

СТАТИСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИГНАЛОВ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НЕЙТРОННОЙ АКТИВНОСТИ В ОБЪЕКТЕ "УКРЫТИЕ"

Остатки топлива после взрыва на 4-м энергоблоке Чернобыльской атомной станции (ЧАЭС) находятся в неуправляемом состоянии, что означает потенциальную опасность объекта. Для контроля за состоянием лавообразных топливосодержащих материалов и предупреждения о возникновении самоподдерживающейся цепной реакции действуют системы контроля нейтронных потоков, излучаемых топливосодержащими материалами в разрушенном 4-м блоке ЧАЭС. Предполагается, что возрастание потока нейтронов и превышение им некоторого уровня свидетельствует о развитии опасной ситуации и требует принятия определенных мер. Вопросы установления такого уровня на основе имеющихся измерений потоков нейтронов являются предметом данной работы. Проанализирована статистика плотности потока нейтронов за несколько дней. Показано, что эта статистика не сводится к функциям распределения Гаусса или Пуассона. Обнаружено, что значения плотности потока нейтронов не образуют непрерывный ряд значений и это не может быть объяснено работой электроники. Предложено вводить два типа контрольных уровней плотности потока нейтронов: первый - для фиксирования мгновенного превышения максимальных значений; второй - для отслеживания медленных изменений среднего значения.

Ключевые слова: объект "Укрытие, контрольный уровень, статистика нейтронов, топливосодержащие материалы.

Введение

Остатки топлива после взрыва на 4-м энергоблоке ЧАЭС находятся в неуправляемом состоянии, что означает потенциальную опасность объекта [1]. Для контроля за состоянием топлива, находящегося в различных топливосодержащих материалах (ТСМ), на объекте "Укрытие" используют несколько систем контроля нейтронной активности [2]. Эти системы предназначены для ведения непрерывных и долговременных наблюдений за параметрами состояния крупных скоплений ТСМ, расположенных во внутренних помещениях 4-го блока ЧАЭС – объекта "Укрытие". Наблюдение ведется с целью обеспечения ядерной и радиационной безопасности объекта "Укрытие" за счет раннего обнаружения и идентификации аномалий (устойчивых отклонений в значениях параметров), указывающих на опасное изменение состояния ТСМ.

Принятие решения о развитии ситуации в опасном направлении базируется, в том числе, на основе анализа данных о динамике потока нейтронов от ТСМ. Возрастание потока нейтронов теоретически может быть вызвано различными причинами, например повышением влажности, миграцией или изменением концентрации топлива в ТСМ и других факторов, в том числе и развитием самоподдерживающейся цепной реакции.

Показания каналов контроля плотности потока нейтронов (ППН) являются случайными величинами с определенными вероятностными характеристиками. Знание их необходимо для правильного решения многих вопросов, связанных с контролем ядерной безопасности [3]. Например, несмотря на постоянное внимание к этому вопросу [4, 5] до настоящего времени нет определенности в методике назначения контрольных уровней в каналах контроля ППН на объекте "Укрытие". В Технологическом регламенте объекта «Укрытие», который действовал до 2011 г. (п. 5.1.2 ТР-ОУ), за критические уровни принимались значения ППН в точках контроля с учетом максимальных отклонений результатов измерений от средних значений, зафиксированных в течение года [6]. Такая методика имеет ряд недостатков, в частности не учитывает увеличение ППН при увеличении коэффициента размножения $K_{эф}$ для разных скоплений ТСМ, а также особенности алгоритмов обработки результатов измерений в разных системах контроля. Она тем более не работает в условиях аномальных отклонений в показаниях систем контроля из-за влияния различного рода помех, которые приводят к «зашкаливанию» каналов. В новой редакции Технологического регламента объекта "Укрытие", принятой в 2011 г., вообще отсутствует раздел с методикой определения критических уровней. Это еще раз подтверждает отсутствие общепринятого подхода и актуальность решения данной проблемы.

Обычно решение о том, что изменение некоторой наблюдаемой величины превысило рамки диапазона нормальных флуктуаций, принимается на основе анализа функции распределения этих

флуктуаций [7]. Например, на основе правила "трех сигм": функция распределения считается гауссовой, а появление величины, превышающей три стандартных отклонения (три сигмы, 3σ) от среднего считается уже не обычным событием. К сожалению, существуют осложняющие факторы, которые в нашем случае не дают возможности пользоваться таким простым способом, в частности, при появлении помех, превышающих уровень 3σ . При обычной обработке результатов измерений проводится анализ таких событий и их отбраковка. Однако при автоматизированной обработке и тем более при автоматизированном принятии решения о превышении аварийного порога в этом случае будет иметь место ложное срабатывание системы сигнализации, причем без возможности анализа причины и корректировки действий. Если же решение о величине порога срабатывания аварийной сигнализации принимать на основе "от достигнутого", т. е. считать, что все зафиксированные на сегодняшний день значения ППН являются безопасными, то это означает принятие за истинные сигналы не только те, которые превышают уровень "три сигмы", но также и помехи. В свою очередь это означает отход от правила "трех сигм", отказ от рассмотрения физических механизмов появления флуктуаций и фактически такая система контролировать проявления самоподдерживающейся цепной реакции не будет (хотя, конечно, при взрыве она срабатывает).

Следует также отметить, что гипотеза о нормальности закона распределения показаний в каналах ППН, которую используют для вероятностных расчетов коэффициента размножения $K_{эф}$ [5], на практике часто не подтверждается. Поэтому использование стандартной методологии обработки статистических данных для нормальных распределений здесь может привести к ошибочным результатам. Следовательно, для принятия решения об установлении порога срабатывания системы контроля необходим анализ реальных данных. Ниже на примере результатов измерений ППН системой СК ТСМ проводится статистический анализ таких данных с целью обоснования процедуры выбора порога срабатывания при аномальных показаниях в системах контроля.

Для правильного понимания задачи следует более подробно рассмотреть особенности измерения ППН от ТСМ в системах, действующих на объекте "Укрытие". Измерения ППН не являются прямыми. При измерении ППН происходит последовательное преобразование случайных величин. На результаты этих преобразований влияет много случайных факторов (не только параметров измерительных преобразователей, но и внешних факторов). На рис. 1 показана типичная структура наиболее часто используемых на объекте "Укрытие" каналов контроля ППН.

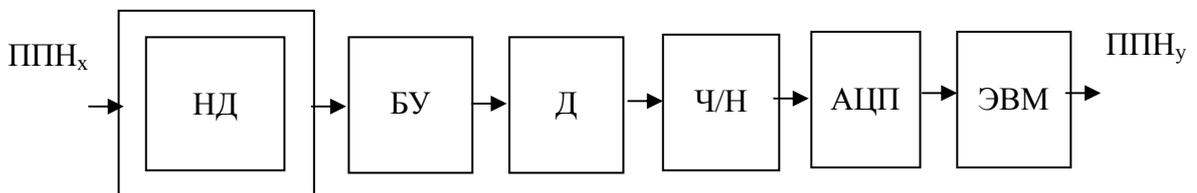


Рис. 1. Структура канала контроля ППН.

На нейтронный детектор (НД) воздействует поток нейтронов от ТСМ, который характеризуется определенным энергетическим спектром. Детектор (обычно это камера деления с ^{235}U) помещается в «утеплитель» из полиэтилена, который предназначен для изменения спектра нейтронов, т. е. увеличения доли медленных нейтронов и повышения чувствительности датчика. Принцип действия такого детектора основан на делении ядер урана при захвате ими нейтронов. Импульсы ионизации от осколков деления урана ^{235}U усиливаются в блоке усилителей (БУ) и подаются на дискриминатор (Д), в котором выполняется селекция импульсов по амплитуде и формирование последовательности нормированных импульсов. При этом средняя частота нормированных импульсов будет равна средней частоте импульсов, которые по амплитуде больше порога дискриминации. При правильном выборе порога дискриминации частота нормированных импульсов близка частоте импульсов ионизации от нейтронных событий. Далее выполняются преобразования: частоты в напряжение (Ч/Н), напряжения в цифровой код (АЦП) и пересчет в ЭВМ частоты импульсов (имп/с) в значения ППН_у (нейтрон/(см²·с)) Показания канала при этом могут запоминаться в базе данных каждые несколько секунд или предварительно осредняться.

На показания каналов ППН влияют следующие основные факторы: параметры спектра нейтронов от ТСМ и нелинейной функции преобразования этого спектра замедлителем; характеристики чувствительности ионизационной камеры и амплитудный спектр импульсов ионизации на выходе детектора; параметры усилителей и преобразователей импульсов ионизации в импульсы напряжения; уровни дискриминации импульсов напряжения по амплитуде, установленные в канале; по-

грешности преобразования "частота - код"; коэффициенты пересчета средней частоты импульсов от нейтронов в соответствующие значения ППН.

Путем настроек и калибровок канала стремятся, чтобы средние значения и дисперсии входной ППН_х и выходной ППН_у были близки. Основная проблема связана с тем, что калибровку каналов контроля ППН выполняют в лабораторных условиях с использованием эталонных источников нейтронов, энергетические спектры которых существенно отличаются от спектров в местах установки детекторов на объекте "Укрытие". Кроме того, не всегда учитывается тот факт, что в условиях объекта "Укрытие" измерения ППН выполняются на фоне мощных гамма-полей.

Следует отметить, что зависимость скорости счета от порога дискриминации является важнейшей характеристикой канала контроля ППН. Она показывает оптимальный уровень дискриминации, по ней, зная чувствительность детектора, можно определить ППН в контрольной точке, оценить правильность настройки канала, исправность самого детектора и многое другое. Это, в частности, позволяет выполнять калибровку канала без извлечения детектора из скважин, что упрощает метрологическое обслуживание, особенно в исследовательских системах контроля. Динамика этой зависимости дает важные сведения также для анализа причин аномальных показаний ППН в системах контроля ядерной безопасности на объекте "Укрытие".

Анализ результатов измерений

Для анализа реальных данных используем статистику показаний каналов № 5, 6, 9, 10 СК ТСМ. Отметим, что в этой системе измерения проводятся автоматически и показания ППН записываются в память каждые 10 с. Полученные результаты проведенного в следующем разделе статистического анализа выглядят довольно странно и не имеют очевидного объяснения. Нам не удалось объяснить их аппаратными эффектами типа округления и т.п. Поэтому изложенное ниже следует рассматривать как анализ свойств реально функционирующей системы, по данным которой необходимо принять определенные решения.

В работе анализируется серия измерений, выполненных с 1 июля 2001 г. по 31 июля 2011 г. Т. е. для каждого из четырех детекторов (именуемых в дальнейшем С05, С06 и С09, С10) имеется более 180 000 измерений. Выполним сначала стандартный статистический анализ. Напомним, что обычным является предположение, что распад радиоактивных ядер подчиняется статистике Пуассона. Для этого распределения среднее значение равно дисперсии и при средних значениях, больших примерно 10, ее можно аппроксимировать распределением Гаусса (с этими же соотношениями между дисперсией и средним) [8]. Для примера построим гистограмму распределения показаний канала для детектора С05. Гистограмма показана на рис. 2. Как видно, гистограмма имеет типичную колоколообразную (гауссову) форму с небольшим хвостом в области значений, больших 70, отбросив которые ее можно считать гауссовой. Действительно, считая ее гауссовой и применив метод определения "выбросов", описанный, например, в [9], получим, что значения больше 70 не удовлетворяют критериям гауссовости. К остальной кривой можно применять правило "трех сигм" и делать выводы, как описано выше. Однако при более тщательном рассмотрении гистограммы возникает ряд вопросов:

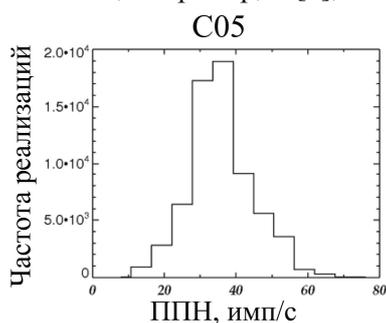


Рис. 2 Гистограмма распределения значений ППН для детектора С05.

1) как относиться к значениям, превышающим 70? При формальном расчете среднее значение равно 35,8, среднеквадратичное отклонение $\sigma \cong 9$, следовательно величина 3σ для данной гистограммы составляет 27 и значительная часть отсчетов превышает величину $35,8 + 27 \cong 63$, в то время как максимальная из них, равная 79, составляет $\cong 4\sigma$. Поскольку и при таких значениях система продолжает нормально функционировать, то следует принять, что если значения больше 70 являются помехами, установление уровня срабатывания даже на уровне 63 будет приводить к ложным срабатываниям. Если же эти значения не являются помехами, то следует признать, что распределение импульсов далеко от гауссового и требуются другие подходы к его анализу. Во всяком случае правило "трех сигм" применять для выбора контрольного уровня нельзя;

2) приведенная гистограмма, как и гистограммы для других рассмотренных детекторов, не соответствует распределению Пуассона. Во-первых, ее дисперсия, равная 88, даже при отброшенных максимальных значениях намного превышает среднее значение 35. Напомним, что для распределения Пуассона среднее равно дисперсии. Иными словами, гистограмма реальных данных весьма заметно отличается от теоретически ожидаемой гауссовой кривой со средним 35 и дисперсией 35. Таким об-

разом, реальная гистограмма имеет асимметрию, затянута в область больших значений и есть все основания считать, что наблюдаемое распределение не является гауссовым и правило "трех сигм" к нему неприменимо;

Таблица 1. Значения наблюдаемых и отсутствующих отсчетов

Детектор	Наблюдаемые отсчеты	Отсутствующие отсчеты
C05	5, 7, 9, 12, 14, 16, 18, 21, 23, 25, 28, 30, 32, 35, 37, 39, 42, 44, 46, 49, 51, 53, 55, 58, 60, 62, 65, 67, 69, 72, 74, 76, 79	6, 8, 10, 11, 13, 15, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 26, 27, 29, 31, 33, 34, 36
C06	2,5,7, 10, 12, 14, 17, 19, 21, 24, 26, 29, 31, 33, 36, 38, 40, 43, 45, 48, 50, 52, 55, 57, 59, 62, 64, 67, 69	6, 8, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 30, 32, 34, 35, 37, 39, 41,42, 44, 46, 47, 49, 51, 53,54, 56, 58, 60, 61, 63, 65,66, 68
C09	2, 4, 6, 8, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 30, 32, 34	1, 3, 5, 7, 9,10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 29, 31, 33
C10	2, 5, 7, 9, 12, 14, 16, 19, 21, 23, 26, 28, 30, 33	1, 3, 6, 8, 10, 11, 13, 15, 17, 18, 20, 22, 24, 25, 27, 29, 31, 32

чения потоков нейтронов. Так, например, среди измерений на детекторе C05 ни разу среди более чем 180 000 измерений не встретилось число 34 имп/с. Полный анализ для всех четырех детекторов дан в табл. 1;

2) детекторы C05, C06 (и, соответственно, C09, C10) расположены на расстоянии порядка 20 см друг от друга, т. е. фактически расположены парно. Тем не менее они различаются с точки зрения фиксирования того или иного числа отсчетов;

3) отсчеты идут сериями: с четными и нечетными значениями числа импульсов. В сериях отсчеты расположены через один пропуск, между сериями – по два пропуска. Серия, как правило, состоит из трех значений числа отсчетов;

4) гистограммы, построенные по части элементов (например, для 10 000 измерений), не отличаются от таковых для полной выборки и соответствуют табл. 1.

Заметим, что существует также проблема корректного установления типа распределений, изображенных на рис. 3. В связи с тем, что значения отсчетов не являются непрерывным рядом чисел, к ним не применимы обычные методы проверки гипотез [8], основанные на подсчете числа отсчетов в заданном интервале и сравнении этой величины с табличной, поскольку в нашем случае в некоторых интервалах может не оказаться ни одного отсчета.

Оценка параметров дискретных гистограмм

В табл. 2 приведены результаты расчета стандартных [8] характеристик гистограмм: средних значений, наиболее вероятных (максимум гистограммы) значений, дисперсии, стандартного отклонения и асимметрии. В данном расчете учитывались все значения, включая наибольшие, которые, как можно показать, являются "выбросами" для гауссового распределения.

Как уже указывалось во введении, для того чтобы предсказать вероятность появления того или иного конкретного показания (за время измерения), необходимо знать их функцию распределения. Наиболее очевидным является предположение, что это распределение должно быть распределением Пуассона. Однако из табл. 2 следует, что изображенные на рис. 3 гистограммы не соответствуют распределению Пуассона, поскольку их дисперсии намного больше средних значений. Моделирование экспериментальных распределений с помощью распределения Гаусса не имеет смысла по двум

3) при построении гистограмм весь диапазон значений разбивается на несколько интервалов, для которых подсчитывается число попавших в них измеренных значений. Для изображенной на рис. 2 гистограммы число интервалов с большим трудом было подобрано таким, чтобы гистограмма была более-менее плавной кривой. При всех других интервалах гистограмма сильно искажена. Если же интервал выбрать шириной 1 имп/ с, получим гистограммы, изображенные на рис. 3. Оказалось, что эти гистограммы не являются сплошными и парадокс состоит в том, что это не может быть объяснено недостаточностью числа измерений: при компьютерном моделировании сплошные правильной формы гистограммы образуются приблизительно при 2000 элементов, использованных для их построения.

У гистограмм, изображенных на рис. 3, отмечаются следующие особенности:

1) отсчеты не образуют непрерывный спектр – гистограммы (распределения) не являются непрерывными: на всех гистограммах полностью отсутствуют некоторые значения

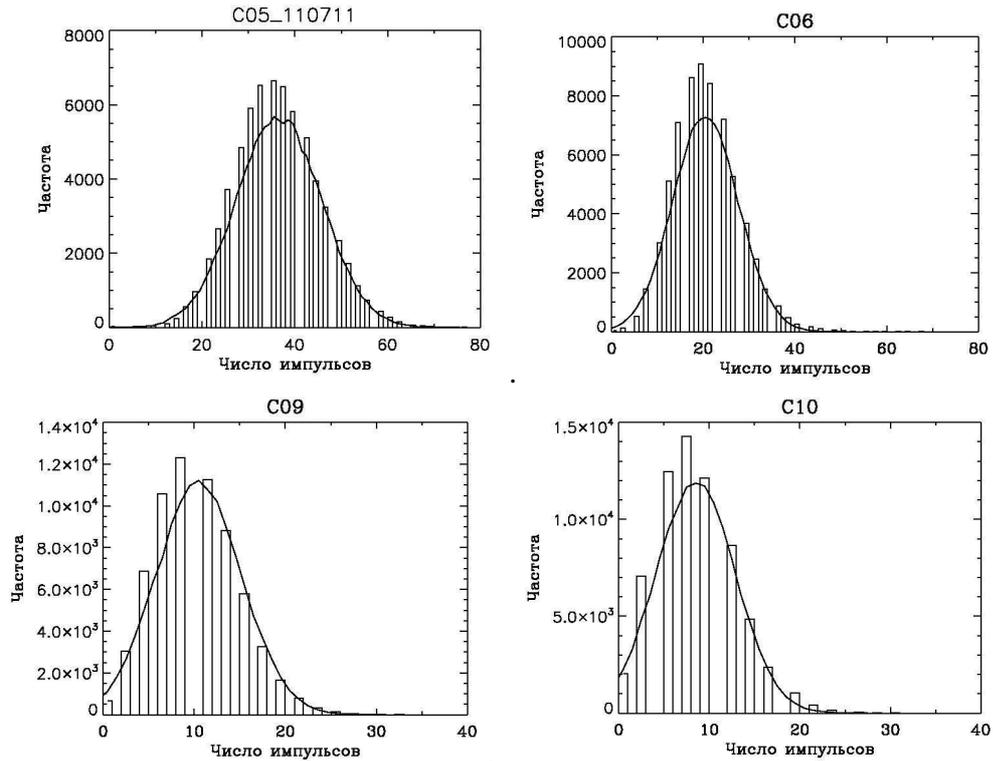


Рис. 3. Гистограммы распределения показаний по их количеству. В верхней части каждого рисунка указан номер детектора. Сплошные линии – гауссовы распределения с параметрами для каждой гистограммы, указанными в табл. 2. При построении модельных кривых число элементов в выборке гауссовых случайных чисел соответствовало числу элементов экспериментальной выборки (65 000).

причинам. Во-первых, хотя, как известно, распределение Пуассона при средних значениях больше 10 переходит в распределение Гаусса, однако в нем должно сохраниться равенство среднего и дисперсии, чего нет в эксперименте. Во-вторых, построенные по определенным из эксперимента средними значениями и дисперсиями модельные гистограммы содержат отрицательные значения, особенно для детекторов C09 и C10. Поэтому моделировать экспериментальные данные распределениями, которые дают не имеющие физического смысла результаты, просто абсурдно. Наконец, предположим, что хотя бы гистограмму для детектора C05, которая выглядит наиболее симметричной, можно моделировать нормальным распределением с указанными в табл. 2 параметрами. И в этом случае простая проверка на наличие экстремальных ошибочных значений показывает, что максимальные значения 76 и 79 (см. табл. 1) не соответствуют нормальному распределению.

Таблица 2. Параметры гистограмм

Детектор	Среднее, имп/с	Наиболее вероятное, имп/с	Медиана, имп/с	Дисперсия, имп/с	Стандартное отклонение, имп/с	Асимметрия
C05	35,8	35,3	39	83,8	9,2	0,23
C06	20,2	20,0	21	50,6	7,1	0,58
C09	9,8	8,2	15	21,5	4,6	0,45
C10	8,3	7,9	7	17,4	4,2	0,67

Хотя распределения измеренных скоростей счета нейтронов не соответствуют ожидаемому, очевидно, что их флуктуации связаны со статистикой распада и распределены по определенному закону. Поэтому вопрос, который также следует обсудить, - являются ли максимальные экспериментальные значения элементами этой же генеральной выборки или это, например, импульсные помехи. В первом случае необходимо искать подходящую функцию распределения с "тяжелым" хвостом. Во втором случае на этот вопрос частично можно ответить, проанализировав моменты появления этих

максимальных значений. Оказывается, что в различных детекторах они появлялись в разное время. В случае помех, связанных с наводками по сетям питания, они должны были бы появляться в некоторых детекторах одновременно, во всяком случае в детекторах С05, С06 и, соответственно, С9 и С10, которые расположены попарно. Поэтому возможно, что эти значения все-таки реальны, но принадлежат другой генеральной выборке и вызваны, например, случайным изменением условий в ТСМ, т. е. эти нейтроны пришли от тех частей ТСМ, которые имеют свойства, отличные от их основной массы. Тогда, раз они не являются помехами, их следует принимать во внимание при выборе уровня аварийной сигнализации.

Отсутствие распределения Пуассона, по-видимому, объясняется следующим. Распределение Пуассона описывает радиоактивный распад ядер, распадающихся независимо друг от друга. При наличии актов вынужденного деления к исходному потоку нейтронов будет добавляться некоторое число нейтронов вынужденного деления, что должно "утяжелять" хвост гистограммы распределения и увеличивать превышение дисперсии над средним. Поскольку возникновение нейтронов вынужденного деления обусловлено другим механизмом, нежели спонтанное деление, их функция распределения неизвестна, а приведенные на рис. 3 гистограммы, по-видимому, в той или иной мере являются суммой двух различных распределений, относительный вклад которых будет изменяться при изменении коэффициента размножения.

В этой ситуации (когда результат описывается суммой двух различных функций распределения), описанная выше логика выбора контрольного уровня, основанная на нормальном законе распределения, должна быть изменена. Кроме того, отметим, что реальную опасность представляет лишь приближение $K_{эф}$ к критическому значению. На сегодняшний день ТСМ в объекте "Укрытие" подкритичны и уровень $K_{эф}$ для них оценивается как меньший 0,35 [2]. Превышение нынешнего уровня ППН даже вдвое будет свидетельствовать не о начале самоподдерживающейся цепной реакции, а лишь о развитии ситуации в опасном направлении (см. [5], где рассчитывается связь между величиной ППН и $K_{эф}$). Поэтому при рассмотрении вопроса об установлении критических уровней следует, видимо, следовать логике работы [10], в которой предлагается отслеживать не превышения опасного критического значения, а значимые отклонения контролируемых параметров от имеющегося (низкого) уровня, чтобы выявить ранние тенденции неблагоприятных изменений состояния ТСМ.

Таким образом, для текущего контроля предлагается введение двух контрольных уровней. Для оперативного реагирования на резкое изменение ситуации наиболее обоснованным выбором для первого контрольного уровня будет максимальное значение ППН, наблюдавшееся за последние годы стабильной ситуации. Превышение его будет требовать анализа опасности ситуации. Однако возможно также, что со временем уровень ППН будет сравнительно медленно повышаться. Это приведет к систематическому повышению его среднего значения, но не будет проявляться на уровне максимальных значений. Для выявления этого эффекта необходимо контролировать среднее значение ППН за последние несколько часов или суток и сравнивать его с установленным средним для многолетних измерений. И, конечно, должен быть установлен на основании тех или иных расчетов типа [5] уровень, связанный с критической величиной $K_{эф}$, требующий вмешательства.

Сделаем два замечания: 1) установленные таким способом контрольные уровни не имеют ничего общего с критическим уровнем для самоподдерживающейся цепной реакции и направлены в основном на контроль за изменениями состояния ТСМ; 2) по всей видимости, влияние некоторых помех также должно выглядеть как увеличение потока нейтронов и на данном этапе рассмотрения неотличимо от истинного явления.

Заключение

Результаты измерений обсуждались исходя из того, что это свойства реальной системы. Независимо от того, чем вызваны такие формы гистограмм, мы вынуждены принимать решения на основе их характеристик. Тот парадокс, что наблюдаемые флуктуации потоков нейтронов не описываются распределением Пуассона, остается вне рамок настоящей работы. Однако следует заметить, что существует обширная литература, посвященная исследованиям статистических свойств флуктуаций, в том числе радиоактивного распада [11]. Согласно этим работам, "зубчатость" гистограмм является неотъемлемым свойством флуктуаций. С этой точки зрения необычность наших результатов в том, что некоторые значения не просто маловероятны, но полностью отсутствуют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключников А. А., Краснов В. А., Рудько В. М., Щербин В. Н. Объект «Укрытие»: 1986 - 2011 на пути к преобразованию / Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2011. - 286 с.
2. Атрощенко А. Ф., Балюн В. А., Высотский Е. Д. и др. Системы контроля состояния топливосодержащих материалов объекта «Укрытие». – Чернобыль, 1999. - 40 с. – (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 99-3).
3. Модельные и экспериментальные исследования эффективности нейтронного контроля топливосодержащих материалов в зонах критмассового риска: (Отчет по НИР) ИПБ АЭС НАН Украины; рук. А. А. Ключников. - Инв. № 3886. - Чернобыль, 2007.
4. Высотский Е. Д., Шевченко В. Г. Методические основы контроля подкритичности топливосодержащих масс. – Чернобыль, 1998. - 23 с. – (Препр. / НАН Украины. МНТЦ «Укрытие»; 98-1).
5. Августов В.В., Кучмагра А.А., Молчанов О.С. и др. Обоснование выбора пороговых значений контролируемых параметров системы контроля топливосодержащих материалов на объекте «Укрытие» // Проблемы Чернобыля. – 2000. – Вип. 6. - С. 140 - 152.
6. Технологический регламент объекта «Укрытие реактора блока № 4 Чернобыльской АЭС». – Чернобыль, 1999.
7. Кассандрова О. Н., Лебедев В. В. Обработка результатов наблюдений. – М.: Наука, 1970. – С. 102.
8. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 344 с.
9. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 363 с.
10. Турбаевский В. В. Совершенствование системы контрольных уровней радиационных параметров на атомных электростанциях // Ядерная радиационная безопасность. – 2012. – № 1(53). – С. 25 – 29.
11. Шноль С.Э., Коломбет В.А., Пожарский Э.В. и др. О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах // Успехи физ. наук. – 1998. – Т.168. – №10. – С. 1129 - 1139.

А. І. Довидков, А. Д. Скорбун

Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, вул. Кірова, 36а, Чорнобиль, 07270, Україна

СТАТИСТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИГНАЛІВ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ НЕЙТРОННОЇ АКТИВНОСТІ В ОБ'ЄКТІ "УКРИТТЯ"

Залишки палива після вибуху на 4-му енергоблоці Чорнобильської атомної станції (ЧАЕС) знаходяться в некерованому стані, що означає потенційну небезпеку об'єкта. Для контролю за станом лавоподібних паливовмістних матеріалів і попередження про виникнення самопідтримної ланцюгової реакції діють системи контролю нейтронних потоків, які випромінюються паливовмістними матеріалами в зруйнованому 4-му блоці ЧАЕС. Припускається, що зростання потоку нейтронів і перевищення ним деякого рівня свідчить про розвиток небезпечної ситуації і вимагає прийняття певних заходів. Питання встановлення такого рівня на основі наявних вимірювань потоків нейтронів є предметом даної роботи. Проаналізовано статистику густини потоку нейтронів за декілька діб. Показано, що ця статистика не зводиться до функцій розподілу Гаусса чи Пуассона. Виявлено, що значення густини потоку нейтронів не утворюють неперервний ряд значень і це не може бути пояснено роботою електроніки. Запропоновано вводити два типи контрольних рівнів густини потоку нейтронів: перший – для фіксації миттєвого перевищення максимальних значень, і другий – для відслідковування повільних змін середніх значень.

Ключові слова: об'єкт "Укриття", контрольний рівень, статистика нейтронів, паливовмістні матеріали.

A. I. Dovidkov, A. D. Skorbun

Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants NAS of Ukraine, 36a, Kirova str., Chornobyl, 07270, Ukraine

STATISTICAL PROPERTIES OF SIGNALS OF A SYSTEM FOR NEUTRON ACTIVITY CONTROL IN THE "UKRYTTYA" OBJECT

The residuals of a fuel after an explosion in Unit 4 of Chornobyl nuclear power plant (ChNPP) are in uncontrollable state. This means that the object is potentially dangerous. To control for the lava-like fuel-containing materials and warning about initiation of self-sustained reaction the systems exist, which control neutron flux from fuel-containing materials in destroyed Unit 4 of ChNPP. It is suggested, that rising of neutron flux and exceeding by it some level argues about development of dangerous situation and requires taking some measures. The questions concerning establishing of such a level on the base of existing measurements of neutron fluxes are the subject of this article.

The statistics of neutron flux density over a period of a few days has been analyzed. It was shown, that this statistics do not comes to Gauss or Poisson functions. It was discovered, that values of neutron flux density do not form a

continuous series of values, and this can not be explained by the work of electronics. It was suggested to establish two types of control levels of neutrons flux density: the first – for fixing of instant excess of maximal values, and the second – for tracking of slow changing of a mean value.

Keywords: "Ukryttya" object, control level, neutrons statistics, fuel-containing materials.

REFERENCES

1. *Kliuchnykov O. O., Krasnov V. O., Rud'ko V. M., Scherbin V. M.* "Ukryttya" object: 1986 – 2011 on the way to transformation. – Chornobyl: Institute for safety problem of NPP of NAS of Ukraine, 2011. - 286 с. (Rus)
2. *Atroschenko A. F., Balyun V. A., Vysotskii E. D. et al.* Systems for control of a state of fuel-containing materials of "Ukryttya" object / Chornobyl, 1999. - 40 p. – (Preprint / NAS of Ukraine. ISTC "Ukryttya"; 99-3). (Rus)
3. *Model and experimental investigations of neutron control effectiveness for fuel-containing materials in zones of critical-mass risk: (Report about scientific work) ISP NPP NAS of Ukraine; Head O. O. Kliuchnykov.* Archive № 3886. - Chornobyl, 2007. (Rus)
4. *Vysotskii E. D., Schevtschenko V. G.* Methodical bases of control of subcriticality of fuel-containing masses. – Chornobyl, 1998. - 23 p. – (Preprint / NASU of Ukraine. ISTC "Ukryttya"; 98-1). (Rus)
5. *Avgustov V. V., Kuchmagra O. O., Molchanov O. S. et al.* Substantiation of choice of threshold values of controlled parameters for fuel-containing materials on the "Ukryttya" object " // Problemy Chornobylya. – 2000. – Iss. 6. - P. 140 - 152. (Rus)
6. *Technological regalement for the object "Shelter for a reactor of Unit 4 of Chornobyl NPP".* – Chornobyl, 1999. (Rus)
7. *Kassandrova O. N., Lebedev V. V.* Treatment of results of observations. – Moskva: Nauka, 1970. – 102 p.
8. *Pollard J. H.* A handbook of numerical and statistical techniques. – Moskva: Financy and statistics, 1982. – 344 с. (Rus)
9. *Smirnov N. V., Dunin-Barkovskii I. V.* A course of probability theory and mathematical statistics for technical applications. – Moskva: Nauka. – 1969. – 363 p. (Rus)
10. *Turbaevskii V.V.* Improvement of control levels system of radiative parameters for nuclear power station // Yaderna i radiatsiina bezpeka. – 2012. – № 1(53). – P. 25 – 29. (Rus)
11. *Shnol S. E., Kolombet V. A., Pozharskii E. V. et al.* About realization of discrete states in the course of fluctuations in macroscopic processes // Uspekhi physicheskikh nauk. - 1998. - Vol. 168, № 10. – P. 1129 - 1139. (Rus)

Надійшла 11.01.2013

Received 11.01.2013