

МЕЖЛАБОРАТОРНОЕ СЛИЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА НА АЭС*Алексеев Александр Григорьевич**старший научный сотрудник,**«НИЦ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино**Пикалов Владимир Александрович**Ведущий инженер**«НИЦ Курчатовский институт»-ИФВЭ, г.Протвино**Алексеев Павел Александрович**старший научный сотрудник, ктн**АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г.Обнинск***INTECCOMPARISON OF PERSONAL DOSIMETRY SYSTEMS FOR CHRONIC EXPOSURE OF PERSONNEL AT RUSSIA NPP***Alexeev A.G.**Pikalov V.A.**NRC «Kurchatov Institute» – IHER**Alexeev P.A.**JSC "SSC RF – IPPE"**DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.94.1618***АННОТАЦИЯ**

В 2021г. проведено очередное сличение средств индивидуального дозиметрического контроля хронического облучения персонала на АЭС. Работа выполнена совместно ООО «АПИ», МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, МГУ. Участие в межлабораторном сличительном испытании является безусловным обязательным критерием при её аккредитации в национальной системе аккредитации. В сличении участвовали 11 АЭС АО «Концерн Росэнергоатом». Обсуждается программа проведения сличения. Был выполнен статистический анализ результатов. По результатам сличения каждому участнику было выдано свидетельство.

ABSTRACT

Within the framework of 2021, a comparison of the means of personal dosimeter control of chronic exposure of personnel at the NPP was carried out. The work was carried out jointly by ООО "API", MRRC im. A.F. Tsyba is a branch of the Federal State Budgetary Institution "National Medical Research Center of Radiology" of the Ministry of Health of Russia, Moscow Participation in an interlaboratory comparison test is an absolute mandatory criterion for its accreditation in the national accreditation system. 11 nuclear power plants of Rosenergoatom Concern JSC participated in the comparison. The comparison program is being discussed. A statistical analysis of the results was performed. According to the results of the comparison, each participant was issued a certificate.

Ключевые слова: фотоны, межлабораторное сличительное испытание, индивидуальный дозиметр, АЭС

Keywords: gamma radiation, intercomparison, personal dosimeter, NPP

ВВЕДЕНИЕ

В 2021г. было проведено очередное (4-е) межлабораторное сличительное испытание (МСИ) по измерению индивидуального эквивалента дозы Нр(10) фотонного излучения (объект контроля - персонал) среди отделов радиационной безопасности (ОРБ) атомных станций (АС) АО Концерн «Росэнергоатом». В соответствии с [1] участие испытательной лаборатории в МСИ является безусловным обязательным критерием при её аккредитации.

На момент 01 мая 2021 года реестр аккредитованных лиц содержит 19 записей о провайдерах межлабораторных сличительных испытаний [2]. Программы проверки квалификации в области радиационного контроля проводят две организации. На 21 января 2022г. в реестре Федеральной службы аккредитации [3] предлагают 2 программы МСИ (Программы проверки квалификации лабораторий) по радиологическому показателю: суммарная альфа- и

бета- активность и удельная активность цезия – 137 и стронция – 90. Для объекта «персонал, измерение Нр(10) фотонного излучения» в настоящее время в национальной системе аккредитации (НСА) нет провайдера с программой МСИ для данного объекта. Тем не менее, несколько не аккредитованных в НСА организаций (как организаторы МСИ) предлагают свои программы МСИ по данному объекту и проводят МСИ (например [2]).

Учитывая предыдущий опыт АО Концерн «Росэнергоатом» (Заказчик) ставит перед организатором сличения новые условия по техническому исполнению программы МСИ.

В данной работе рассмотрены методические особенности программы МСИ, способ реализации программы, результаты МСИ.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ

Первые два МСИ (1998 и 2001гг.) были проведены до того, как была организована НСА [4, 5]. Начиная с 3-го МСИ [6] (2016г.) Заказчик

дополнительно предъявляет условия обязательной калибровки или облучения с использованием Государственного первичного эталона единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучений ГЭТ 38-2011. Для настоящего МСИ добавлены условия, что погрешность передачи единицы Нр(10) не превышает 5%, при этом облучение должно проводиться в условиях значительного (заметного) вклада рассеянного фотонного излучения. Таким образом, программа МСИ должна была включать не стандартную процедуру передачи единицы Нр(10), так как геометрия и конструкция рабочих эталонов единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного излучения сделана таким образом, что бы вклад рассеянного излучения был минимальный. Надо отметить, что

требование проводить МСИ с использованием установки, где большой вклад рассеянного излучения- оправдан. Так, например, на рис.1 приведен измеренный спектр гамма квантов (аппаратурный спектр гамма-спектрометра) в реакторном зале Смоленской АЭС (2й энергоблок). Измерения выполнены авторами в ноябре 2021г. Видно, что основной вклад в спектр дают гамма кванты с энергией ниже 0,3 МэВ, т.е. рассеянное излучение. Вклад гамма-линий 60-кобальта и 137-цезия – незначителен.

Кроме того, переход от единицы поглощенной дозы к Нр(10) выполняется расчетным способом с использованием коэффициентов, величина которых зависит от энергии гамма-квантов, а неопределенность величины неизвестна.

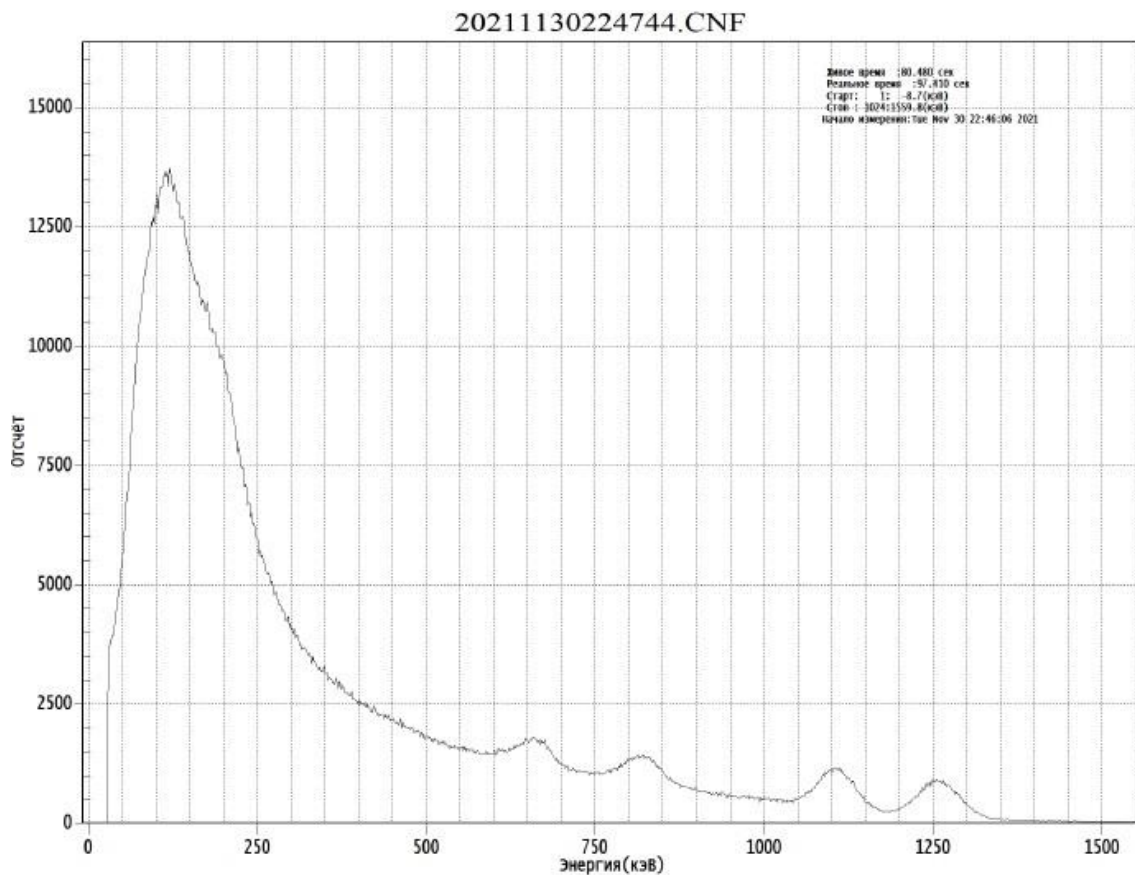


Рисунок 1- Спектр гамма квантов в центральном реакторном зале 2-го энергоблока Смоленской АЭС,

Ниже представлена схема выполнения программы МСИ, реализованная в настоящей работе.

Используемые средства измерения

При проведении МСИ использовались средства измерения (СИ), представленные в таблице 1.

Таблица 1

Используемые СИ		
№	Наименование	Область использования
1	Государственный первичный эталон единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучения ГЭТ 38-2011. (ВНИИФТРИ) Погрешность передачи единицы 3%.	Для калибровки и поверки
2	Облучательная установка. Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба.	Для облучения.
3	ТЛД (ДТГ-4 в кассете ДТУ); HARSHAU-3500 (принадлежит МГУ) .	В качестве компаратора
4	PTW Unidos Webline T10021 (Рег. № 37971-08) Зв№ 000674, поверен №4/410-2893-20 (до 19 ноября 2022г.) предел относительной погрешность 2% при (P=0,95, охвате 2).	В качестве компаратора

Использование компараторов

В работе использовались два компаратора:

– ТЛД (ДТГ-4 в кассете ДТУ); **считывание показаний осуществлялось с помощью HARSHAU-3500 (МГУ, г.Москва);**

– **ионизационная камера ТМ30013 в составе дозиметра универсального PTW Unidos Webline T10021, Рег. № 37971-08. (МРНЦ им. А.Ф. Цыба (г.Обнинск).**

Ионизационная камера поверена на государственном первичном эталоне единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучения ГЭТ 38-2011, предел относительной погрешность 2% при (P=0,95, охвате 2).

Проверка (калибровка) компаратора ТЛД осуществлялась на государственном первичном эталоне единиц поглощенной дозы и мощности поглощенной дозы фотонного и электронного излучения ГЭТ 38-2011. Облучение выполнялось на водном фантоме. Двумя дозами: 5,1 и 25,12 мЗв, предел относительной погрешность 3% при

(P=0,95, охвате 2). Облучалось по 10 дозиметров ДТУ каждой дозой. Стандартная неопределенность, по типу А составила 0,02%. Стандартная неопределенность, по типу В составила 1,5%. Таким образом, предел относительной неопределенности передачи единицы дозы 3% при (P=0,95, охвате 2).

Параметры поля облучения

Область облучения составляла 40x40 см. Однородность поля облучения не хуже 3%. Однородность измерялась водяным фантомом с системой перемещения и ионизационной камерой той же, что использовали в качестве дозиметра свидетеля. Использовался фантом водный МРЗ-Р в комплекте Unidos Webline T10021. Экспозиция по времени задавалась исходя из измеренной мощности дозы и заданной величины $H_p(10)$. При облучении ТЛД (компаратора) так же выполнялось измерение дозы за экспозицию по дозиметру Unidos. На рисунке 2 приведена зависимость измеренной дозы по ТЛД (компаратор) и измеренной дозы по дозиметру Unidos.

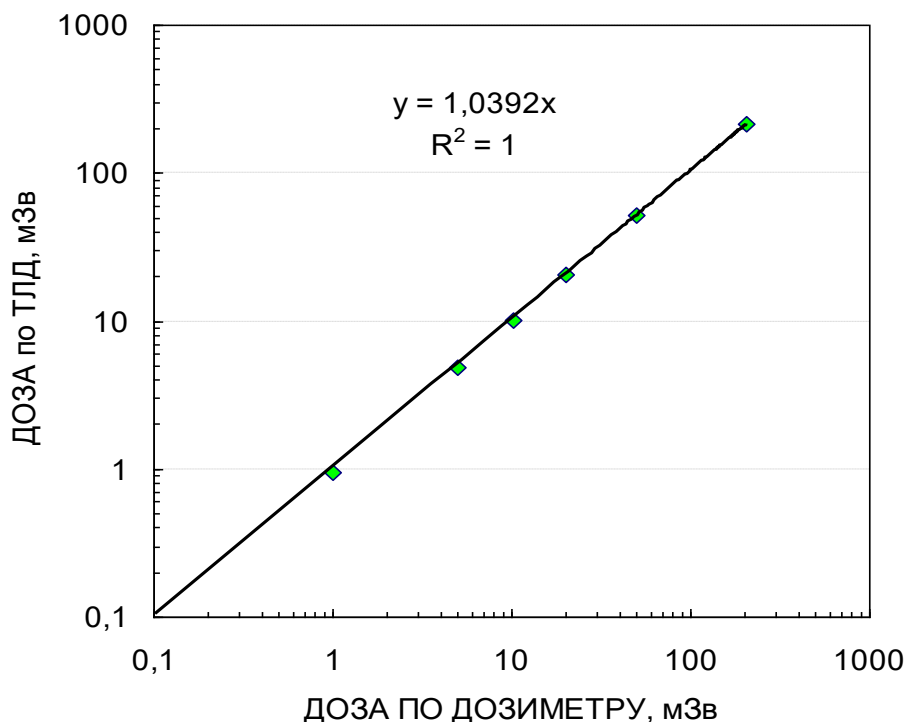


Рисунок 2 - Зависимость измеренной дозы по ТЛД (компаратор) и измеренной дозы по дозиметру Unidos

Разброс показаний между компараторами составил не более 2%, при систематическом отклонении порядка 4%. Для оценки дозы была взята средняя величина между показаниями ТЛД и дозиметра Unidos.

Для всего диапазона доз устанавливалось приписанное значение референтной лаборатории $H_{p(10)} = 1,044 \cdot H_{p,заданная(10)}$. Т.е, при заданной $H_{p,заданная(10)}$ экспозиции 1мЗв, приписанная

величина составила 1,044 мЗв. при расширенной неопределенности 4%.

Выполнялось одновременно облучение дозиметров всех участников сличения (см. рисунок 3), что обеспечивало однородность приписанных значений для всех участников тест-сличения. Каждое облучение сопровождалось измерением дозы с помощью компараторов.



Рисунок 3 - Облучение дозиметров

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В МСИ участвовало 11 филиалов Концерна «Росэнергоатом». В таблице 2 приведены

участники и используемые ими СИ. В таблице 3 приведены методики измерения МИ, используемые участниками.

Таблица 2

Участники МСИ

№ п/п	Участник	Дозиметр ИДК	Система ТЛД
1	Калининская АЭС	ТЛД «RADOS», с детекторами ДТГ-4	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS». Считыватель RE-2000
2	Балаковская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814 включающих двухэлементные карты модели 0110 с детекторами ТЛД-100	Системы термолюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
3	Новоронежская АЭС	RADOS с детекторами ДТГ-4	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS». Считыватель RE-2000
		Комплект ДПГ-03 с термолюминесцентными детекторами ТЛД-500К.	Комплект дозиметров термолюминесцентных КТД-02М
4	Курская АЭС	Дозиметры-ДТА-01 Детекторы-(ДТГ-4)	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS». Считыватель RE-2000
5	Ростовская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814 включающих двухэлементные карты модели 0110 с детекторами ТЛД-100	Системы термолюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
6	Билибинская АЭС	Комплект ДПГ-03 с термолюминесцентными детекторами ТЛД-500К.	Комплект дозиметров термолюминесцентных КТД-02М
7	Ленинградская АЭС	Дозиметр 8014 (карта 0110) Н	Системы термолюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
8	Ленинградская АЭС-2	Дозиметр 8014 (карта 0110) Harshaw	Системы термолюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
9	Смоленская АЭС	Термолюминесцентные дозиметры RADOS с детекторами ДТГ-4 (ДТГ-4-1)	Комплекс индивидуального дозиметрического контроля «RADOS» Считыватель RE-2000
10	Белоярская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814 включающих двухэлементные карты модели 0110 с детекторами ТЛД-100	Системы термолюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus
11	Кольская АЭС	ТЛ дозиметры серии 8814	Системы термолюминесцентные дозиметрические автоматизированные Harshaw моделей 6600, 6600 Lite, 6600Plus

Таблица 3

Методики, используемые на предприятии для измерения индивидуального эквивалента дозы гамма излучения

№	Наименование методики	Сведения о разработчике	Примечание
1	МВИ 12.9.7(18)-17. Методика выполнения измерений индивидуальных доз внешнего облучения персонала Билибинской АЭС.	Научно-исследовательское отделение метрологии ионизирующих излучений (НИО-4) ФГУП «ВНИИФТРИ»	Билибинская АЭС
2	Измерение индивидуальных доз внешнего облучения персонала атомных станций. Методика. МТ 1.1.4.02.002.1356-2017	АО «Концерн Росэнергоатом» совместно с ООО «ЛАД»	Нововоронежская АЭС, Смоленская АЭС Ростовская АЭС
3	МВИ 12.10.7-19 «Методика измерений индивидуального эквивалента дозы в полях гамма, нейтронного и бета -излучения с использованием комплекса индивидуального дозиметрического контроля RADOS»	Общество с ограниченной ответственностью «Юридическое Бюро «ТЕРРА» (ООО ЮБ «ТЕРРА»)	Калининская АЭС
4	МВИ 12.17-11 «Методика выполнения измерений индивидуального эквивалента дозы в полях гамма, нейтронного и бета-излучения с использованием комплекса индивидуального дозиметрического контроля RADOS»	ООО НПП «Радико»	Курская АЭС
5	Методика выполнения измерений индивидуальных эквивалентов доз в полях гамма-, бета-, нейтронного излучения с применением термомлюминесцентной дозиметрической автоматизированной системы HARSHAW моделей 6600 (6600 Lite, 6600 Plus)	ООО «НПО «СПЕКТР»	Балаковская АЭС Белоярская АЭС Ленинградская АЭС Ленинградская АЭС-2 Кольская АЭС

Результаты

Программа МСИ включала облучение 6 дозиметров каждого участника в 11 экспозициях дозами от 0,1 до 200 мЗв. Надо отметить, что при анализе результатов при малых дозах (менее 1 мЗв) участники МСИ были не в равных условиях. Так

для Билибинской АЭС, за счет длительных воздушных перелетов и вклада космической радиации, фоновые значения составили 0,55 мЗв. На рисунке 4 приведены результаты показаний фоновых дозиметров и показаний по первой экспозиции.

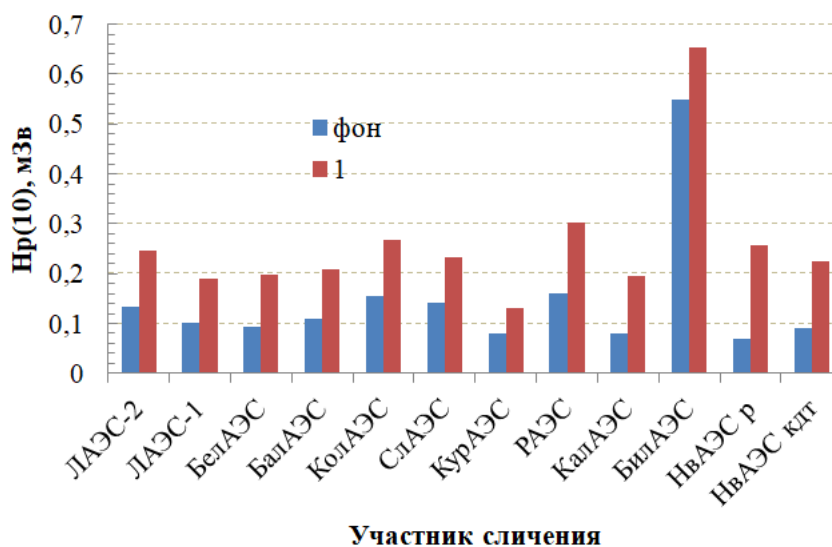


Рисунок 4- Результаты показаний фоновых дозиметров и показаний по первой экспозиции.

Статистический анализ результатов выполнялся в соответствии с [7, 8].

Рассчитывалась процентная разность: $D\% = \frac{(x-X)}{X} \cdot 100$. Где X - приписанное значение дозы, x – результат измерения участника. Данная величина $D\%$ использовалась в предыдущих МСИ [4, 5, 6] для анализа результатов, что с нашей точки зрения не достаточно, так как в представлении результата измерений в соответствии с методиками измерений (табл.3) участников МСИ , кроме величины x присутствует величина расширенной неопределенности U_{lab} . Учитывая это, для оценивания характеристик функционирования лаборатории была выбрана величина E_n . Использование величины E_n допустимо, так как величины x и X в МСИ определялись независимым способом.

Значение E_n вычисляют по следующей формуле [7]:

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

Где X — приписанное значение, определенное в экспертной лаборатории;

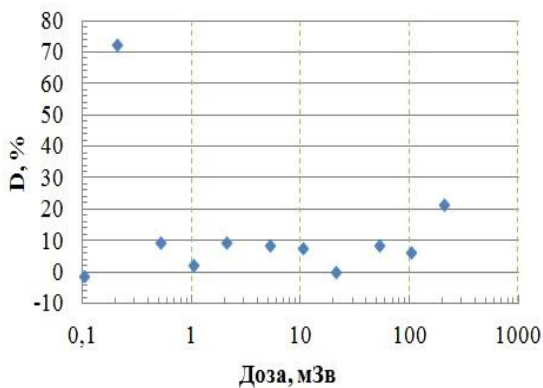


Рисунок 5а- значения D , в зависимости от дозы

На рисунке 6 приведены значения E_n для двух участников МСИ. У одного участника значения систематически выше 0,5, у другого систематически ниже 0,1. Хотя у обоих участников величина E_n ниже допустимой, можно говорить о

U_{ref} — расширенная неопределенность X ;
 U_{lab} — расширенная неопределенность результата участника x , с учетом вычета фоновых значений.

В соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17043-2013 для чисел E_n :

$-|E_n| < 1,0$ указывает на удовлетворительную характеристику функционирования лаборатории и не требует выполнения корректирующих действий в ее работе;

$-|E_n| > 1,0$ указывает на неудовлетворительную характеристику функционирования и требует выполнения корректирующих действий в ее работе.

На рисунках 5а и 5б приведены значения D и E_n для одного из участников МСИ. Хотя для одной из экспозиций величина D составила 70%, за счет того, что разница между показаниями x и фоном была меньше их значений – величина E_n составила 0,2, т.е. меньше допустимой величины. Коррекция U_{lab} подразумевает, что величина рассчитана для разности показаний (вычитание фона).

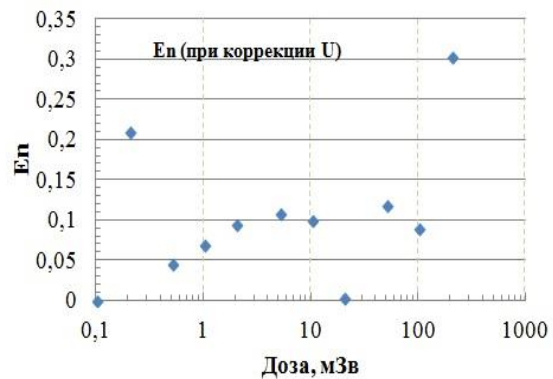


Рисунок 5б- значения E_n , в зависимости от дозы

том, что в одном случае в методике измерения есть недооценка величины неопределенности, в другом, возможно, величина неопределенности измерения переоценена.