

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДАВЛЕНИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ПОМЕХИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННОГО ПОЛЯ НА ОБЪЕКТЕ "УКРЫТИЕ"

**А. А. Ключников, В. Т. Котляров, А. А. Кучмагра, Г. И. Одинокин,
Е. Е. Олейник, В. Н. Павлович, В. Б. Шостак**

Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Чернобыль

С. А. Стороженко, С. В. Ярошенко

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

Описаны результаты исследования эффективности фильтрации импульсной помехи разработанным аппаратно-методическим комплексом подавления электронных шумов при измерении характеристик нестационарного поля мгновенных нейтронов деления на объекте "Укрытие". Определено неискаженное значение величины константы спада мгновенных нейтронов в помещении подреакторного пространства 305/2 объекта "Укрытие".

Введение

В выполненных ранее работах [1 - 3] был разработан расчетно-экспериментальный программно-технический комплекс (методика) измерения коэффициентов размножения нейтронов ($k_{эф}$) и динамики поведения подкритичности на основе методов шумовой диагностики. Первичные натурные испытания методики в условиях объекта "Укрытие" [4 - 6] с использованием информационно-измерительных каналов системы контроля (ИИК СК) нейтронных характеристик ТСМ "Финиш" и в особенности в хранилище отработанного ядерного топлива (ХОЯТ) исследовательского реактора ВВР-М Института ядерных исследований (ИЯИ) НАН Украины (Киев) [7, 8] с использованием аналога ИИК СК ТСМ "Сигнал" показали, что при регистрации событий и измерении временных интервалов между ними возможно появление ложных регистраций, обусловленных наводками в измерительном канале, приводящих к значительным искажениям временных спектров.

С целью выяснения механизмов возникновения и влияния помех, а также для разработки способов их уменьшения был проведен ряд экспериментов в лабораторных условиях. Тестирование аналогов ИИК СК ТСМ "Финиш" и "Сигнал" с использованием нейтронных плутоний-бериллиевых источников показало, что необходима разработка мер, которые позволят подавить вклад от электронных шумов в измерительном тракте на участке до входа в измеритель времени регистрации событий (ИВРС). Для этой цели разработан и успешно протестирован аппаратно-методический комплекс (АМК) подавления электронных шумов, позволяющий проводить их дискриминацию по форме импульса.

Измерения на объекте "Укрытие"

Для исследования эффективности фильтрации импульсной помехи с использованием АМК были проведены измерения характеристик нестационарного поля мгновенных нейтронов деления в подреакторном помещении 305/2 объекта "Укрытие" с использованием одного ИИК системы контроля нейтронных характеристик ТСМ "Финиш".

Для оценки эффективности АМК в 1-м входном канале ИВРС аппаратный способ подавления помех не использовался.

По результатам измерений в 1-м канале построена дискриминационная характеристика, т. е. зависимость скорости счета нейтронного детектора (n_0) от уровня дискриминации. Были выбраны оптимальные пороги дискриминации $U_d = 0,26$ В, 0,28 В, 0,3 В, 0,32 В. С этими порогами и при использовании АМК в режиме одновременной регистрации на семи различных входах ИВРС для минимизации статистической погрешности проведены достаточно длительные измерения времен регистрации событий (37 ч).

Выполнена первичная обработка результатов измерений в формате, позволяющем провести их анализ в рамках метода Росси-альфа [9]. Для различных величин U_d получены спектры распределения длин интервалов времени (t) между двумя отсчетами детектора нейтронов в течение полного времени измерений ($T_{\text{эксп}}$). Рассчитан и вычтен из этих спектров вклад нейтронов, обусловленный случайными пуассоновскими процессами [1 - 3]. В результате получены временные спектры распределения длин t между двумя отсчетами детектора, отвечающие регистрации только мгновенных нейтронов, коррелированных во времени их принадлежностью к одной и той же цепочке распада.

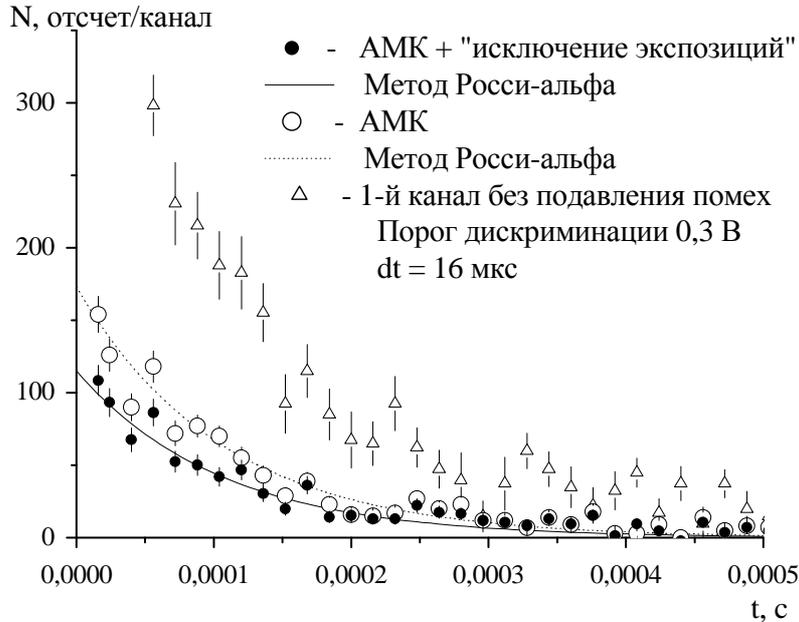


Рис. 1. Спектры распределения длин интервалов времени при применении различных методов подавления помех.

Такие спектры, полученные при $U_d = 0,3$ В в 1-м канале ИВРС, где аппаратный способ подавления помех не использовался, и в канале, где использовался АМК, представлены на рис. 1 открытыми треугольниками и открытыми точками соответственно. Каждая точка на этом спектре (N) — это количество временных интервалов, длительности которых не различаются между собой более чем на ширину временного интервала регистрации нейтрона (dt). Данные,

представленные на рис. 1, получены при $dt = 16$ мкс. Обработка экспериментальных результатов проводилась также и для других интервалов времени dt , однако полученные спектры менее наглядны.

Анализ результатов измерений

К величинам, полученным на базе результатов измерений, подгонялись по методу χ^2 расчетные функции, описывающие экспериментальные результаты в рамках метода Росси-альфа [5, 10]

$$N = 0,5 \cdot T_{\text{эксп}} \cdot n_0 \cdot dt \cdot \alpha \cdot Z \cdot e^{-\alpha \cdot t}, \quad (1)$$

где α — константа спада мгновенных нейтронов (константа Росси-альфа); Z — удвоенная величина вероятности регистрации одного из двух мгновенных нейтронов, коррелированных во времени их принадлежностью к одной и той же цепочке распада при условии, что также будет зарегистрирован и другой из этих двух нейтронов. Она определяется соотношением [10]

$$Z = \varepsilon_n D_v / \rho_p^2, \quad (2)$$

где ρ_p — реактивность; D_v — параметр Дайвена (для заданного состава топлива можно считать известным); ε_n — эффективность регистрации нейтронов, отнесенная к одному делению.

Во всех случаях подгонка осуществлялась по двум параметрам Z и α . Результаты подгонки численно представлены в таблице и пунктирной кривой на рис. 1.

Видно, что в 1-м канале ИВРС, где аппаратный способ подавления помех не использовался, получены значения α в диапазоне $17500 \div 28000$ с⁻¹, существенно превышающее

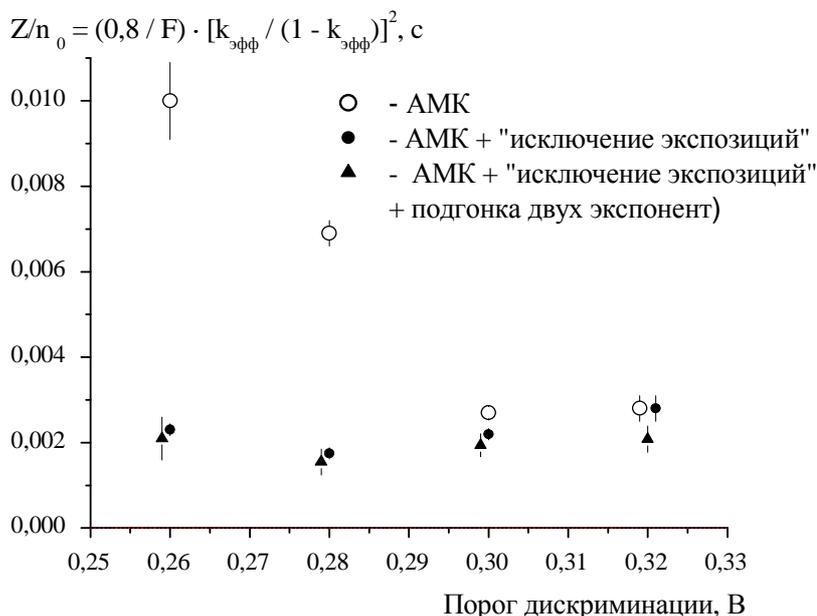
10000 с⁻¹, которые получены в остальных каналах (т. е. при различных U_d и с использованием АМК) и которые в пределах ошибок не противоречат друг другу.

Эти результаты свидетельствуют о появлении существенной защищенности от электронных шумов в измерительном тракте тех каналов, в которых использовался аппаратный способ подавления помех. Такой вывод следует из результатов тестирования аналогов ИИК СК ТСМ “Финиш” и “Сигнал” с использованием нейтронных плутоний-бериллиевых источников в измерительной лаборатории. Было установлено, что с увеличением U_d, всегда происходит амплитудная селекция импульсов помех, приходящихся на каждую зарегистрированную пару двух мгновенных нейтронов, коррелированных во времени их принадлежностью к одной и той же цепочке распада. Значительный вклад этих помех, очевидно, и определяет наличие большой величины α в 1-м канале ИВРС, тогда как в других каналах, где используется АМК, их влияние на формирование величины α незначительно проявилось только в одном случае - при самом низком U_d = 0,26 В.

Результаты анализа данных измерений, полученных для изучения эффективности подавления импульсной помехи при измерении характеристик нестационарного поля мгновенных нейтронов деления на объекте "Укрытие"

Метод подавления помех	Порог дискриминации U _d , В	α, с ⁻¹	Z · 10 ⁻³
1-й канал (без подавления)	0,3	28354 ± 2357	
АМК	0,26	14645 ± 1146	46,0 ± 3,8
	0,28	9016 ± 320	27,2 ± 1,2
	0,3	9414 ± 373	7,9 ± 0,4
	0,32	12026 ± 1062	6,2 ± 0,4
АМК + «исключение экспозиций»	0,26	13935 ± 655	9,8 ± 0,6
	0,28	11231 ± 651	5,7 ± 0,4
	0,3	9511 ± 455	6,2 ± 0,4
	0,32	12026 ± 1062	6,2 ± 0,7

Однако все это еще не означает, что осуществлена полная фильтрация импульсной помехи во всем том диапазоне значений U_d где, в пределах ошибок, величина α достигает своего минимума и постоянна. В данном скоплении ядерно-опасных делящихся материалов величина k_{эф} однозначно определяет не только величину α, но также и отношение Z/n₀, так как n₀ = Fε_n [10], где F - средняя скорость делений в системе. Вместе с тем, как следует из



(2), это отношение также не должно зависеть от порога дискриминации. Поэтому, используя результаты подгонки, для всех результатов измерений были получены зависимости величины отношения Z/n₀ от уровня дискриминации.

Рис. 2. Зависимость величины отношения Z/n₀ от величины U_d при использовании или не использовании различных способов подавления помех.

На рис. 2 открытыми точками представлена зависимость отношения Z/n₀ от величины U_d при

использовании АМК. Наблюдаемое уменьшение величины этого отношения с ростом порога дискриминации показывает, что некоторый вклад от импульсной помехи остается и при использовании АМК, при значениях $U_d = 0,26$ В и $0,28$ В. Отсюда следует, что при использовании данной методики измерений, к степени подавления помех более чувствительна величина отношения Z/n_0 , нежели величина α .

Ранее при проведении аналогичных исследований в хранилище отработанного ядерного топлива реактора ВВР-М ИЯИ НАН Украины было установлено, что проявление электронных шумов в измерительном тракте происходит эпизодически и хотя случайно, но с определенной средней частотой. Поэтому при выполнении настоящих измерений время экспозиции выбиралось равным одному или двум часам. Это позволило выполнить еще одну дополнительную процедуру обработки экспериментального материала – “исключение экспозиций”. Чтобы полностью устранить влияние помехи на временной спектр при их анализе из рассмотрения исключались экспозиции (файлы), в которых проявлялись существенные отличия от основной массы полученных данных в значениях их усредненных оценок. Так как анализировались данные, полученные на базе амплитудной селекции импульсов помех, процедура “исключение экспозиций” не приводила к недопустимому уменьшению статистической точности измерений, что наблюдалось при измерениях без АМК.

После такой обработки величины отношения Z/n_0 , соответствующие измерениям при различных U_d , в пределах ошибок в достаточной степени сравнялись между собой.

Результаты измерений и их анализа, полученные в случае одновременного использования АМК и процедуры “исключение экспозиций”, представлены на рис. 1 и 2 закрытыми точками и сплошной кривой. Полученные в процессе анализа этого экспериментального материала численные величины параметров Z и α также представлены в таблице.

Таким образом, показано, что одновременное использование аппаратного способа подавления помех и дополнительной процедуры обработки экспериментального материала – “исключение экспозиций” практически всегда позволяет устранить влияние на временной спектр помех, обусловленных электронными шумами.

Из рис. 2 также видно, что при более высоком U_d ($0,3$ В, $0,32$ В) влияние импульсной помехи на временной спектр практически полностью устранилось уже при использовании только одного АМК, без использования процедуры «исключение экспозиций».

То, что в данной работе определено неискаженное значение величины $\alpha \simeq 10000$ с⁻¹ для помещения 305/2 объекта “Укрытие” и правильно оценен параметр экспоненциальной функции ($\alpha \simeq 28000$ с⁻¹), описывающей вклад помех во временные распределения, подтверждают результаты еще одного анализа временных спектров, которые были получены при одновременном использовании аппаратного способа подавления помех и дополнительной процедуры обработки экспериментального материала – “исключение экспозиций”.

Была выполнена подгонка к этим спектрам суммы двух функций: 1 - экспоненты с множителем и с параметром $\alpha = 28000$ с⁻¹, которая имитирует вклад шумов, и 2 - функции (1), описывающей в рамках метода Росси-альфа вклад мгновенных нейтронов, коррелированных во времени с $\alpha = 10000$ с⁻¹. Подгоночными параметрами были две величины - множитель при экспоненте и Z . Полученные из этой подгонки значения параметра Z использованы для расчета величин Z/n_0 , которые представлены на рис. 2 закрытыми треугольниками.

Как видно из рис. 2, не наблюдается никаких различий между результатами двух подгонок: когда использовалась при подгонке функция, которая реалистично имитирует вклад шумов (закрытые треугольники) и когда эта функция не использовалась (закрытые точки). Все это также подтверждает вывод, что при одновременном использовании аппаратного способа подавления помех и дополнительной процедуры обработки экспериментального материала – “исключение экспозиций” - в условиях «Укрытия» удается полностью устранить влияние на временные спектры помех, обусловленных шумами в широком диапазоне U_d .

Таким образом, в настоящей работе в достаточной степени изучен и устранен этот значимый источник инструментальных и методических погрешностей измерений, привно-

сивший ранее ощутимый вклад при использовании методики измерений в условиях незначительной скорости счета.

Заключение

Для исследования эффективности фильтрации импульсной помехи аппаратурно-методическим комплексом подавления электронных шумов в полевых условиях проведены измерения характеристик нестационарного поля мгновенных нейтронов деления в помещении подреакторного пространства 305/2 объекта "Укрытие" с использованием одного ИИК системы контроля нейтронных характеристик ТСМ "Финиш".

Проведен анализ результатов измерений в рамках метода Росси-альфа.

Показано, что можно подобрать такую величину U_d , при которой использование аппаратного способа подавления помех полностью устраняет влияние на временной спектр помехи, обусловленной электронными шумами в условиях объекта "Укрытие".

Видно, что одновременное использование аппаратного способа подавления помех и дополнительной процедуры обработки экспериментального материала – "исключение экспозиций" – полностью устраняет влияние на временной спектр помехи уже во всем оптимальном диапазоне U_d в условиях объекта "Укрытие", и при этом не происходит недопустимое уменьшение статистической точности измерений.

Определено неискаженное значение величины константы спада мгновенных нейтронов ($\alpha \simeq 10000 \text{ с}^{-1}$) и величины отношения Z/n_0 для помещения 305/2 объекта "Укрытие", что должно позволить в дальнейшем определить величину $k_{эф}$, исходя из более реалистичных (не искаженных) данных измерений.

Оценен параметр экспоненциальной функции ($\alpha \simeq 28000 \text{ с}^{-1}$), описывающей вклад помех в измеряемые временные распределения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бадовский В. П., Ключников А. А., Кучмагра А. А. и др. Развитие методов шумовой диагностики скоплений ядерноопасных делящихся материалов объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вып. 9. - С. 76.
2. Ключников А. А., Кучмагра А. А., Олейник Е.Е. и др. Разработка методики измерения эффективного коэффициента размножения скоплений топливосодержащих материалов на основе методов шумовой диагностики // Там же. - 2003. - Вып. 12. - С. 154.
3. Краснянская О. Г., Кучмагра А. А., Одинокин Г. И. и др. Использование "утеплителей" при измерении нейтронных потоков топливосодержащих материалов объекта "Укрытие" // Там же. - С. 37.
4. Ключников А. А., Кучмагра А. А., Котляров В. Т. и др. Адаптация методики статистических измерений подкритичности к условиям объекта "Укрытие" // Там же. - 2003. - Вып. 13. - С. 33.
5. Венедиктов В. М., Ключников А. А., Котляров В. Т. и др. Разработка проекта методики измерения $K_{эф}$ и динамики поведения подкритичности ТСМ на основе методов шумовой диагностики. Адаптация разработок проекта к условиям ОУ: (Заклучит. отчет о НИР). - Арх. № 3889. - М. - Чернобыль. - 2003. - С. 70.
6. Ключников А. А., Олейник Е. Е., Кучмагра А. А. и др. Статистические измерения подкритичности в условиях объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2004. - Вып. 14. - С. 81.
7. Ключников А. А., Кучмагра А. А., Одинокин Г.И. и др. Статистические измерения константы спада мгновенных нейтронов в хранилище отработанного ядерного топлива // Проблемы безопасности атомных электростанций і Чернобиля. - 2004. - Вып. 1. - С. 118.
8. Ключников А. А., Котляров В.Т., Кучмагра А. А. и др. Анализ результатов статистических измерений эффективного коэффициента размножения нейтронов в хранилище отработанного ядерного топлива // Там же. - 2005. - Вып. 4. - С. 22.
9. Orndoff J.D. Prompt Neutron Periods of Metal Critical Assemblies // Nucl. Sci. Engng. - 1957. - Vol. 2. - P. 450.
10. Уриг Р. Статистические методы в физике ядерных реакторов / Пер. с англ. - М.: Атомиздат, 1974. - С. 31 - 33.

Поступила в редакцию 15.12.05

**2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРИДУШЕННЯ ІМПУЛЬСНОЇ ПЕРЕШКОДИ
ПРИ ВИМІРЮВАННІ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАЦІОНАРНОГО ПОЛЯ
МИТТЄВИХ НЕЙТРОНІВ ПОДІЛУ НА ОБ'ЄКТІ "УКРИТТЯ"**

**О. О. Ключников, В. Т. Котляров, О. А. Кучмагра, Г. І. Одинокін,
Є. Є. Олійник, В. М. Павлович, В. Б. Шостак, С. А. Стороженко, С. В. Ярошенко**

Описано результати дослідження ефективності фільтрації імпульсної перешкоди розробленим апаратурно-методичним комплексом придушення електронних шумів при вимірюванні характеристик нестационарного поля миттєвих нейтронів поділу на об'єкті "Укриття". Визначено неспотворене значення величини константи спаду миттєвих нейтронів у приміщенні 305/2 об'єкта "Укриття"

**2 RESEARCH OF EFFICIENCY OF SUPPRESSION OF IMPULSIVE HINDRANCE
AT MEASURING OF DESCRIPTIONS OF THE UNSTATIONARY FIELD
OF INSTANTANEOUS NEUTRONS OF DIVISION ON "UKRYTTYA" OBJECT**

**A. A. Kliuchnykov, V. T. Kotlyarov, A. A. Kuchmagra, G. I. Odinokin, E. E. Olejnik,
V. N. Pavlovich, V. B. Shostak, S. A. Storozhenko, S. V. Yaroshenko**

The results of research of efficiency of filtration of impulsive hindrance by the developed apparatus-methodical complex of suppression of electronic noises are described at measuring of descriptions of the unstationary field of instantaneous neutrons of division on "Ukryttya" object. The undistorted value of size of constant of slump of instantaneous neutrons is certain in the premise 305/2 object "Ukryttya".