

8573

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



8573

13 - 8573

ЭНВ. ЧИТ. ЗАЛ

В.В.Калиниченко

ИЗМЕРЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА

1975

13 - 8573

В.В.Калиниченко

ИЗМЕРЕНИЕ НЕСТАБИЛЬНОСТИ  
ПОСТОЯННОГО ТОКА

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

Калиниченко В.В.

13 - 8573

Измерение нестабильности постоянного тока

Обсуждается сущность методики измерения нестабильности постоянного тока, разработанной в Лаборатории ядерных проблем.

Анализируется влияние ряда факторов на величину погрешности, рассматриваются особенности методики, важные с точки зрения ее практической реализации. Приводятся данные макета для экспериментальной проверки методики и полученные результаты.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна 1975

В настоящее время измерение нестабильности постоянного тока сводится к измерению нестабильности падения напряжения на эталонном сопротивлении, по которому протекает контролируемый ток. Такой способ измерения представляется удобным, так как для измерения нестабильности напряжения промышленность выпускает ряд прецизионных приборов.

Однако использование этого способа в диапазоне больших токов нежелательно. Нижний предел измерения выпускаемых промышленностью измерителей нестабильности напряжения обычно равен  $1,1 В$  /некоторые типы измерителей нестабильности имеют более низкое значение нижнего предела измерения, но при этом обладают и более низкой точностью/. Поэтому минимальное значение падения напряжения на эталонном сопротивлении должно быть не менее  $1,1 В$ . При этом условии на эталонном сопротивлении рассеивается значительная мощность. Оно становится громоздким, требует применения сложной системы охлаждения и термостабилизации для сохранения высокой точности.

В 1971 г. в Лаборатории ядерных проблем была разработана методика измерения нестабильности постоянного тока с использованием магнитного компаратора постоянного тока <sup>1/</sup> и изготовлен макет установки для экспериментальной проверки методики.

Существо предлагаемой методики измерения нестабильности постоянного тока иллюстрируется блок-схемой, показанной на *рис. 1*.

Контролируемый ток  $I$  протекает по первичной обмотке  $W_1$  магнитного компаратора постоянного тока. К обмотке компенсации  $W_K$  подводится эталонный ток от прецизионного стабилизатора тока. Следует подчеркнуть,

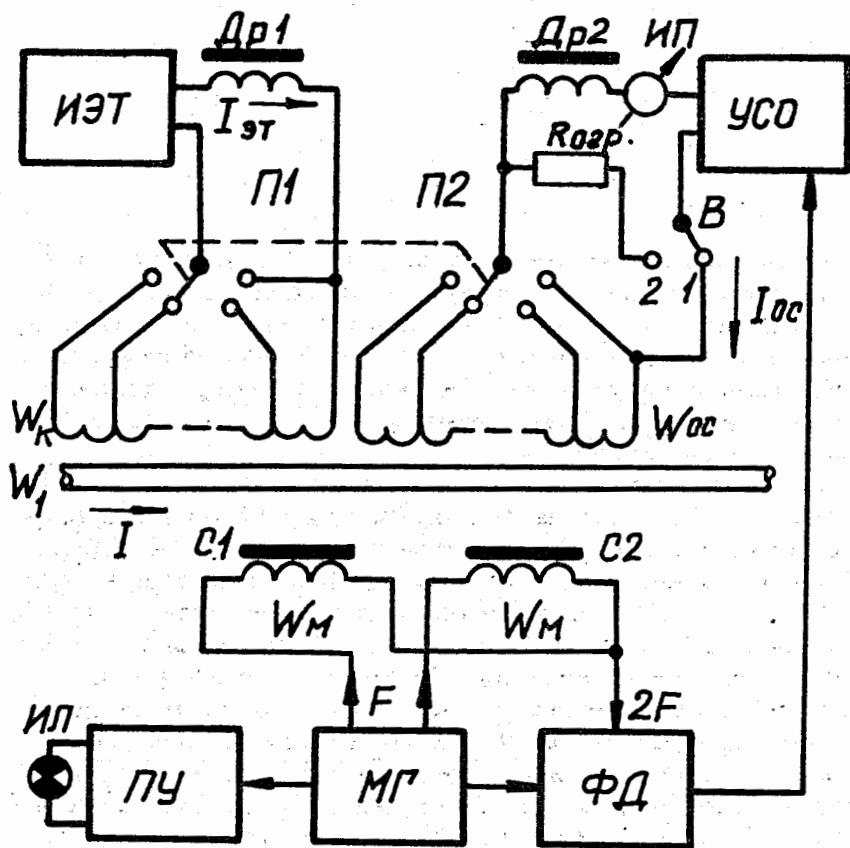


Рис. 1. Блок-схема измерения нестабильности постоянного тока. ИЭТ - источник эталонного тока; УСО - усилитель сигнала ошибки; МГ - модуляционный генератор; ФД - фазовый детектор; ПУ - пороговое устройство.

что величина эталонного тока имеет постоянное, фиксированное значение, равное  $I_{ЭТ}$ . Направление токов  $I$  и  $I_{ЭТ}$  выбирается таким образом, чтобы создаваемые ими м.д.с. в сердечниках С1 и С2 компаратора были направлены навстречу друг другу. Балансировка компаратора производится при разомкнутом контуре обратной связи

/переключатель В устанавливается в положение 2/ посредством изменения числа включенных витков обмотки компенсации  $W_K$ . При достижении баланса /показания прибора ИП, включенного на выходе усилителя сигнала ошибки, минимальны/ включается в действие контур обратной связи /переключатель В устанавливается в положение 1/. Теперь, как увидим в дальнейшем, показания прибора ИП будут соответствовать относительному значению нестабильности контролируемого тока I.

Для схемы рис. 1 при включенном контуре обратной связи с высокой точностью выполняется следующее равенство /при большом коэффициенте усиления усилителя сигнала ошибки/:

$$I_{n1} = I_{ЭТ} n_K + I_{оср} n_{ос} \quad /1/$$

Здесь  $I_{ЭТ}$  - значение эталонного тока, задаваемого прецизионным источником тока,  $n_K$  - количество включенных витков обмотки компенсации  $W_K$ ,  $n_1$  - число витков первичной обмотки компаратора, по которым протекает контролируемый ток,  $n_{ос}$  - число витков обмотки обратной связи  $W_{ос}$ , включенных в контур обратной связи,  $I_{оср}$  - составляющая тока в обмотке обратной связи, обусловленная неточной балансировкой компаратора /точная балансировка недостижима вследствие дискретного характера изменения компенсирующих ампервитков  $I_{ЭТ} n_K$ /.

Если вследствие нестабильности измеряемого тока происходит его изменение на величину  $\Delta I_H$ , то с учетом /1/ можно записать:

$$(I + \Delta I_H) n_1 = I_{ЭТ} n_K + I_{оср} n_{ос} + I_{осн} n_{ос}, \quad /2/$$

где  $I_{осн}$  - составляющая тока в обмотке обратной связи, обусловленная нестабильностью измеряемого тока.

Из соотношений /1/ и /2/ находим величину относительного изменения контролируемого тока:

$$\frac{\Delta I_H}{I} = \frac{I_{осн}}{I_{ЭТ}} \cdot \frac{n_{ос}/n_K}{1 + I_{оср} n_{ос}/I_{ЭТ} n_K} \quad /3/$$

В нормальном рабочем режиме для схемы рис. 1 выполняются условия:  $n_{OC} = n_K$  и  $I_{OCP} \ll I_{ЭТ}$ . Тогда из соотношения /3/ получаем:

$$\Delta I_H / I \approx I_{OCH} / I_{ЭТ} \quad /4/$$

Следовательно, прибор, измеряющий ток в обмотке обратной связи, при фиксированном значении эталонного тока  $I_{ЭТ}$  может быть проградуирован в относительных значениях отклонения /нестабильности/ измеряемого тока.

Рассмотрим некоторые особенности методики, которые необходимо учитывать при ее практической реализации.

Ток в обмотке обратной связи, в соответствии с /2/, состоит из двух составляющих. Мерой нестабильности контролируемого тока, согласно /3/ или /4/, является лишь составляющая  $I_{OCH}$ .

Наличие составляющей  $I_{OCP}$  затрудняет отсчет малых значений  $I_{OCH}$ , т.е. малых значений нестабильности контролируемого тока. Поэтому целесообразно дополнить компаратор еще одной обмоткой компенсации и эталонным источником тока с целью уменьшения значения составляющей  $I_{OCP}$  до допустимого уровня.

Показания прибора ИП согласно /4/, дают приближенное значение нестабильности. Ее точное значение определяется соотношением:

$$\Delta I_H / I = I_{OCH} / I_{ЭТ} + \delta, \quad /5/$$

где  $\delta$  - методическая погрешность. С учетом /3/ и /4/ можно записать

$$\delta = \frac{I_{OCH}}{I_{ЭТ}} \left( 1 - \frac{n_{OC} / n_K}{1 + I_{OCP} n_{OC} / I_{ЭТ} n_K} \right),$$

откуда при  $n_{OC} = n_K$  получаем

$$\delta = \frac{I_{OCH}}{I_{ЭТ}} \cdot \frac{I_{OCP} / I_{ЭТ}}{1 + I_{OCP} / I_{ЭТ}} \quad /6/$$

Введение в компаратор указанных выше дополнительных элементов /дополнительной обмотки компенсации и дополнительного эталонного источника тока/ не устраняет этой погрешности. Для компаратора с двумя обмотками компенсации /основной и дополнительной/ величина погрешности /при  $n_{OC} = n_K$  / равна:

$$\delta = \frac{I_{OCH}}{I_{ЭТО}} \cdot \frac{I_{ЭТД} n_{КД} / I_{ЭТО} n_{КО}}{1 + I_{ЭТД} n_{КД} / I_{ЭТО} n_{КО}} \quad /7/$$

Здесь  $I_{ЭТО}$ ,  $I_{ЭТД}$  - соответственно величина основного и дополнительного эталонного тока,  $n_{КО}$ ,  $n_{КД}$  - количество включенных витков основной и дополнительной обмотки компенсации.

Из соотношений /1/ и /2/ и условия  $n_{OC} = n_K$  следует, что количество витков обмотки обратной связи, включенных в действие, пропорционально величине измеряемого тока.

Можно показать, что статический коэффициент усиления контура обратной связи /блок-схема рис. 1/ равен

$$K = S_K n_{OC} K_{УСО} / R_H \cdot R_{ВНХ УСО} \quad \text{и к - уменьш.} \quad \text{-коэф-ка по вх. ОУ} \quad /8/$$

Здесь  $S_K$  - крутизна компаратора, приведенная к одному витку;  $n_{OC}$  - количество подключенных витков обмотки обратной связи,  $K_{УСО}$  - коэффициент усиления по напряжению усилителя сигнала ошибки;  $R_H$  - сопротивление нагрузки усилителя; в данном случае

$$R_H = R_{ДР} + R_{OC} + R_{ИП}, \quad \text{Уменьш. это } R_{ЗД} \text{ на вх. усилит. каскада т-ров}$$

где  $R_{ДР}$  - сопротивление дросселя,  $R_{OC}$  - сопротивление обмотки обратной связи,  $R_{ИП}$  - сопротивление измеритель-

ного прибора. При измерении нестабильности в диапазоне изменения контролируемого тока от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$  в соответствии с /8/ происходит изменение коэффициента усиления контура обратной связи в  $I_{\max} / I_{\min}$  раз  $K_{\max} / K_{\min} = n_{\text{ос макс}} / n_{\text{ос мин}} = I_{\max} / I_{\min}$ .

Изменение коэффициента усиления контура обратной связи в рабочем диапазоне является неблагоприятным фактором, так как приводит к изменению статических и динамических характеристик системы авторегулирования. Поэтому в контур обратной связи следует ввести элементы, позволяющие осуществлять коррекцию его характеристик при изменении величины измеряемого тока. Необходимо также обеспечить малые изменения сопротивления нагрузки при переключении пределов измерения индикаторного прибора. Макет установки для экспериментальной проверки обсуждаемой методики выполнен в соответствии с блок-схемой рис. 1.

В магнитном компараторе применены тороидальные сердечники /С1-С2/ из ленточного пермаллоя, имеющие следующие размеры: наружный диаметр  $D_{\text{н}} = 70$  мм; внутренний диаметр  $D_{\text{вн}} = 50$  мм; высота  $b = 10$  мм. Каждый сердечник заключен в защитный каркас из пластмассы. Обмотки  $W_{\text{М}}$  содержат по 450 витков каждая и выполнены проводом ПЭВ-2  $\phi 0,32$  мм.

Первичная обмотка выполнена в виде одного проходного витка из медной шины круглого сечения. Короткозамкнутая обмотка /не показана на схеме рис. 1/ имеет три витка провода ПЭЛШО  $\phi 35$  мм.

Компаратор имеет две обмотки компенсации: основную  $W_{\text{КО}}$  и дополнительную  $W_{\text{КД}}$ , а также обмотку обратной связи  $W_{\text{ОС}}$ . Каждая из этих обмоток содержит по 999 витков и имеет отводы, разбивающие ее на подсекции с декадным соотношением витков. Обмотка  $W_{\text{КО}}$  выполнена проводом ПЭВ-2  $\phi 0,83$  мм, обмотки  $W_{\text{КД}}$  и  $W_{\text{ОС}}$  - ПЭЛШО  $\phi 0,35$  мм.

Величина основного эталонного тока равна 1 А, дополнительного - 1 мА. Источники эталонных токов, использованные в устройстве, подробно обсуждались в работе /2/.

Схема коммутаций указанных обмоток приведена на рис. 2. Коммутация осуществляется с помощью шести декадных переключателей. Переключатели в цепях  $W_{\text{КО}}$  и

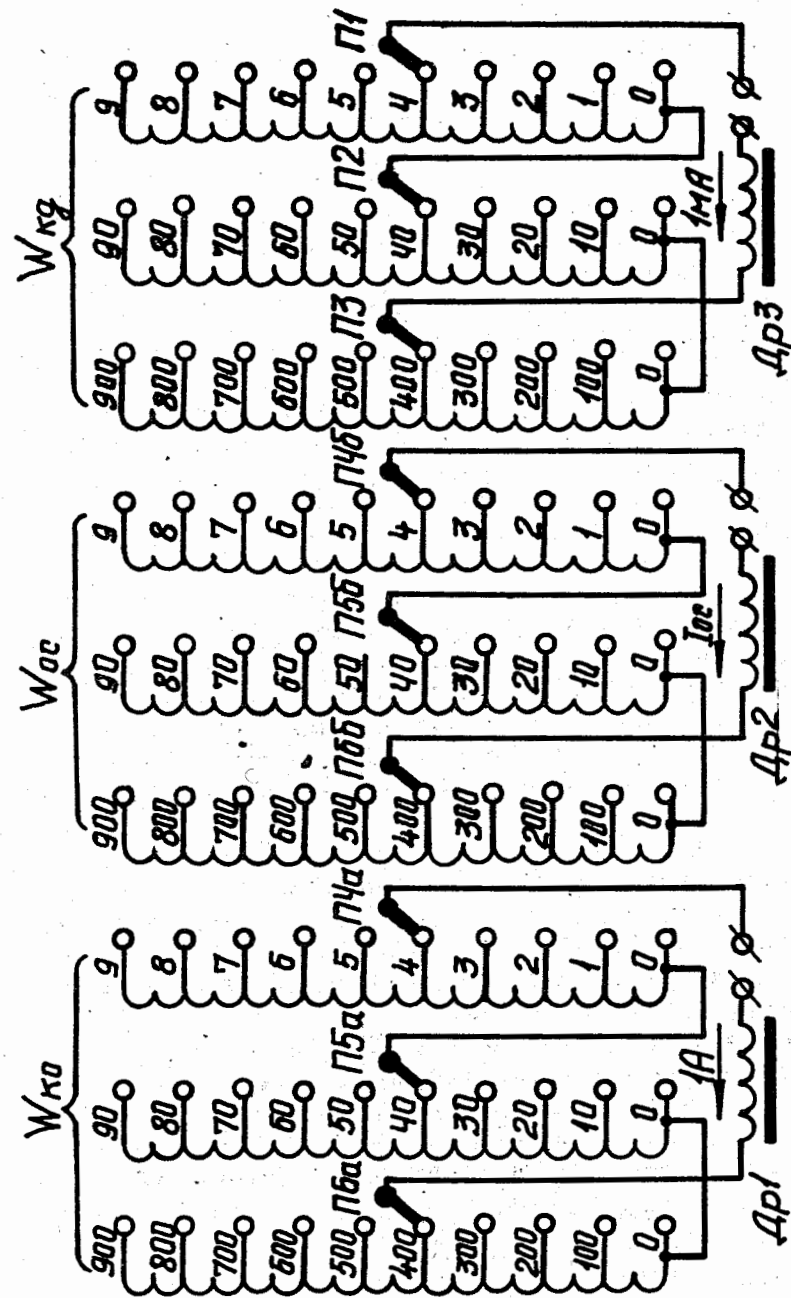


Рис. 2. Схема коммутаций обмоток компенсации и обратной связи.

$W_{OC}$  механически связаны и обеспечивают при переключении выполнение условия  $n_{KO} = n_{OC}$ . Компаратор обеспечивает сравнение токов в диапазоне  $0 \div 999,999$  А при дискретности 1 мА. Дрейф нуля компаратора не превышает  $\pm 1$  мА  $\times$  виток.

На рис. 3 и 4 показаны принципиальные схемы двух других важных узлов установки: усилителя сигнала ошибки /УСО/ и порогового устройства /ПУ/.

УСО представляет собой многокаскадный УПТ с малым дрейфом. При сопротивлении нагрузки  $R_H = 180$  Ом обеспечивается ток в обмотке обратной связи  $I_{OC} = \pm 100$  мА,  $K_{УСО} \approx 2 \cdot 10^3$ .

Пороговое устройство /ПУ/ обеспечивает контроль за правильностью балансировки компаратора. Сложность процесса балансировки компаратора при отсутствии ПУ обусловлена тем, что его выходная характеристика имеет "ложные" рабочие точки <sup>3/</sup>. ПУ вырабатывает предупреждающий сигнал, если оператор допускает ошибку при балансировке компаратора. Устройство имеет симметричный вход и обладает высоким входным сопротивлением, что почти полностью исключает влияние ПУ на величину начального разбаланса /сдвига нуля/ компаратора.

На рис. 5 приведена принципиальная схема модуляционного генератора /МГ/ и фазового детектора /ФД/. Эти узлы компаратора подробно обсуждались в работах <sup>1,4/</sup>.

В качестве измерительного прибора /ИП/ в установке используется микроамперметр типа М24 с нулем посередине шкалы и током полного отклонения 100 мкА. Пределы измерения нестабильности - 0,01, 0,03, 0,1, 0,3, 1, 3, 10% получаются посредством подключения к ИП соответствующих шунтов.

Для принятой схемы коммутации обмоток компаратора /рис. 2/ количество включенных витков ( $n_{КД}$ ) обмотки  $W_{КД}$  изменяется в пределах  $0 \div 999$  витков. Тогда максимальная величина погрешности методики в соответствии с /7/ /с учетом выбранных направлений и значений эталонных токов  $I_{ЭТО}$  и  $I_{ЭТД}$  / равна:

$$\delta_{\text{макс}} = - \frac{I_{\text{ОСН.}}}{I_{\text{ЭТО}}} \cdot \frac{n_{\text{КО}}^{-1}}{1 + n_{\text{КО}}^{-1}}$$

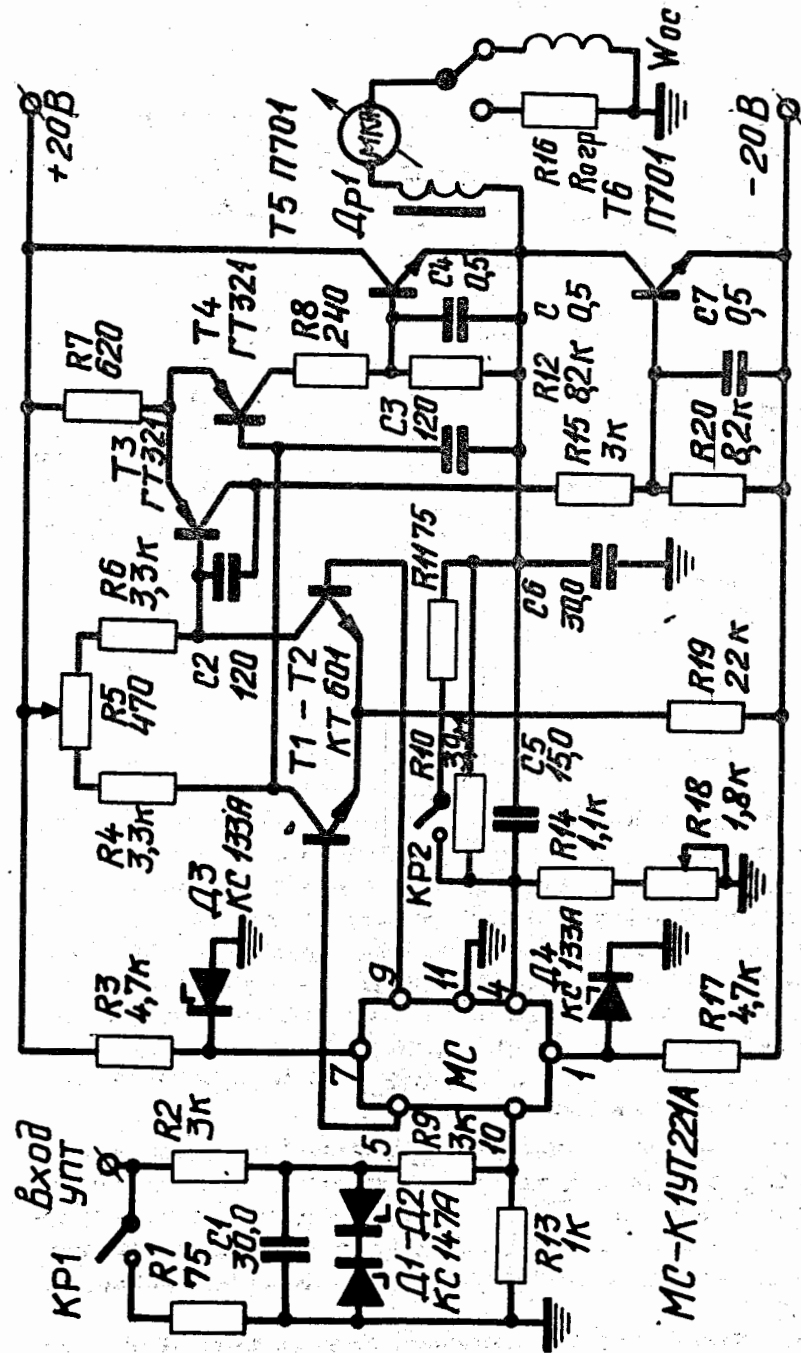


Рис. 3. Принципиальная схема усилителя сигнала ошибки.





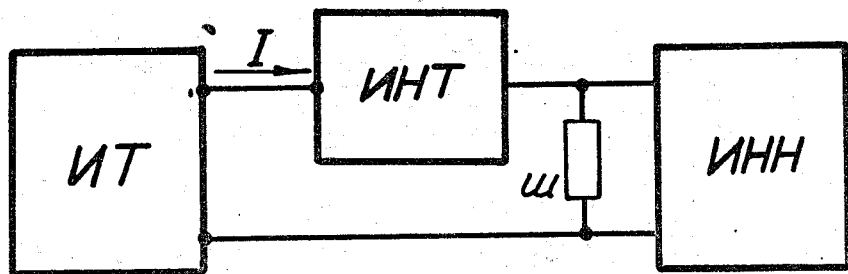


Рис. 6. Блок-схема поверочных испытаний измерителя нестабильности тока. ИТ - стабилизированный источник тока; ИНТ - испытуемый измеритель нестабильности тока; Ш - эталонный резистор /шунт/; ИНН - измеритель нестабильности напряжения.

водой. Падение напряжения на шунте в пределах каждого поддиапазона токов составляет 1,1-2,2 В. Источник тока /ИТ/ имеет систему стабилизации и обеспечивает плавную регулировку тока в диапазоне 100 ÷ 1000 А.

Результаты, полученные при опытной эксплуатации макета измерителя нестабильности, подтверждают реализуемость предложенной методики на практике, возможность создания на базе этой методики прибора для измерения нестабильности постоянного тока с высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками.

#### Литература

1. Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-5960, Дубна, 1971.
2. Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-7488, Дубна, 1973.
3. Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко. Сообщения ОИЯИ, 13-6531, Дубна, 1972.
4. Л.К.Богомолова, Ю.Н.Денисов, В.В.Калиниченко, В.А.Пережогин. Препринт ОИЯИ, Р9-7339, Дубна, 1973.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 января 1975 года.