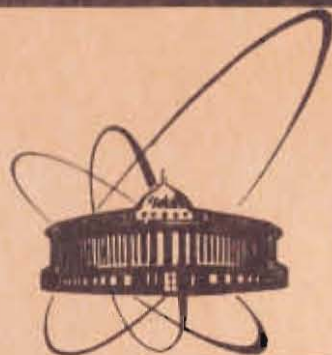


85-802



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P16-85-802

В.Н.Бучнев, М.М.Комочков, Ю.В.Мокров

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЕЙ
НЕКОТОРЫХ ДОЗИМЕТРОВ НЕЙТРОНОВ
В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ ОТ 1 эВ ДО 4 кэВ

1985

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая зависимость чувствительности детекторов нейтронов является одной из важнейших характеристик, определяющих их применимость в качестве дозиметров в радиационном контроле нейтронов широкого энергетического диапазона.

В настоящей работе экспериментально определены значения чувствительностей $\epsilon(E)$ для диапазона энергий $E \in [38; 4]$ кэВ прибора ДН-А-1¹ и счетчика СМ-14 в комбинированном полиэтиленовом замедлителе. Конструкция комбинированного замедлителя представлена на рис. 1. Эти приборы широко используются в ОИЯИ в качестве дозиметров нейтронов, и знание $\epsilon(E)$ необходимо для определения их погрешности.

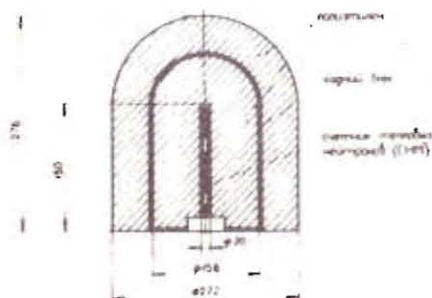


Рис. 1. Комбинированный замедлитель нейтронов.

1. ГЕОМЕТРИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Измерения $\epsilon(E)$ проводились в пучке импульсного реактора ИБР-30 на расстоянии 1000 м от активной зоны при средней мощности реактора 20 кВт и частоте импульсов мощности 4 Гц. Геометрия измерений представлена на рис. 2. Пучок нейтронов форми-

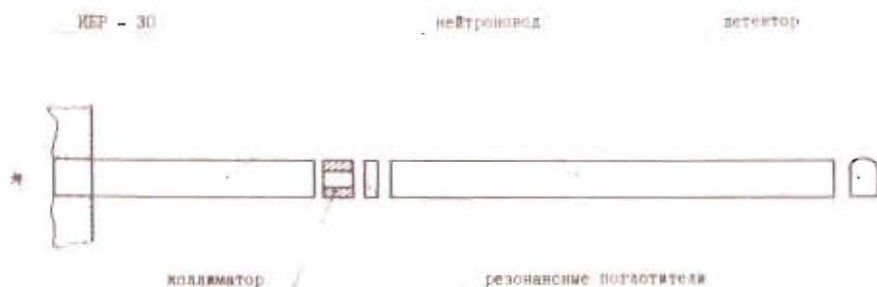


Рис. 2. Геометрия эксперимента.

вался коллиматорами, а детекторы располагались так, чтобы ось пучка нейтронов проходила через их центр. В месте расположения детекторов определялся профиль пучка в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью сцинтилляционного детектора LiJ(Eu) в полиэтиленовом шаре диаметром 5 см. Неоднородность пучка нейтронов в сечении, перпендикулярном его оси, не превышала $\pm 5\%$ относительно его центра для детектора максимальных размеров. Фон определялся по результатам измерений с резонансными поглотителями из In, Ag, Co и Mn, которые располагались в пучке нейтронов. По известному положению их резонансов в сечении калибровалась также шкала временного анализатора. Для снижения постоянного фона от медленных нейтронов в пучке находился кадмиевый экран толщиной 1 мм.

Временные распределения сигналов с детекторов определялись с помощью ЭВМ "MERA-60", работающей в программе "FORUM", и выводились на печать. Экспозиция с каждым детектором контролировалась двумя борными счетчиками в замедлителях - мониторами, расположенными вблизи нейтронотода.

Чувствительность $\epsilon(E)$ при энергии E определялась как отношение показаний приборов за вычетом фона, получаемых из временного распределения сигналов, к значению флюенса нейтронов с этой энергией в месте расположения детекторов. Энергия нейтронов определялась по времени пролета ими известного расстояния l.

Расчет номера канала N_k по заданной энергии проводился по формуле:

$$N_k = 72,29 \cdot l / (t_0 \cdot \sqrt{E}) \cdot b, \quad /1/$$

где: t_0 - ширина канала при временном анализе, равная 32 мкс; b - поправка на каналы, вводимая из-за опережения стартовым импульсом, запускающим анализатор, импульса мощности на ~ 180 мкс.

Для уменьшения случайной погрешности измерений при расчетах $\epsilon(E)$ проводилось суммирование счетов в нескольких каналах.

Величина флюенса нейтронов с энергией E для использования в расчетах $\epsilon(E)$ определялась тремя различными способами.

1. По измерению с образцовым всеволновым счетчиком нейтронов ОВС-3М², временные распределения сигналов которого определялись в месте измерений $\epsilon(E)$ при тех же условиях, что и для исследуемых приборов. Так как чувствительность ОВС-3М постоянна в диапазоне энергий нейтронов от тепловых до 5 МэВ с точностью не хуже 5% , величину $\epsilon(E)$ можно определить по формуле:

$$\epsilon(E) = \frac{\sum_{i=1}^p N_{ki}}{\sum_{i=1}^p N_{oi}} \cdot \epsilon_0 \cdot a, \quad /2/$$

где $\sum_{i=1}^p N_{ki}$ и $\sum_{i=1}^p N_{oi}$ - сумма счетов за вычетом фона в каналах,

соответствующих энергии E для дозиметра и ОВС-3М соответственно; ϵ_0 - чувствительность ОВС-3М для нейтронов Pu-Be источника, равная $0,68 \pm 0,03$ имп.нейтр.⁻¹ см² по результатам аттестации во ВНИИМ им. Д.И.Менделеева; a - коэффициент, учитывающий различие потоков нейтронов в месте измерений при экспозиции на пучке исследуемых приборов и ОВС-3М, определялся как среднее значение отношений показаний мониторов за время соответствующего измерения; p - число суммируемых каналов.

2. С использованием показаний 1/v-счетчика /СНМ-II/, градуированного в месте проведения измерений с помощью золотой фольги весом 113 мг, диаметром 20 мм и толщиной 20 мкм, облученной в кадмиевом экране толщиной 1 мм. Градуировка состояла в следующем.

Снималось временное распределение сигналов счетчика СНМ-II и находилась сумма счетов $N_{гд}$ в каналах, соответствующих энергии резонанса E_p в сечении золота при 4,9 эВ. Суммирование проводилось от канала, соответствующего энергии $E_1 = 4,5$ эВ, до канала, соответствующего энергии $E_2 = 5,2$ эВ. На установке УМФ-1500М определялась активность A_{Cd} фольги, приведенная к бесконечному времени облучения, и по известному числу ядер N_A в ней определялась плотность потока нейтронов ϕ_0 при энергии 4,9 эВ по формуле:

$$\phi_0 = \frac{A_{Cd}}{N_A (I_{1/v} + G_p - I')}, \quad /3/$$

где $I_{1/v}$ - резонансный интеграл 1/v - части сечения золота, равный 40 б^{-3} ; I' - избыточный /над 1/v-частью/ резонансный интеграл, равный 1505 б^{-3} ; G_p - коэффициент самоэкранирования фольги в надтепловой области, для использованной фольги он равен 0,66.

Так как сечение бора меняется по закону $\sim 1/\sqrt{E}$ от тепловых нейтронов до энергий 10 кэВ, а спектр нейтронов в надтепловой области принимается $\sim 1/E$, то флюенс нейтронов с энергией E определяется по показаниям 1/v - счетчика с помощью градуировочного коэффициента k, рассчитываемого по формуле:

$$k = \frac{N_{гд}}{\int_{E_1}^{E_2} \frac{\phi_0 \cdot dE}{E}} \cdot \sqrt{\frac{E_p}{E}}. \quad /4/$$

При этом формула для расчета $\epsilon(E)$ имеет вид:

$$\epsilon(E) = \frac{\sum_{i=1}^p N_{ki}}{\sum_{i=1}^p N_i^{1/v}} \cdot k \cdot a, \quad /5/$$

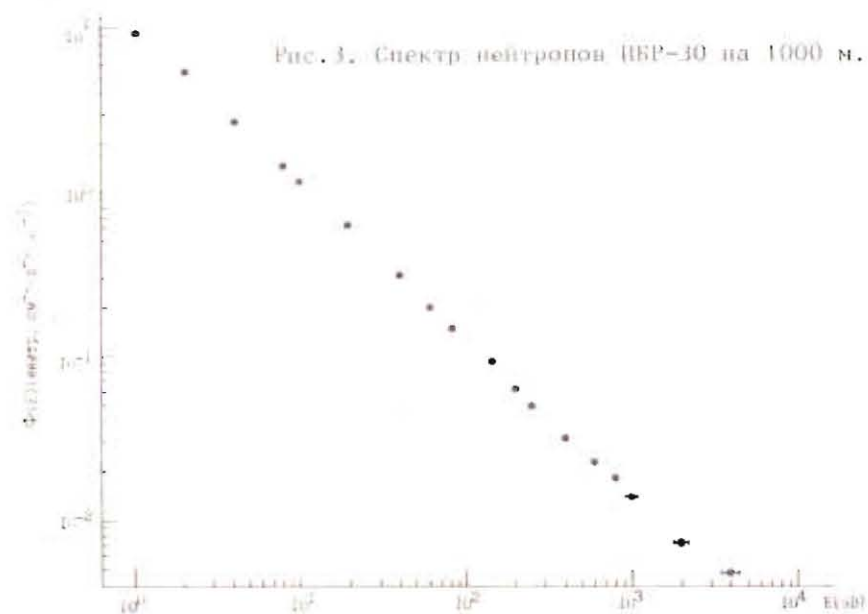
3. По спектру нейтронов $\phi(E)$, рассчитанному из временного распределения отсчетов $\sum_{i=1}^p N_i$ пропорционального счетчика СММ0-5

/при давлении наполняющего его газа BF_3 236 мм рт.ст. и обогащении бором-10 86%/, как это сделано в работе ⁴.

Спектр нейтронов, полученный таким методом на пролетном расстоянии 1000 м, представлен на рис.3. Погрешности измерений не превышают размеров точек, если они не указаны. В диапазоне энергий от 1 эВ до 4 кэВ спектр пропорционален $E^{-0,95}$. Формула для расчета $\phi(E)$ имеет вид:

$$\phi(E) = \frac{\sum_{i=1}^p N_{Ei}}{\sum_{i=1}^p N_i} \cdot \frac{a}{B}, \quad (6)$$

где B - коэффициент, учитывающий эффективность регистрации нейтронов счетчиком.



2. ОЦЕНКА ПРОСЧЕТОВ

Так как поле излучения ИБР-30 является импульсным во времени, было необходимо оценить просчеты регистрирующей аппаратуры. Для этого определялись временные распределения отсчетов приборов при следующих условиях:

- с изотопным источником нейтронов, расположенным вблизи детектора прибора при закрытом шибере пучка - определялся счет в каналах анализатора $N_{и}$;

- с изотопным источником нейтронов в том же месте при открытом шибере - определялся счет в каналах анализатора $N_{и+п}$;

- без изотопного источника нейтронов при открытом шибере - определялся счет в каналах анализатора $N_{п}$.

Положение источника выбиралось таким, чтобы в каналах, соответствующих энергии 1 кэВ, $N_{и} = N_{п}$. Для различных энергий E определялась величина отношения ρ :

$$\rho = \frac{N_{и+п} - N_{п}}{N_{и}}. \quad (7)$$

В том энергетическом диапазоне, где величина ρ равна 1 в пределах погрешности измерений, просчетами можно пренебречь. Аналогичные измерения проводились на расстоянии 500 м от реактора, на котором средние загрузки приборов в несколько раз выше.

На рис.4 и 5 представлены значения ρ для приборов ОВС-3М и ДН-А-1 соответственно. Из рисунков видно, что просчетами обоих приборов на расстоянии 1000 м можно пренебречь с погрешностью, не превышающей 10% для диапазона энергий от 1 эВ до 4 кэВ. Просчеты счетчика СММ-14 в комбинированном замедлителе не должны также превышать 10%, так как датчики обоих приборов собраны по одной электронной схеме, а значения чувствительности его при энергии до 4 кэВ ниже, чем у ОВС-3М.

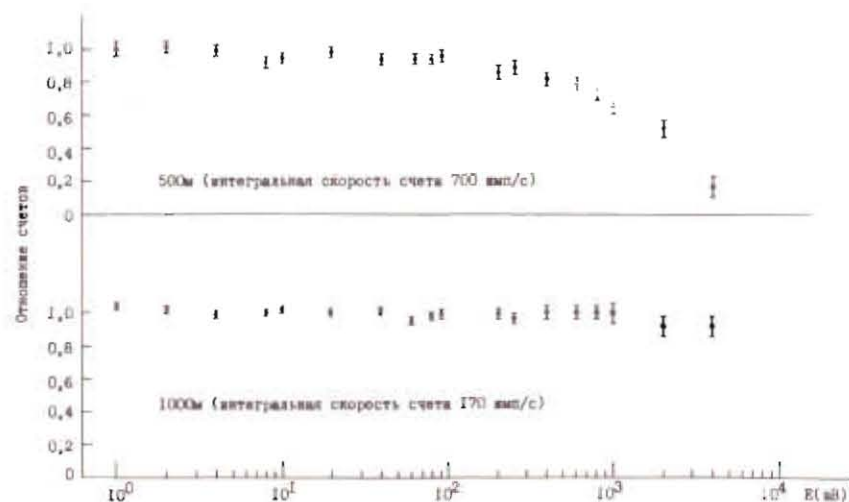


Рис.4. Зависимость просчетов ОВС-3М от энергии.

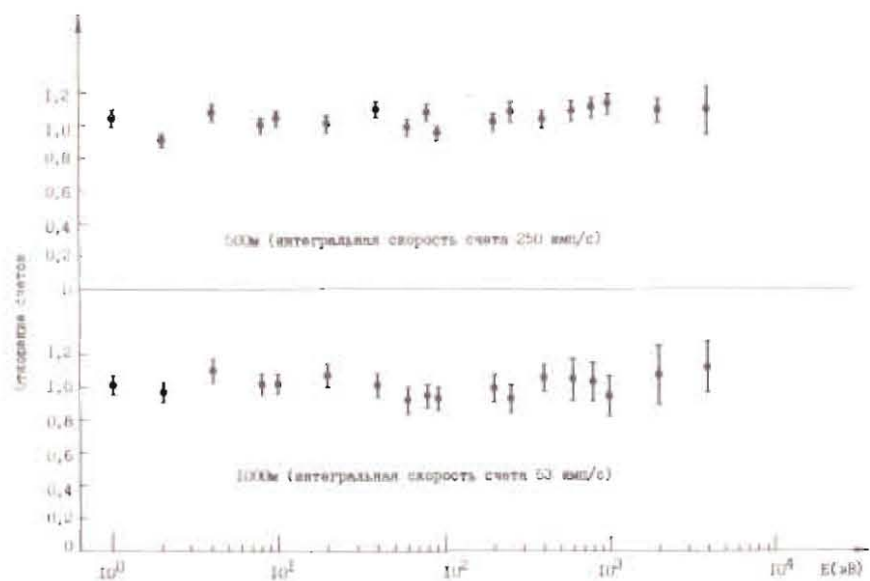


Рис.5. Зависимость просчетов ДН-А-1 от энергии.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Основные результаты измерений представлены на рис.6-9. На рис.6 представлены значения $\epsilon(E)$, полученные для ОВС-3М. Точками показаны значения, рассчитанные по формуле /6/, т.е. по спектру нейтронов. Для некоторых значений энергии представлены также $\epsilon(E)$, рассчитанные по показаниям $1/v$ -счетчика, проградуированного по золотым фольгам - крестики /далее на рисунках обозначения аналогичные/. На этом же рисунке приведены результаты аттестации ОВС-3М во ВНИИМ по изотопным источникам нейтронов и по нейтронам с энергией 14 МэВ. Видно, что чувствительность ОВС-3М постоянна в пределах погрешностей измерений, не превышающих 10%, в исследуемом диапазоне энергий, что не противоречит выводам работы ².

На рис.7 приведены значения $\epsilon(E)$ для счетчика СМ-14 с комбинированным замедлителем. Незачерненными ромбиками показаны значения $\epsilon(E)$, полученные с помощью ОВС-3М. Пунктиром на рис.7 /и рис.9/ показана чувствительность "идеального" дозиметра, т.е. дозиметра, для которого зависимость $\epsilon_i(E)$ следует зависимости максимальной удельной эквивалентной дозы $h_m(E)$ в бэр.см².нейтр.⁻¹, приведенной в работе ⁵, и ее аппроксимации, предложенной в ⁶. Приведенная чувствительность такого "идеального" дозиметра имеет чувствительность для нейтронов Pu-Be источника ϵ_{Pu-Be} , принятую равной чувствительности исследуемого

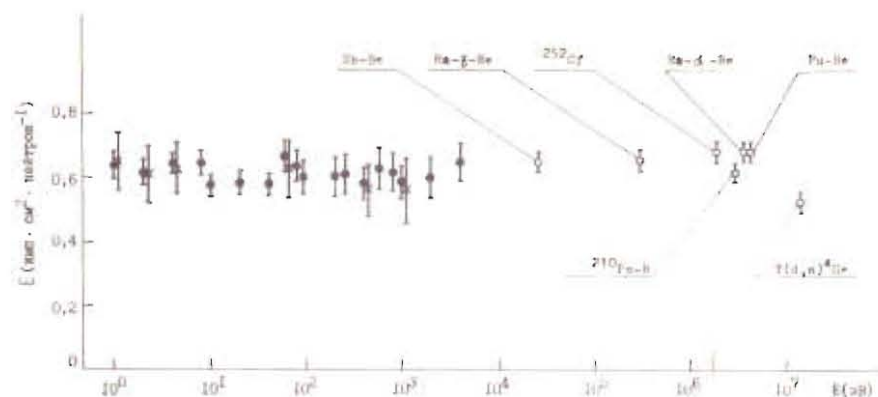


Рис.6. Чувствительность ОВС-3М /показания в тексте/.

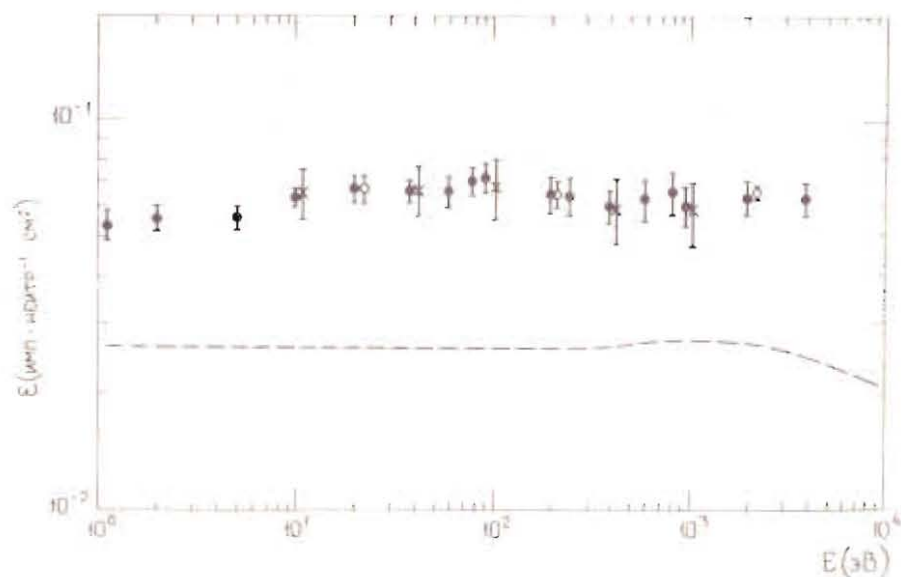


Рис.7. Чувствительность СМ-14 с комбинированным замедлителем /показания в тексте/.

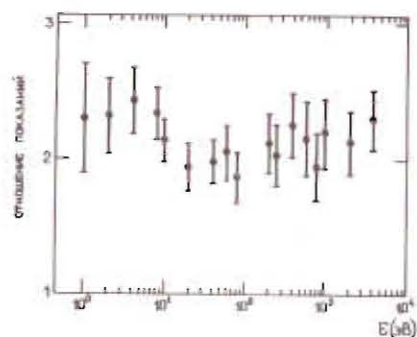
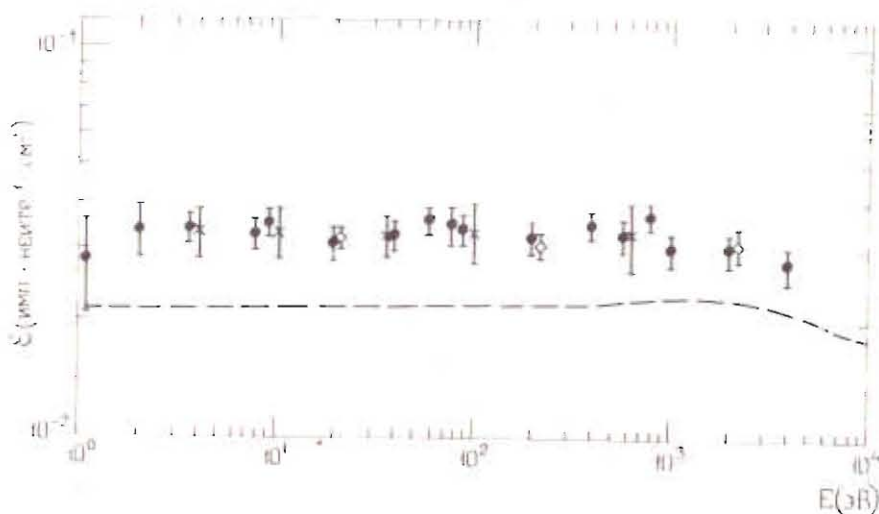


Рис.8. Зависимость отношения показаний СМ-14 с комбинированным замедлителем без кадмиевой прослойки к показаниям с кадмиевой прослойкой.

Рис.9. Чувствительность ДН-А-1. /пояснения в тексте/



дозиметра при его градуировке по нейтронам Pu-Be источника. Значения $\epsilon_i(E)$ рассчитывались по формуле:

$$\epsilon_i(E) = \frac{\epsilon_{Pu-Be} \cdot h_m(E)}{h_{Pu-Be}} \quad /8/$$

где h_{Pu-Be} - значение h_m для нейтронов Pu-Be источника, равное $3,85 \cdot 10^{-10}$ Зв.м² нейтр.⁻¹ / $3,85 \cdot 10^{-8}$ бэр.м² нейтр.⁻¹ /.

Измерения $\epsilon(E)$ для счетчика СМ-14 с комбинированным замедлителем проводились как с кадмиевой прослойкой внутри замедлителя, так и без нее. Отношение показаний с прослойкой к показаниям без нее для различных энергий показано на рис.8. Видно, что в исследованном диапазоне энергий наличие кадмиевой прослойки не меняет, в пределах погрешности измерений, ход $\epsilon(E)$.

На рис.9 представлены значения $\epsilon(E)$ для прибора ДН-А-1 /обозначения те же, что и на рис.7/.

ВЫВОДЫ

В работе экспериментально получены значения чувствительностей прибора ДН-А-1 и счетчика СМ-14 в комбинированном замедлителе в диапазоне энергий от 1 эВ до 4 кэВ. Полученные результаты наряду с данными других работ, выполненных по определению $\epsilon(E)$, позволяют построить энергетические зависимости чувствительностей этих приборов во всем значимом диапазоне энергий. Эти зависимости будут использованы при оценке погрешностей показаний приборов, используемых в качестве дозиметров, в полях излучений ядерно-физических установок.

Экспериментально показано также постоянство чувствительности ОВС-3М в том же диапазоне энергий и равенство ее чувствительности для нейтронов различных изотопных источников.

Авторы выражают благодарность дирекции ЛНФ ОИЯИ за предоставленную возможность работы на пучке ИБР-30, а также Л.Б.Пикельнеру, А.Б.Попову, Г.С.Самосвату, А.А.Пошкарёву за ряд ценных советов и помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голованов М.А. и др. В кн.: Труды СНИИП, 1964, вып.1, с.36.
2. Фоминых В.И. В кн.: Труды метрологических институтов СССР, вып.89 /149/, М., Издательство стандартов, 1967, с.158.
3. Ломакин С.С., Петров В.И., Самойлов П.С. Радиометрия нейтронов активационным методом. М., Энергоиздат, 1983.
4. Голиков В.В. и др. ОИЯИ, 3-5736, Дубна, 1971.
5. Нормы радиационной безопасности и основные санитарные правила ОСП-72/80. М., Энергоиздат, 1981.
6. Алейников В.Е., Бескровная Л.Г. ОИЯИ, 16-82-89, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 ноября 1985 года.