

О ВКЛАДЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ИОНИЗАЦИОННОГО ТОКА В ФОРМИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО ИМПУЛЬСА ИОНИЗАЦИОННЫХ КАМЕР ДЕЛЕНИЯ

Я.В. Глазюк, В.П. Алферов, Б.С. Саламаха, И.Г. Веселов

АО «Красная Звезда»

115230, г. Москва, Электролитный проезд, д. 1А



Приведены результаты исследования импульсных характеристик камер деления КНК 15-1, КН 010 и КН 042 с различной геометрией электродной системы.

Продемонстрированы различия в распределениях амплитудных спектров импульсов от осколков деления для камер деления различной геометрии при разных направлениях электрического поля в межэлектродном пространстве.

Показано, что для камер деления с плоскопараллельной электродной системой (КНК 15-1) изменение направления электрического поля в межэлектродном пространстве не приводит к заметным различиям амплитудных спектров импульсов от осколков деления, т.е. отсутствует зависимость образующегося заряда в импульсе камеры деления от полярности источника питания.

Изменение направления электрического поля в межэлектродном пространстве камеры деления с коаксиальной геометрией электродной системы (КН 010, КН 042) приводит к различиям амплитудных спектров импульсов от осколков деления и, как следствие, различиям зарядов в импульсе камеры деления.

Анализ зависимости распределения амплитудных спектров импульсов камеры деления от направления электрического поля в межэлектродном пространстве позволил впервые продемонстрировать наличие дополнительной составляющей заряда в импульсе камеры деления, которая может оказывать существенное влияние на эффективность регистрации нейтронов ионизационных камер деления (ИКД), имеющими цилиндрическую электродную систему. В количественном отношении вклад дополнительной составляющей для исследованных камер деления может достигать 20 – 23%.

Ключевые слова: нейтрон, ионизация, осколок деления, камера деления, заряд в импульсе камеры деления, регистрация нейтронов.

Глазюк Я.В., Алферов В.П., Саламаха Б.С., Веселов И.Г. О вкладе дополнительной составляющей ионизационного тока в формирование выходного импульса ионизационных камер деления. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2022. – № 4. – С. 102-111. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2022.4.09> .

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для контроля плотности нейтронного потока во всех диапазонах мощности реакторных установок (РУ) широко используются ионизационные камеры деления (ИКД) – газонаполненные детекторы нейтронов, принцип действия которых основан на преобразовании энергии деления в электрические сигналы посредством реакции (n, f) и ионизации газа-наполнителя осколками деления [1].

Традиционным для ИКД, применяемых для контроля РУ, являются плоскопараллельная и коаксиальная геометрии электродной системы. При этом для достижения высокой (~ 1 имп·см²/с) чувствительности к нейтронам общая площадь электродов с двусторонним нанесением закиси-оксида урана, обогащенной по изотопу ²³⁵U, составляет 500 – 1000 см² и более с толщиной покрытия 1 – 2 мг/см². Таковы серийно выпускаемые ионизационные камеры КНК 15-1 и КНТ 54-1 (плоские электроды), КНТ-31 и КН-022 (с набором коаксиальных цилиндрических электродов большого диаметра) [2].

Работа ИКД в импульсном режиме и её фактический выходной сигнал зависят от особенностей измерительного тракта аппаратуры обработки, но в целом определяется двумя важнейшими характеристиками: формой импульса (т.е. амплитудой и длительностью) «быстрой» (электронной) составляющей и зарядом в импульсе. По мнению авторов, применение широкодиапазонной зарядочувствительной аппаратуры для действующих и перспективных ядерно-физических и реакторных установок является предпочтительным. Вариантом такой аппаратуры (зарегистрированной в качестве средства измерения) является программно-технический комплекс «Автотест-М» [3], одна из конфигураций которого, включающая в свой состав контроллеры ввода-вывода сигналов типа КВВС-03.02, КВВС-01.02, использовалась нами в дальнейших исследованиях.

Ранее в ходе разработки ИКД модульной конструкции, электродная система которых состоит из нескольких десятков пар коаксиальных цилиндрических электродов малого диаметра ($\varnothing 7$ мм и $\varnothing 3$ мм), было установлено, что импульсная чувствительность камеры зависит от направления электрического поля в межэлектродных промежутках [4]. В многочисленной литературе, посвященной исследованиям ИКД, этот факт не отражен, хотя имеет большое значение, в частности, для корректной «сшивки» границ импульсного и токового диапазонов работы камер деления, а также для устойчивости работы ИКД совместно с регистрирующей аппаратурой в импульсном режиме регистрации нейтронов в условиях воздействия мощного гамма-излучения ($> 3 \cdot 10^2$ Гр/ч). Во втором случае амплитуда флуктуаций гамма-тока может повысить амплитуду импульсов от нейтронов, что приведет к появлению «ложного» счёта нейтронов. Для корректного решения этих вопросов необходимо дополнительное исследование составляющих ионизационного тока в формировании выходного импульса ИК деления.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Определение зависимости заряда в импульсе ИКД от осколков деления производилось в лабораторных условиях при облучении ИКД источником нейтронов. Регистрация амплитудных спектров сигналов ионизационных камер проводилась по методике [5] при помощи комплекса «Автотест-М» [6].

Схема облучения и измерения выходных сигналов камер деления приведена на рис. 1. ИКД облучалась термализованными в замедлителе нейтронами от PuBe-источника таким образом, чтобы скорость счёта импульсов от нейтронов была не менее 100 имп. в секунду. Высоковольтный («питающий») вывод «+» и сигнальный вывод «0» подключались к блоку аналоговой обработки (БАО) и блоку анализаторов импульсов (БАИ) контроллера КВВС-03.02. Напряжение питания ИКД «+Е» обеспечивалось контроллером КВВС в диапазоне от 0 до 500 В. Время экспозиции набора импульсов подбиралось таким образом, чтобы обеспечить статистическую ошибку регистрации не более 1%. Параллельно

в цепь регистрации импульсов тока при помощи высокочастотных коаксиальных разветвителей типа СР подключался источник опорных импульсов КВВС-01.02, обеспечивающий генерацию импульсов тока с заданными характеристиками. После регистрации амплитудных спектров импульсов тока ИКД от нейтронов, превышающих заданный порог дискриминации, производилась смена направления электрического поля в межэлектродном зазоре внутри ИКД путём «переполюсовки» выводов «0» и «+».

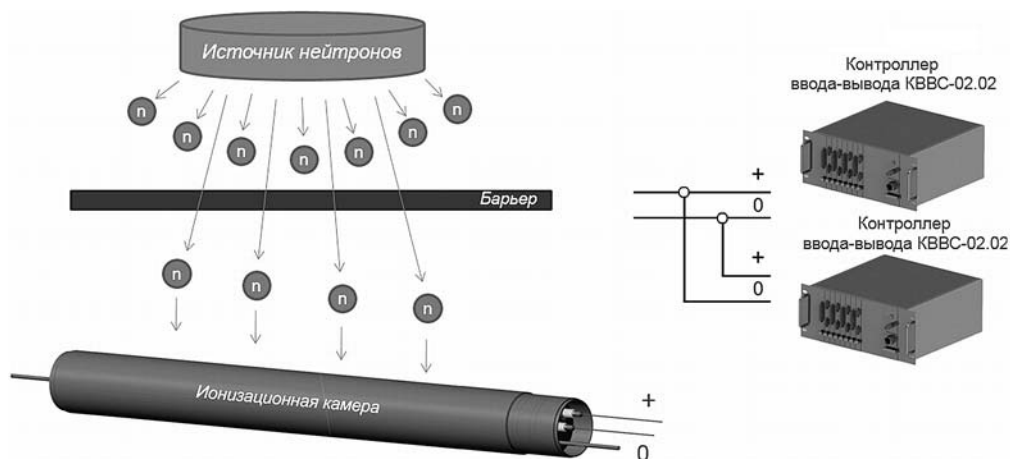


Рис. 1. Схема облучения и измерения выходных сигналов камер деления

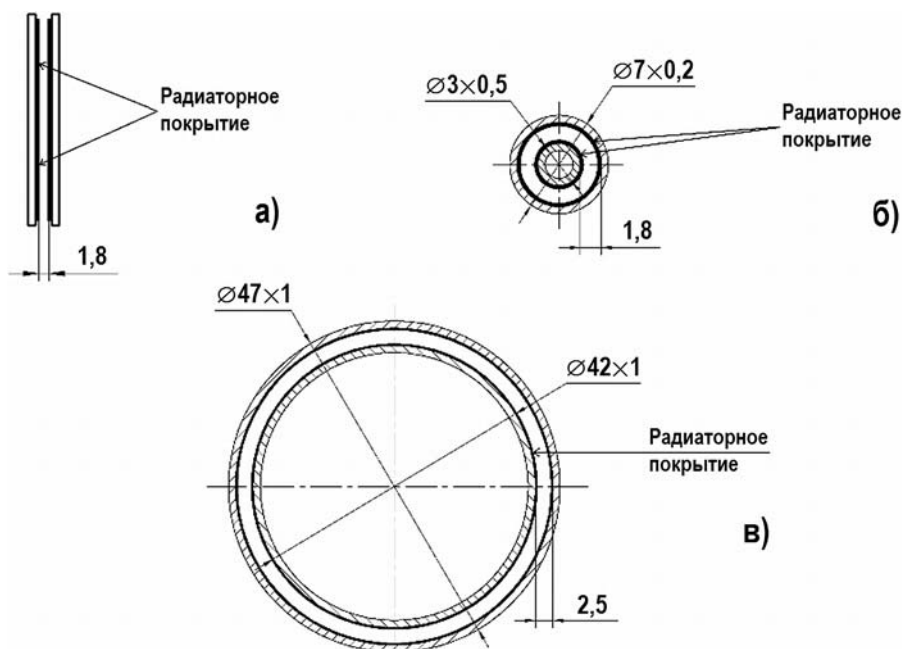


Рис. 2. Электродная система ИКД КНК 15-1 (а), КН 010 (б), КН 042 (в)

Проводились испытания ИКД, имеющих три различных электродных системы (рис. 2). ИКД КНК 15-1 имеет плоскопараллельную геометрию электродов (рис. 2а), КН 010 (рис. 2б) и КН 042 (рис. 2в) – цилиндрическую. Радиаторное покрытие, чувствительное к нейтронам, для всех ИКД является одинаковым и представляет собой закись-окись урана с 90%-ым обогащением по изотопу уран-235 с удельной плотностью покрытия 1 мг/см². Геометрия электродной системы КН 042 подбиралась таким образом, чтобы сочетать в ней

преимущества КНК 15-1 и КН 010 и обеспечить квазиоднородное электрическое поле в межэлектродном зазоре одновременно с минимизацией краевых эффектов на концах электродов.

Для удобства отображения под коммутацией № 1 (штатное включение) подразумевается ситуация, когда электрод «+» подключен к источнику питания относительно корпуса камеры (+E), а электрод «0» – ко входу измерительного оборудования (0). При коммутации № 2 (обратное подключение) – электрод «+» подключен к 0, а электрод «0» подключен к +E. Для КН 010 и КН 042 при коммутации № 1 (штатное подключение) высоковольтным электродом является внутренний электрод, сигнальным – внешний; при коммутации № 2 (обратное включение) высоковольтным электродом является внешний электрод, сигнальным – внутренний.

Результаты регистрации и обработки импульсов ИКД от нейтронов для электродных систем с радиаторным покрытием, нанесенным на обе обращенные в межэлектродное пространство поверхности, приведены в табл. 1 и на рис. 3, 4.

Таблица 1

Расчетные значения среднего заряда импульсов ИКД, превышающих порог

Порог, 10 – 13 Кл	1	1,1	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9
КНК 15-1, 10 – 13 Кл*	1,66	1,72	1,78	1,95	2,13	2,32	2,40
КН 010 (1), 10 – 13 Кл*	1,91	2,00	2,07	2,23	2,41	2,57	2,66
КН 010 (2), 10 – 13 Кл*	1,47	1,56	1,66	1,85	2,07	2,26	2,35
Вклад дополнительной составляющей в сигнал, %	23	22	20	17	14	12	12
* – указан средний заряд импульсов, превышающих порог							

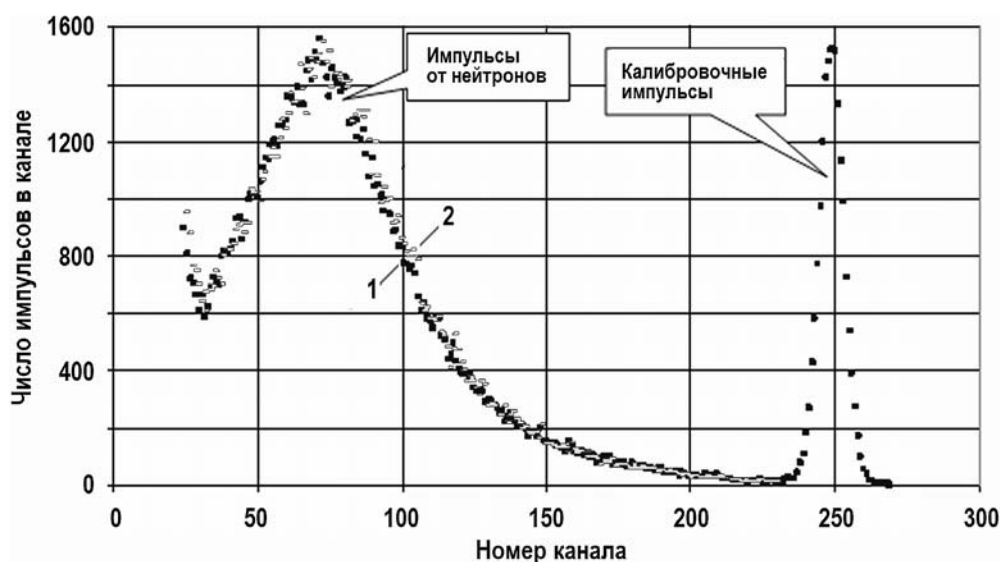


Рис. 3. Спектры сигнала КНК 15-1. Подключение 1 – штатное, 2 – обратное

Спектры сигналов для разного подключения электродов ИКД к источнику смещения (т.е. разного направления электрического поля в рабочем зазоре) практически совпадают для КНК 15-1 (рис. 3) и заметно различаются для КН 010 (рис. 4). Соответственно

различаются значения среднего заряда в импульсе КН 010 при разном подключении электродов (табл. 1). Попытка объяснить этот факт влиянием объемного заряда, образующегося в треке осколка деления, опровергается данными о независимости чувствительности ИКД в токовом режиме от полярности напряжения смещения. При напряжениях электрического поля, характерных для ИКД, процессы электрон-ионной рекомбинации в объемном заряде и искажение им электрического поля в межэлектродном зазоре крайне незначительны.

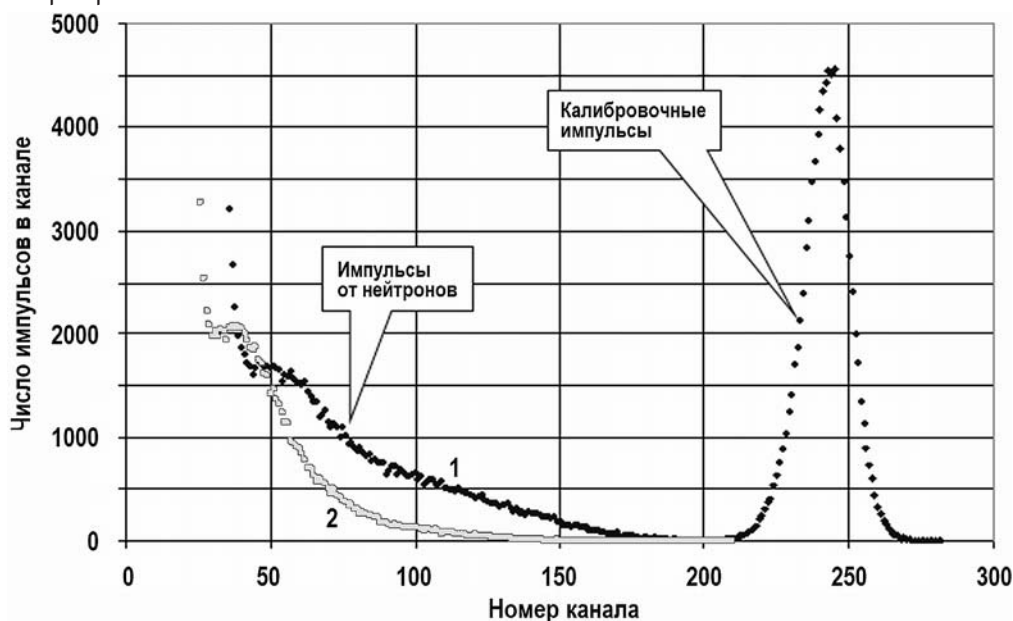


Рис. 4. Спектр сигнала КН 010. Подключение 1 – штатное, 2 – обратное

Существенным отличием электродной системы КН 010 является заметная разница площади внешнего и внутреннего электродов коаксиальной пары. Эта разница может привести к различию спектров в случае пространственной неоднородности ионизации в межэлектродном промежутке, обусловленной характером взаимодействия осколков со средой. Удельные ионизационные потери энергии тяжелой заряженной частицы описываются известной формулой Бете–Блоха [7], в соответствии с которой $dE/dx \sim kz^2/v^2$ (z – заряд, v – скорость частицы). Применительно к осколкам деления, являющимся в момент деления многозарядными (с зарядом $+20 - 25e$) ионами, расчеты усложняются учетом уменьшения их заряда в процессе движения за счет захвата электронов. Экспериментальные данные о величине dE/dx для «тяжелого» осколка в воздухе, полученные методом регистрации коллимированного пучка осколков деления, проходящего между плоскопараллельными электродами ионизационной камеры, приведены в [8]. Удельные ионизационные потери энергии осколка деления в начале пробега почти на порядок превышают таковые в конце пробега. Более подробные расчетно-экспериментальные данные об удельных ионизационных потерях осколков деления представлены в [9]. С учетом косинусоидального характера пространственного распределения вероятности вылета осколка под углом φ к плоскости радиатора максимум плотности ионизации рабочего газа ионизационной камеры (как правило, аргона) достигается в области, непосредственно примыкающей к радиатору (электроду). В таких условиях время собирания некоторой части положительных ионов рабочего газа, образовавшихся на расстояниях много меньших межэлектродного зазора от электрода с более низким потенциалом, сравнивается с временем собирания электронов, т.е. вклад ионного тока в «быструю» составляющую выходного импульса камеры становится существенным.

Поэтому, если электрод с большей площадью покрытия имеет более низкий потенциал, чем другой электрод, то вклад дополнительной составляющей в «быструю» составляющую импульса будет больше, чем в противном случае. Для электронной составляющей заряда, образованной первичной ионизацией в газе, направление электрического поля в межэлектродном зазоре не имеет значения в силу гораздо большей подвижности электронов.

Подтвердить факт влияния ионной дополнительной составляющей на заряд в импульсе позволяют спектры сигналов ИКД КН 042 с электродной системой с покрытием ураном одного электрода (радиаторное покрытие нанесено на внешнюю поверхность внутреннего электрода), приведенные на рис. 5.

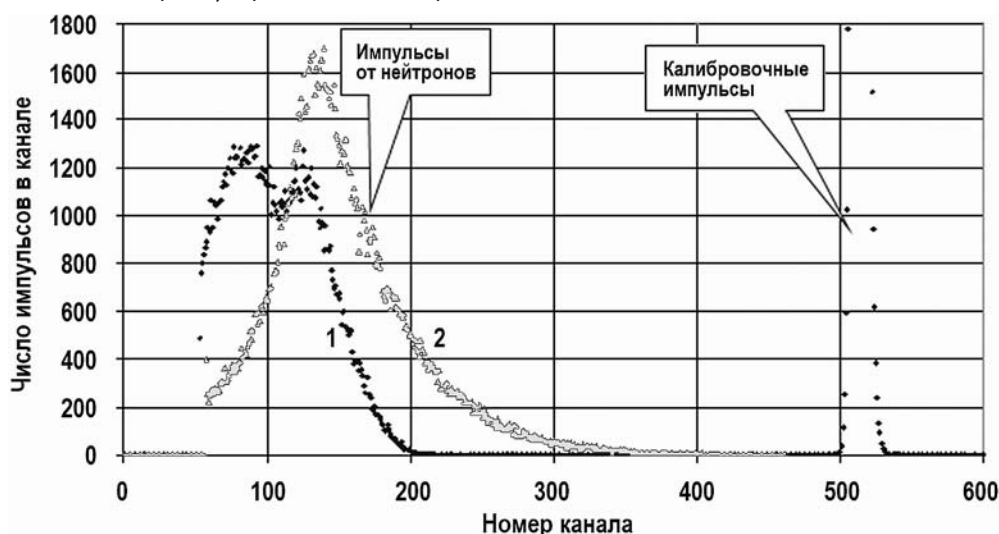


Рис. 5. Спектр сигнала КН 042. Подключение 1 – штатное, 2 – обратное

Спектр 1 на рис. 5 определяется электронной составляющей заряда в газе и отражает вид распределения осколков деления по энергиям. Вклад собираемой одновременно с электронами части дополнительной составляющей заряда может быть в определенной степени обусловлен быстрым сбором ионной составляющей и (или) вторичной эмиссией электронов. Этот вклад характеризуется большим разбросом, так как сильно зависит от энергии осколка и угла вылета из радиатора. Поэтому итоговое распределение 2 получается из распределения 1 путем суммирования с ним дополнительного вклада в заряд в импульс ИКД. Расчётные значения среднего заряда импульсов ИКД КН 042, превышающих порог, указаны в табл. 2.

Расчетные значения среднего заряда импульсов ИКД КН 042, превышающих порог Таблица 2

Порог, 10 – 13 Кл	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
КН 042 штатное подключение, 10 – 13 Кл*	1,87	1,99	2,1	2,24	2,39	2,57	2,79
КН 042 обратное подключение, 10 – 13 Кл*	2,21	2,27	2,36	2,52	2,71	2,89	3,09
Вклад дополнительной составляющей заряда, %	15%	12%	11%	11%	12%	11%	10%
* – указан средний заряд импульсов, превышающих порог							

Таким образом, при обратном подключении ионизационной камеры КН 042 вклад

дополнительной составляющей в заряд в импульсе ИКД при заданном уровне дискриминации имеет довольно существенное значение для выходного сигнала.

Сильная неоднородность ионизационных потерь вдоль трека осколка деления и вклад дополнительной составляющей заряда в импульсе ИКД во многом затрудняют анализ временных характеристик выходного импульса. При описании формы импульса помимо предположений о равномерной ионизации вдоль трека, как, например, в [10 – 13], следует учитывать вклад дополнительной составляющей в заряд в импульсе ИКД, который будет исследован авторами в дальнейшем, и предварительно может быть объяснен, например, следующим:

- учётом ионной составляющей импульса (регистрация наносекундного импульса тока от ионов в прикатодном слое в течение времени сбора электронной составляющей импульса),

- образованием дополнительного положительного потенциала на электроде вследствие вторичной эмиссии электронов (термоэмиссия в треке осколка деления в слое радиатора; эмиссия электронов, образованных воздействием медленных ионов прикатодного слоя с материалом радиатора) и, как следствие, увеличенным сигналом в измерительном тракте аппаратуры обработки.

Оптимальным решением задачи регистрации сигналов ИКД в импульсном режиме представляется использование зарядочувствительных усилителей, предъявляющих к форме импульса сравнительно «мягкие» требования. Так в ИКД, эксплуатирующихся в условиях высоких температур, имеет место эффект отравления рабочей среды (газа-наполнителя ИКД) электроотрицательными газами (O_2 , CO_2 , H_2O), выделяющимися в этих условиях из конструктивных элементов ИКД, приводящий к удлинению импульса и уменьшению его амплитуды. В этих случаях в системах регистрации с дискриминацией по амплитуде будет наблюдаться снижение скорости счёта импульсов. «Площадь» импульса, т.е. его заряд, при этом сохраняется, а показания зарядочувствительной аппаратуры не изменяются.

ВЫВОДЫ

Впервые продемонстрировано наличие дополнительной составляющей заряда в импульсе ИКД, которая может оказывать существенное влияние на эффективность регистрации нейтронов ИКД, имеющими цилиндрическую электродную систему. Экспериментально показано, что данный вклад может достигать 23% для электродов с диаметром 6,4/3,0 мм и 15% для электродов диаметром 45/42 мм.

Полученные результаты позволяют повысить устойчивость работы систем АКНП в условиях интенсивных полей гамма-излучения (что особенно важно для реакторов типа БН), так как обеспечивают возможность увеличить степень дискриминации фоновых сигналов, генерируемых гамма-излучением при взаимодействии с конструктивными материалами ИКД как в объеме электродной системы, так и в коммутационных элементах, соединяющих её с выводами ИКД.

Учет обнаруженной дополнительной составляющей заряда в импульсе ИКД также необходим для корректной оценки эффективности канала регистрации нейтронного потока (его чувствительности), что важно для его метрологической сертификации.

Литература

1. *Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С.* Основы экспериментальных методов ядерной физики. Изд. 3, – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 488 с.
2. *Дмитриев А.Б., Малышев Е.К.* Нейтронные ионизационные камеры для реакторной техники. – М.: Атомиздат, 1975. – 96 с.
3. Свидетельство № 38835/3 об утверждении типа средств измерений РФ. Электронный ресурс: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/354282> (дата дос-

тупа 25.08.2022).

4. Глазюк Я.В., Житченко М.Л., Мартазов Е.С. Возможность контроля мощности РУ БН-800 каналом контроля в составе подвесок ПИК 52, ПИК 63 и блока БОСК. // Материалы XXXXVI Всероссийского симпозиума, посвященного памяти референта МСНТ Н.Н. Ершовой. – М.: РАН, 2016. – С. 113-121.

5. Алфёров В.П., Гурьев И.П., Дмитриев А.Б., Яковлев К.И., Кириченко Г.П., Кудрявцев А.В., Федоров В.А. Метрологическое обеспечение широкодиапазонных каналов контроля нейтронного потока для СУЗ. // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2006. – № 8. – С. 35-39.

6. Алексаков Г.Н. и др. Аппаратно-программный комплекс для поддержки метрологических служб АЭС. // ВАНТ. Сер. Физика и техника ядерных реакторов. – 2005. – Вып. 49, часть 2, – С. 42-48.

7. Гангровский Ю.П., Марков Б.Н., Перелыгин В.П. Регистрация и спектрометрия осколков деления. – М.: Атомиздат, 1991. – 312 с.

8. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Т. 1. – М.: Атомиздат, 1974. – 584 с.

9. Насыров Ф., Линева С.В. Прохождение осколков деления U^{235} через H_2 , D_2 , He, N_2 , Ar, Kr, Xe. // Атомная энергия. – 1966. – Т. 20. – Вып. 6. – С. 464-468.

10. Chabod S., Fioni G., Letourneau A., Marie F. Modelling of fission chambers in current mode-Analytical approach. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2006. – Vol. 566. – No. 2. – PP. 633-653. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2006.06.067>. – EDN KIXDVT.

11. Jammes C. et al. Research Activities in Fission Chamber Modeling in Support of the Nuclear Energy Industry. // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2010. – Vol. 57. – No. 6. – PP. 3678-3682. DOI: <https://doi.org/10.1109/TNS.2010.2075939>.

12. Antolinez A., Rapisarda D. Fission Chambers Designer Based on Monte Carlo Techniques Working in Current Mode and Operated in Saturation Regime. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2016. – Vol. 825. – PP. 6-16. ISSN 0168-9002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.03.050>.

13. Воробьев В.А., Обудовский С.Ю., Кащук Ю.А. Методика определения времени сбора заряда и среднего заряда в импульсе ионизационной камеры деления. // Измерительная техника. – 2019. – № 2. – С. 60-64. DOI: <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2019-2-60-64>.

Поступила в редакцию 02.09.2022 г.

Авторы

Глазюк Яков Вадимович, генеральный директор

E-mail: JACKOV@list.ru

Алферов Владимир Петрович, главный специалист, к.т.н.

E-mail: VPAL@mail.ru

Саламаха Борис Семенович, ведущий научный сотрудник

E-mail: SALAMANA@inbox.RU

Веселов Илья Геннадьевич, главный специалист

E-mail: 79104024836@ya.ru

ON THE CONTRIBUTION OF THE ADDITIONAL COMPONENT OF THE IONIZATION CURRENT TO THE FORMATION OF THE OUTPUT PULSE OF THE IONIZATION FISSION CHAMBER

Glazyuk Ya.V., Alferov V.P., Salamaha B.S., Veselov I.G.

Red Star JSC

1A Elektrolitny Proezd, 115230 Moscow, Russia

ABSTRACT

The article presents the results of a study of the pulse characteristics of the the fission chambers KNK15-1, KN 010 and KN 042 with different geometry of the electrode system.

The authors reveal differences in the distributions of the amplitude spectra of pulses from fission fragments for fission ionization chambers of various geometries for different directions of the electric field in the interelectrode space.

It is also shown that, for fission chambers (FC) with a plane-parallel electrode system (KNK 15-1), a change in the direction of the electric field in the interelectrode space does not lead to noticeable differences in the amplitude spectra of pulses from fission fragments, i.e., there is no dependence of the charge generated in the FC pulse on the polarity of the power supply.

Changing the direction of the electric field in the interelectrode space of the FC with the coaxial geometry of the electrode system (KN 010, KN 042) leads to differences in the amplitude spectra of pulses from fission fragments and, as a result, differences in charges in the FC pulse.

An analysis of the dependence of the distribution of the amplitude spectra of the fission chamber pulses on the direction of the electric field in the interelectrode space has made it possible for the first time to demonstrate the presence of an additional charge component in the FC pulse, which can significantly affect the neutron detection efficiency of FCs with a cylindrical electrode system. In quantitative terms, the contribution of the additional component for the studied FCs can reach 20–23%.

Key words: neutron, ionization, fission fragment, fission chamber, charge in a fission chamber pulse, neutron detection.

Glazyuk Ya.V., Alferov V.P., Salamaha B.S., Veselov I.G. On the Contribution of the Additional Component of the Ionization Current to the Formation of the Output Pulse of the Ionization Fission Chamber. *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika*. 2022, no. 4, pp. 102-111; DOI: 10.26583/npe.2022.4.09 (in Russian).

REFERENCES

1. Abramov A.I., Kazansky Yu.A., Matusevich E.S. *Fundamentals of Experimental Methods of Nuclear Physics*. Ed. 3. Moscow. Energoatomizdat Publ., 1985, 488 p. (in Russian).
2. Dmitriev A.B., Malyshev E.K. *Neutron Ionization Chambers for Reactor Technology*. Moscow. Atomizdat Publ., 1975, 96 p. (in Russian).
3. Certificate No. 38835/3 on Approval of the Type of Measuring Instruments of the Russian Federation. Available at: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry/4/items/354282> (accessed Aug. 25, 2022) (in Russian).
4. Glazyuk Ya.V., Zhitchenko M.L., Martazov E.S.. Possibility to Control the Power of the BN-800 Reactor Plant by Neutron Flux Control Equipment as Part of the ICS 52, ICS 63 Detectors and the BOSK Device. *Proc. of the XXXXVI All-Russian Symposium Dedicated to*

the Memory of the MCST Referent N.N. Ershova. Moscow. RAS Publ., 2016, pp. 113-121 (in Russian).

5. Alferov V.P., Guryev I.P., Dmitriev A.B., Yakovlev K.I., Kirichenko G.P., Kudryavtsev A.V., Fedorov V.A. Metrological support of wide-range neutron flux control channels for CPS. *Promyshlennye ASU i Kontrollery*. 2006, no. 8, pp. 35-39 (in Russian).

6. Aleksakov G.N., Alferov V.P., Gruzdev S.N., Kudryavtsev A.V., Te A.G., Fedorov V.A. Hardware-Software Complex for Support of NPP Metrological Services. *VANT. Ser. Fizika i Tekhnika Yadernykh Reaktorov*. 2005, iss. 49, part 2, pp. 42-48 (in Russian).

7. Gangrsky Yu.P., Markov B.N., Perelygin V.P. *Registration and Spectrometry of Fission Fragments*. Moscow. Atomizdat Publ., 1991, 312 p.

8. Mukhin K.N. *Experimental Nuclear Physics. Vol. 1*. Moscow. Atomizdat Publ., 1974, 584 p. (in Russian).

9. Nasyrov F., Linev S.V. Passage of Fission Fragments U-235 through H₂, D₂, He, N₂, Ar, Kr, Xe. *Atomnaya Energiya*. 1966, v. 20, pp. 536-540; DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01114655>.

10. Chabod S., Fioni G., Letourneau A., Marie F. Modelling of Fission Chambers in Current Mode-Analytical Approach. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 2006, v. 566, no. 2, pp. 633-653; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2006.06.067>; EDN KIXDVT.

11. Jammes C., Filliatre P., Geslot B., Oriol L., Berhouet F., Villard J.-F., Vermeeren L. Research Activities in Fission Chamber Modeling in Support of the Nuclear Energy Industry. *IEEE Transactions on Nuclear Science*. 2010, v. 57, no. 6, pp. 3678-3682; DOI: <https://doi.org/10.1109/TNS.2010.2075939>.

12. Antolinez A., Rapisarda D. Fission Chambers Designer Based on Monte Carlo Techniques Working in Current Mode and Operated in Saturation Regime. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 825, 2016, p 6-16; ISSN 0168-9002; DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nima.2016.03.050>.

13. Vorob'ev V.A., Obudovskii S.Yu., Kashchuk Yu.A. The Method for Determining the Charge Collection Time and the Mean Charge in the Pulse of the Ionization Fission Chamber. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2019, no. 2, pp. 60-64; DOI: <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2019-2-60-64> (in Russian).

Authors

Glazyuk Yakov Vadimovich, General Director
E-mail: JACKOV@list.ru

Alferov Vladimir Petrovich, Chief Specialist, Cand. Sci.(Engineering)
E-mail: VPAL@mail.ru

Salamaha Boris Semenovich, Leading Researcher
E-mail: SALAMAHA@inbox.RU

Veselov Ilya Gennadyevich, Chief Specialist
E-mail: 79104024836@ya.ru

On the Contribution of the Additional Component of the Ionization Current to the Formation of the Output Pulse of the Ionization Fission Chamber