

## ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Установки измерения выгорания ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок МКС-03 ВВЭР

### Назначение средства измерений

Установки измерения выгорания ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) МКС-03 ВВЭР (далее - установки) предназначены для измерения выгорания, изотопного состава и остаточного тепловыделения ядерного топлива ОТВС реакторов типа ВВЭР-1000.

### Описание средства измерений

Функционально установки состоят из нескольких каналов регистрации излучений.

Блок установки детекторов вместе с размещенными на нем блоками детектирования гамма-излучения спектрометрическими (БДС), блоками детектирования гамма-излучения дозиметрическими (БДД) и блоками детектирования нейтронного излучения (БДН) образуют блок детекторов (БД). БДН в совокупности с электронным оборудованием блока вторичной аппаратуры (БВА) и блока управления и обработки данных (БУ) образует канал регистрации нейтронного излучения. БДС в совокупности с электронным оборудованием БВА и БУ образует канал регистрации гамма-излучения спектрометрический. БДД в совокупности с электронным оборудованием БВА и БУ образует канал регистрации гамма-излучения дозиметрический.

Каналы регистрации нейтронного излучения предназначены для измерения скорости счета импульсов, пропорциональных плотности потока тепловых нейтронов от ОТВС. На основе измеренных значений скорости счета импульсов определяется программно выгорание в диапазоне 10-70 МВт·сут/кг. Время выдержки ОТВС должно составлять от 2 до 50 лет.

Каналы регистрации гамма-излучения спектрометрические предназначены для измерения энергетических спектров гамма-излучения от градуировочных ОТВС, на основе которых определяется программно выгорание по соотношению активностей радиоизотопов  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в ОТВС в диапазоне 35-70 МВт·сут/кг. Время выдержки ОТВС должно быть от 2 до 6 лет.

Каналы регистрации гамма-излучения дозиметрические предназначены для измерения мощности поглощенной дозы гамма-излучения вблизи ОТВС. На основе измеренной мощности поглощенной дозы гамма-излучения определяется программно выгорание ОТВС в диапазоне 5-10 МВт·сут/кг. Время выдержки ОТВС должно быть при этом от 10 до 50 лет.

Изотопный состав (масса изотопов урана и плутония  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{242}\text{Pu}$  и остаточное тепловыделение ядерного топлива вычисляются программно на основе полученного выгорания).

Информация по выгоранию, изотопному составу и остаточному тепловыделению передается в автоматизированную систему управления технологическими процессами (АСУ ТП) и систему учета и контроля (СУиК).

В каналах регистрации нейтронного излучения используются импульсные камеры деления типа КНК-15-1 (или КНТ-54-1) с компенсацией фона гамма-излучения.

В каналах регистрации гамма-излучения спектрометрических используются CdZnTe-детекторы. Блок детектирования гамма-излучения спектрометрический размещен в свинцовом коллиматоре для уменьшения дозовой нагрузки от гамма-излучения на детектор и предусилитель.

В каналах регистрации гамма-излучения дозиметрических используется алмазный детектор типа ПДПС для измерения мощности поглощенной дозы. Блок детектирования

размещен в свинцовой защите с щелевым коллиматором, обеспечивающим «просмотр» ОТВС.

Комплект монтажных частей (блок установки детекторов) предназначен для размещения блоков детектирования и свинцовых коллиматоров относительно ОТВС. С помощью устройства перегрузочного (УП) ОТВС перемещаются вдоль блоков детектирования непрерывно с заданной скоростью или с остановками в фиксированных точках для проведения измерений. Перемещение ОТВС осуществляется по сигналу с блока управления и обработки данных установки.

В состав электронного модуля входит набор электронных блоков для обеспечения работы блоков детектирования и обработки данных.

Внешний вид блока детекторов приведен на рисунке 1.

Внешний вид модуля электронного приведен на рисунке 2.

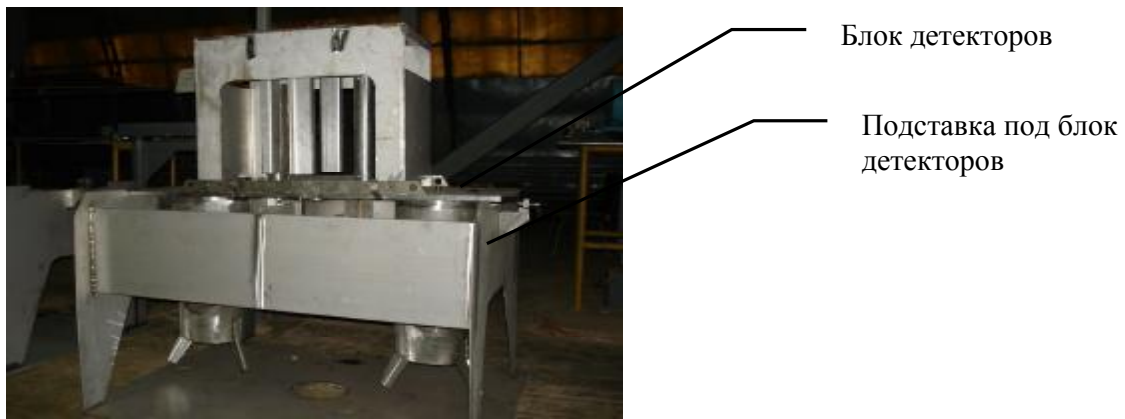


Рисунок 1 - Внешний вид блока детекторов



Рисунок 2 - Внешний вид модуля электронного

### Программное обеспечение

Программное обеспечение (ПО) «FLAME» МКС-03 ВВЭР состоит из следующих функциональных блоков:

- Flame.exe – основного исполняемого модуля;
- AsTract.dll – модуля управления блоками детектирования нейтронного и гамма-излучения, аналого-цифровыми преобразователями АЦП-8к-2м и счетчиками-интенсиметрами СЧМ-32;
- DirectUse.dll – модуля для обеспечения интерфейса с пользователем и связи с модулем AsTract и другими блоками установки;
- done.mdb – базы данных.

ПО «FLAME» обеспечивает:

- градуировку, проверку и поверку каналов регистрации нейтронного и гамма-излучения;
- измерения скорости счета импульсов каналами регистрации нейтронного излучения; мощности дозы и энергетических спектров гамма-излучения;
- вычисление выгорания, изотопного состава и остаточного тепловыделения ядерного топлива ОТВС.

Идентификационные данные ПО приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наименование ПО	Идентификационное наименование ПО	Номер версии (идентификационный номер) ПО	Цифровой идентификатор ПО (контрольная сумма исполняемого кода)	Алгоритм вычисления цифрового идентификатора ПО
ПО «FLAME»	flame.exe	3.1.0.0	EED7606892BBB2069837901C783DFBFECACB60	SHA-1
ПО «FLAME»	AsTract.dll	3.1.0.0	563ED996A0FD22B33A5D10CAB36142A897C00E96	SHA-1
ПО «FLAME»	DirectUse.dll	3.1.0.0	63FC3CFF6475518A3AEDDDADD8F745F0840F2C03	SHA-1
ПО «FLAME»	done.mdb	3.1.0.0	0AAA55C092CCE4F083695506937C0CD497A2FB53	SHA-1

Защита ПО от непреднамеренных и преднамеренных изменений соответствует уровню «А» по МИ 3286-2010.

### Метрологические и технические характеристики

Метрологические и технические характеристики установок приведены в таблице 2.

Таблица 2

Наименование параметра	Значение параметра
<i>Канал регистрации нейтронного излучения</i>	
Диапазон измерения выгорания, МВт·сут/кг	от 10 до 70
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения выгорания при доверительной вероятности 0,95, %	±10

Наименование параметра	Значение параметра
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения суммарной массы изотопов урана и плутония при доверительной вероятности 0,95, %	±15
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения остаточного тепловыделения при доверительной вероятности 0,95, %	±10
Время измерения выгорания, массы изотопов урана и плутония и остаточного тепловыделения одной ОТВС, мин, не более	10
Диапазон чувствительности к нейтронам источника типа ИБН, размещенного на поверхности блока детектирования нейтронного излучения, имп./нейтр.	$(0,5-2,0) \cdot 10^{-4}$
Пределы допускаемой относительной погрешности чувствительности к нейтронам источника типа ИБН, %	±10
Мощность поглощенной дозы сопутствующего гамма-излучения, Гр/ч, не более	$10^3$
Габаритные размеры блока детектирования (длина x диаметр), мм, не более	288 x 166
Рабочий диапазон температуры, °С	от 5 до 45
<i>Канал регистрации гамма-излучения спектрометрический</i>	
Диапазон измерения выгорания, МВт·сут/кг	от 35 до 70
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения выгорания при доверительной вероятности 0,95, %	±10
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения суммарной массы изотопов урана и плутония при доверительной вероятности 0,95, %	±15
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения остаточного тепловыделения при доверительной вероятности 0,95, %	±10
Время измерения выгорания, массы изотопов урана и плутония и остаточного тепловыделения одной ОТВС, мин, не более	240
Энергетический диапазон регистрируемого гамма-излучения, МэВ	от 0,05 до 1,0
Абсолютное энергетическое разрешение, кэВ, не более	
- при энергии гамма-излучения E=60 кэВ и температуре воздуха 25 °С	10
- при энергии гамма-излучения E=122 кэВ и температуре воздуха 25 °С	12
- при энергии гамма-излучения E=662 кэВ и температуре воздуха 25 °С	15
Пределы нестабильности чувствительности и энергетического разрешения в течение времени непрерывной работы, %	±5

Наименование параметра	Значение параметра
Чувствительность к гамма-квантам источника $^{137}\text{Cs}$ типа ОСГИ, размещенного на поверхности блока детектирования спектрометрического, имп./Бк – интегральная, не более – по пику полного поглощения, не менее	$2 \cdot 10^{-4}$ $2 \cdot 10^{-7}$
Пределы допускаемой относительной погрешности чувствительности к гамма-излучению, %	$\pm 20$
Габаритные размеры блока детектирования (длина x диаметр), мм, не более	245 x 15
Рабочий диапазон температуры, °С	от 5 до 45
<i>Канал регистрации гамма-излучения дозиметрический</i>	
Диапазон измерения выгорания, МВт·сут/кг	от 5 до 10
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения выгорания, %	$\pm 10$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения суммарной массы изотопов урана и плутония при доверительной вероятности 0,95, %	$\pm 15$
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения остаточного тепловыделения при доверительной вероятности 0,95, %	$\pm 10$
Время измерений выгорания, массы изотопов урана и плутония и остаточного тепловыделения одной ОТВС, мин, не более	10
Диапазон энергий регистрируемого гамма-излучения, МэВ	от 0,08 до 3
Диапазон измерений мощности поглощенной дозы гамма-излучения, Гр/с	от $2 \cdot 10^{-4}$ до 0,2
Пределы допускаемой относительной погрешности измерений мощности поглощенной дозы гамма-излучения при доверительной вероятности 0,95, %	$\pm 5$
Пределы нестабильности показаний в течение времени непрерывной работы, %	$\pm 1$
Величина темнового тока, А, не более	$5 \cdot 10^{-12}$
Анизотропия чувствительности, %, не более	2
Габаритные размеры блока детектирования (длина x диаметр), мм, не более	245 x 15
Рабочий диапазон температуры, °С	от 5 до 45
<i>Общие характеристики</i>	
Время установления рабочего режима, мин, не более	30
Напряжение питания от сети переменного тока, В	от 198 до 242
Частота, Гц	от 47 до 53
Потребляемая мощность, В·А, не более	1000

Наименование параметра	Значение параметра
Габаритные размеры блока детекторов (длина x диаметр), мм, не более	500 x 1000
Габаритные размеры электронного модуля (длина x ширина x высота), мм, не более	560 x 600 x 2030
Масса, кг, не более	
- механической части	150
- электронного модуля	120
Средняя наработка на отказ, ч, не менее	5000
Рабочие условия эксплуатации:	
- рабочая среда	воздух
- температура окружающего воздуха, °С	от 18 до 40
- относительная влажность воздуха, %	до 80
- режим работы	периодический

### Знак утверждения типа

Знак утверждения типа наносится на титульный лист руководства по эксплуатации НПОК.011.00.00.000РЭ типографским способом.

### Комплектность средства измерений

Комплект поставки приведен в таблице 3.

Таблица 3

Наименование	Количество
Установка в составе:	
- блока детектирования нейтронного излучения	3 шт.
- блока детектирования гамма-излучения:	
спектрометрического	3 шт.
дозиметрического	3 шт.
- модуля электронного в составе:	1 компл.
блока вторичной аппаратуры	1 компл.
блока управления и обработки данных	1 компл.
- комплекта монтажных частей (механическая часть) в составе:	1 компл.
блока установки детекторов	1 шт.
- вспомогательных устройств ВУ-1, ВУ-2 и ВУ-3 для проверки и поверки каналов регистрации нейтронного и гамма-излучения	1 компл.
Паспорт. НПОК.021.00.00.000 ПС	1 шт.
Методика поверки. 651-13-54 МП	1 шт.
Руководство по эксплуатации. НПОК.021.00.00.000 РЭ	1 шт.
Свидетельство о поверке	1 шт.

### Поверка

осуществляется по документу 651-13-54 МП «Установка измерения выгорания ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок МКС-03 ВВЭР. Методика поверки», утверждённому руководителем ГЦИ СИ ФГУП «ВНИИФТРИ» 23 сентября 2013 года.

Основные средства поверки:

- источник быстрых нейтронов типа ИБН с потоком нейтронов не менее  $5 \cdot 10^5$  нейтр./с, пределы допускаемой относительной погрешности потока нейтронов  $\pm 5$  % при доверительной вероятности 0,95 (аттестованный в установленном порядке);

- источник гамма-излучения  $^{241}\text{Am}$  типа ОСГИ с активностью не менее  $5 \cdot 10^4$  Бк, пределы допускаемой относительной погрешности активности  $\pm 3\%$  при доверительной вероятности 0,95 (аттестованный в установленном порядке);
- рабочий эталон поглощенной дозы гамма-излучения в воде (цезий - 137 или кобальт - 60), пределы допускаемой относительной погрешности  $\pm 1,5\%$  при доверительной вероятности 0,99;
- эталонный дозиметр гамма-излучения, пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы в воде  $\pm 2,5\%$  при доверительной вероятности 0,95.

#### **Сведения о методиках (методах) измерений**

«Установка измерения выгорания ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок МКС-03 ВВЭР. Руководство по эксплуатации. НПОК.021.00.00.000 РЭ».

«Методика измерений выгорания, изотопного состава и остаточного тепловыделения ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок реакторов ВВЭР с помощью установки МКС-03 ВВЭР. МВ-11.2013».

#### **Нормативные и технические документы, устанавливающие требования к установкам измерения выгорания ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок МКС-03 ВВЭР**

ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.

ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия.

НП 061-05. Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах использования атомной энергии.

НП 001-97. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88/97).

РД 50-691-89. Поглощенные дозы фотонного (1-50 МэВ) и электронного (5-50 МэВ) излучений в лучевой терапии. Методы определения.

НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности.

ОСПОРБ-99/2010. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности.

ПТЭ. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

ПТБ. Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей.

Установка измерения выгорания ядерного топлива отработавших тепловыделяющих сборок МКС-03 ВВЭР. Технические условия. НПОК.021.00.00.000ТУ.

#### **Рекомендации по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений**

Осуществление деятельности в области использования атомной энергии.

#### **Изготовитель**

Закрытое акционерное общество Научно-производственное объединение «КВАНТ» (ЗАО НПО «КВАНТ»)

Адрес: 249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, д. 6, оф. 225

Тел. (48439) 62771

E-mail: [nppkvant@mail.ru](mailto:nppkvant@mail.ru)

**Испытательный центр**

Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений»

141570, Московская обл., Солнечногорский р-н, г.п. Менделеево, ФГУП «ВНИИФТРИ», главный лабораторный корпус.

Аттестат аккредитации ФГУП «ВНИИФТРИ» по проведению испытаний средств измерений в целях утверждения типа № 30002-13 от 07.10.2013 г.

Заместитель Руководителя  
Федерального агентства  
по техническому  
регулированию и метрологии

Ф.В. Бульгин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2013 г.

М.п.