТЕГАЗОПРОМЫСЛОВЫХ И НЕФТЕГАЗОРАЗВЕДОЧНЫХ СКВАЖИН**

Показана необходимость оперативного контроля без отбора проб основных параметров буровых растворов при бурении нефтегазопромысловых и нефтегазопромысловых скважин. Описан комплекс технических средств экспрессного контроля параметров буровых растворов (КИБР), обеспечивающий такой контроль при бурении скважин.

При бурении нефтегазопромысловых и нефтегазопромысловых скважин забой промывается специальными растворами, наиболее распространенными из которых на территории России, а особенно в Западной Сибири, являются глинистые растворы на водной основе.

Основные функции бурового раствора следующие: очищать скважину от обломков выбуренной породы (шлама) и выносить их на поверхность; удерживать частицы выбуренной породы во взвешенном состоянии при остановке циркуляции раствора; охлаждать долото и облегчать разрушение породы в призабойной зоне; создавать давление на стенки скважины для предупреждения водо-, нефте-, газопроявлений; оказывать физико-химическое воздействие на стенки скважины, предупреждая их разрушение; передавать энергию гидравлическому забойному двигателю (при бурении такими двигателями); обеспечивать сохранение проницаемости продуктивного пласта при его вскрытии и др. Чтобы буровой раствор мог выполнять свои функции, необходимо поддерживать в заданных пределах величину следующих параметров раствора: плотность, водоотдачу, концентрацию твердых частиц в растворе, вязкость, степень засоленности раствора, расход раствора через скважину. Через каждые 15–30 мин, в зависимости от глубины скважины, все количество раствора, имеющегося в работе, проходит через скважину, вследствие чего параметры его изменяются, и в раствор нужно добавлять соответствующие химреагенты, чтобы привести эти параметры в норму. Для успешного проведения процесса бурения информацию об указанных параметрах необходимо иметь, особенно во время вскрытия продуктивного пласта, по крайней мере, через каждые 10–15 мин. Однако существующие в России и за рубежом контрольно-измерительные комплексы позволяют регистрировать через каждые 10 мин только расход раствора через скважину, плотность, температуру и удельное сопротивление раствора. Поэтому на практике водоотдачу, вязкость и концентрацию твердых частиц в растворе определяют путем отбора и анализа проб раствора, о засоленности же судят косвенно, по изменению удельного сопротивления раствора. При этом, например, на определение водоотдачи с помощью прибора типа ВМ-6 затрачивается (вместе с подготовкой пробы) не менее 40 мин. Определение вязкости и концентрации твердых частиц требует почти таких же затрат времени.

Отсутствие экспрессного контроля за водоотдачей приводит к тому, что продуктивный пласт обычно вскрывают при величине водоотдачи 10–12 см³/30 мин, а не при положенной по технологии величине водоотдачи 4–6 см³/30 мин. Такое нарушение технологии, в свою очередь, приводит к тому, что, например в Западной Сибири, каждая введенная в строй новая скважина выходит на проектную мощность только через 6–18 месяцев, т.к. повышенное проникновение флюида (жидкость вместе с мелкими глинистыми частицами и химреагентами) в поровое пространство продуктивного пласта приводит к закупорке пор и, вследствие этого, к резкому снижению дебита скважины (если флюид проникает в продуктивный пласт на расстояние до 0,5 м, то ожидаемый дебит скважины снижается на 90%). Отсутствие оперативного контроля за вязкостью приводит к снижению скорости бурения либо к плохому выносу шлама из скважины, вследствие чего возникает аварийная ситуация – прихват бурового инст-