

Руководства по безопасности

в области использования атомной энергии

ПОЛОЖЕНИЕ О РЕКОМЕНДАЦИЯХ ПО СОПОСТАВЛЕНИЮ РАССЧИТАННОЙ И ИЗМЕРЕННОЙ РЕАКТИВНОСТИ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ВВЭР

РБ-074-12

НТЦ ЯРБ

gost.e-ecolog.ru

Федеральная служба
по экологическому, технологическому
и атомному надзору

УТВЕРЖДЕНО
приказом
Федеральной службы
по экологическому,
технологическому
и атомному надзору
от 24 апреля 2012 г.
№ 264

ПОЛОЖЕНИЕ О РЕКОМЕНДАЦИЯХ ПО СОПОСТАВЛЕНИЮ РАССЧИТАННОЙ И ИЗМЕРЕННОЙ РЕАКТИВНОСТИ ПРИ ОБОСНОВАНИИ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК С ВВЭР

(РБ-074-12)

Введено в действие
с 24 апреля 2012 г.

Москва 2012

Положение о рекомендациях по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР (РБ-074-12)

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору

Москва, 2012

Положение о рекомендациях по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР носит рекомендательный характер и не является нормативным правовым актом.

Настоящее Положение содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР, а также рекомендации по верификации программных средств, используемых для обоснования безопасности, и их экспертизе в рамках действующей в системе Ростехнадзора процедуры аттестации программных средств.

Выпускается впервые[1].

---

[1] Разработано коллективом авторов в составе: А.И. Попыкин, С.А. Шевченко, Р.А. Шевченко, И.Р. Уголева.

I. Общие положения

1. Положение о рекомендациях по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР (далее – Положение) входит в число руководств по безопасности, носит рекомендательный характер и не является нормативным правовым актом.

2. Настоящее Положение содержит рекомендации Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР.

3. Настоящее Положение содержит рекомендации по:

- сравнению измеренных и рассчитанных значений реактивности и величин, с помощью нее определяемых, прежде всего эффективности аварийной защиты;
- необходимым расчетным возможностям и применению программных средств (далее – ПС) для расчетного моделирования реактивности;
- верификации и экспертизе (аттестации) ПС для расчетного моделирования измерений реактивности;
- определению погрешности расчета эффективности аварийной защиты на основании сопоставления измеренной и рассчитанной реактивностей;
- получению других параметров, важных для безопасности, которые определяются на основании измеренной реактивности, и сопоставлению этих параметров с рассчитываемыми значениями.

4. С понятием «реактивность» связаны величины, которые являются проектными и эксплуатационными пределами, например эффективность органов регулирования и аварийной защиты, скорость введения реактивности, эффекты и коэффициенты реактивности. Их значения обосновываются в проекте реакторной установки (далее – РУ), а некоторые из

них подтверждаются в процессе эксплуатации на действующих РУ путем измерений.

5. В настоящем Положении представлены рекомендации, которые применимы для:

- сопоставления измеренной реактивности с величинами, полученными с помощью ПС стационарного расчета и расчетного моделирования измерений по нестационарным моделям для режимов работы реактора, при которых мощность меняется на несколько порядков за короткий промежуток времени (например, при измерении эффективности аварийной защиты, а также при измерениях в подкритическом состоянии и измерениях, в процессе которых учитывается работа систем и оборудования РУ);
- сопоставления измеренных эффектов и коэффициентов реактивности с получаемыми по стационарным ПС и ПС, применяемым для расчетного моделирования измерения, с использованием различных моделей систем и оборудования РУ, влияющих на значение реактивности;
- аттестации ПС.

6. Используемые в настоящем Положении термины и определения, в том числе и понятие «реактивность», которое не определено в действующих федеральных нормах и правилах в области использования атомной энергии, приведены в приложении и рекомендуются для употребления при сопоставлении рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности РУ с ВВЭР.

7. В настоящем Положении под распределенным источником нейтронов при измерениях в подкритическом состоянии понимается источник нейтронов, не включающий мгновенные и запаздывающие нейтроны деления.

II. Рекомендации по расчету реактивности, расчетному моделированию измерения реактивности реакторов ВВЭР и рекомендации к соответствующим программным средствам

8. Расчет реактивности рекомендуется проводить по аттестованным ПС-имитаторам работы активной зоны реактора. В приложении к аттестационному паспорту ПС в подпункте «Погрешность, обеспечиваемая в области допустимых значений параметров», приведенном в приложении № 2 к Инструкции об организации проведения экспертизы программных средств, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии, утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 августа 2008 г. № 634 (далее – аттестационный паспорт ПС), рекомендуется указывать погрешность расчета эффективного коэффициента размножения нейтронов и соответствующего ему распределения мощности в активной зоне реактора.

9. При расчетном моделировании измерения реактивности рекомендуется:

- использовать ПС нестационарного распределенного совместного нейтронно-физического и теплогидравлического (далее – НФ и ТГ) расчета РУ; при этом в расчетное моделирование РУ рекомендуется включать моделирование систем и оборудования, работа которых оказывает влияние на измерение реактивности;
- использовать ПС, которые содержат в себе версию (часть), предназначенную для стационарного расчета РУ; при этом рекомендуется проводить расчет таким образом, чтобы погрешность основных параметров стационарного состояния РУ, рассчитанных по ПС моделирования измерений реактивности, была не

выше погрешности соответствующих параметров, рассчитанных по ПС-имитаторам работы активной зоны РУ, используемых для сопровождения эксплуатации РУ;

- включать в ПС расчетную модель реактиметра;
- реализовать возможность расчета потока нейтронов в месте расположения датчика сигнала, обрабатываемого реактиметром;
- реализовать возможность расчета источника нейтронов и расчета распределения потока нейтронов от источника, не связанного с мгновенными и запаздывающими нейтронами деления;
- проводить расчетное моделирование измерений реактивности по аттестованным ПС; при этом в приложении к аттестационному паспорту таких ПС рекомендуется указывать погрешности величин, расчет которых предусматривается в пункте 17 настоящего Положения.

III. Представление и сопоставление рассчитанной и измеренной реактивностей

10. При представлении результатов расчета реактивности рекомендуется:

- указывать данные об аттестации ПС (по которому проводится расчет реактивности) и сведения о методике расчета в минимально необходимом объеме для сопоставления, не меньшем, чем в пункте 3 «Сведения о методиках расчета, реализованных в ПС» и пункте 4 «Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых в ПС» приложения к аттестационному паспорту ПС;
- приводить следующие сведения о каждом конкретном расчете реактивности:

картограмму загрузки активной зоны с подробной характеристикой входящих в загрузку кассет;
сведения о начальном (невозмущенном) состоянии активной зоны;
сведения о вводимом возмущении;
сведения о конечном состоянии активной зоны;
величину рассчитанной реактивности.

11. При представлении результатов измерения реактивности рекомендуется:

- приводить результаты измерений по методикам, утвержденным эксплуатирующей организацией;
- приводить сведения о константах запаздывающих нейтронов, используемых в реактиметре или ПС, его заменяющем, а также источник их получения – библиотеку нейтронных данных, индекс ее версии, учитываемые изотопы, количество групп запаздывающих нейтронов;
- вместе со значениями измеренной реактиметром реактивности приводить токи ионизационной камеры и другие параметры, измеренные в течение переходного процесса индивидуально для каждого из используемых детекторов;
- при проведении статистической и/или любой другой первичной обработки сигнала ионизационной камеры или реактиметра приводить сведения о применяемой методике обработки.

12. При представлении результатов расчетного моделирования измерения реактивности рекомендуется:

- указывать данные об аттестации ПС (по которому проводится расчетное моделирование измерения реактивности) и сведения о методике расчета в минимально необходимом объеме для сопоставления, не меньшем, чем в пункте 3 «Сведения о методиках расчета, реализованных в ПС» и пункте 4 «Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых

в ПС» приложения к аттестационному паспорту ПС, при этом в подпункте 2.1 этого приложения «Назначение ПС» рекомендуется указывать, что ПС предназначено для расчетного моделирования измерения реактивности;

- указывать необходимые характеристики стационарного состояния РУ перед моделированием измерения реактивности;
- в ПС расчетного моделирования измерения реактивности использовать ту же библиотеку малогрупповых диффузионных констант (сеточных коэффициентов), которая используется в ПС стационарного расчета реактивности;
- приводить перечень систем РУ, включая систему управления и защиты (далее – СУЗ), систему внутриреакторного контроля и комплекс аппаратуры контроля нейтронного потока, работа которых учитывается при расчетном моделировании измерений реактивности, и приводить сведения об адекватности и погрешностях моделирования;
- приводить результаты и погрешность расчета источника нейтронов, если он учитывается;
- приводить сценарий измерения реактивности;
- приводить описание и значение параметров, используемых в расчетной модели реактиметра;
- приводить описание методики и исходных данных (в том числе сведения о библиотеке ядерных данных), которые использовались для вычисления параметров запаздывающих нейтронов в нестационарных уравнениях, описывающих диффузию нейтронов в активной зоне;
- приводить сведения об адаптации модели реактиметра в конкретном расчете, например сведения об использовании взаимной нормировки эксперименталь-

ных показаний реактиметра и результатов, полученных при его расчетном моделировании;

- приводить следующие результаты расчетного моделирования измерения реактивности:
  изменения параметров РУ в процессе расчетного моделирования;
  полученное с использованием расчетной модели реактиметра значение реактивности;
  реактивность, полученную в результате стационарного расчета;
  расчетное изменение тока ионизационных камер в процессе моделирования измерения реактивности.

13. При сопоставлении рассчитанной, измеренной и полученной в результате расчетного моделирования измерения реактивности рекомендуется:

- указывать константы запаздывающих нейтронов, используемых в реактиметре и ПС, моделирующем реактиметр;
- при сопоставлении рассчитанной, измеренной и полученной в результате расчетного моделирования реактивности в документах, обосновывающих безопасность РУ, в том числе эксплуатационных, приводить:
  результаты сравнения измеренной реактивности и реактивности, полученной при помощи расчетного моделирования, т.е. рассчитанной по модели реактиметра, содержащейся в ПС расчетного моделирования измерения реактивности;
  результаты сравнения рассчитанной реактивности по стационарному ПС-имитатору работы активной зоны и по стационарной части ПС моделирования измерения реактивности;
  погрешности величин, о которых говорится в предыдущих абзацах настоящего пункта.

IV. Рекомендации по определению эффективности аварийной защиты, основанные на сопоставлении рассчитанной, измеренной и полученной в результате расчетного моделирования измерения реактивности

14. Согласно требованиям Правил ядерной безопасности реакторных установок атомных станций (НП-082-07), утвержденных постановлением Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 10 декабря 2007 г. № 4 (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 21 января 2008 г., регистрационный № 10951; бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти, 2008, № 20), минимальная эффективность аварийной защиты устанавливается достаточной для перевода РУ в любой момент времени в подкритическое состояние из состояния активной зоны с наибольшей критичностью без нарушения проектных пределов. Минимальная эффективность аварийной защиты обосновывается в проекте РУ и определяется для состояний на минимально контролируемом уровне (далее – МКУ) мощности и на номинальной мощности. Согласно требованиям руководящих документов эксплуатирующей организации, эффективность аварийной защиты реакторов типа ВВЭР рассчитывается перед началом работы каждой топливной загрузки. Для подтверждения расчетного значения эффективности аварийной защиты проводятся измерения на МКУ мощности. Измерения и их обработка выполняются согласно методикам, изложенным в руководящих документах эксплуатирующей организации.

15. Расчетную эффективность аварийной защиты рекомендуется определять по абсолютной величине как разность между двумя обратными эффективными коэффициентами размножения, рассчитанными по ПС стационарного расчета в двух состояниях, начальном и конечном. В начальном со-

стоянии все органы регулирования (далее – ОР) СУЗ, за исключением ОР регулирующей группы, находятся на верхнем концевом выключателе. В конечном состоянии все ОР СУЗ находятся на нижнем концевом выключателе, остальные параметры соответствуют первому состоянию. Измеренной эффективностью аварийной защиты рекомендуется считать значение реактивности, полученное по реактиметру в результате перемещения всех ОР СУЗ до нижнего концевого выключателя. Аналогичным образом рекомендуется определять эффективность аварийной защиты без одного или нескольких ОР СУЗ.

16. Эффективностью аварийной защиты, полученной в результате расчетного моделирования измерения, рекомендуется считать изменение реактивности, рассчитанное по модели реактиметра, содержащейся в ПС, применяемом для расчетного моделирования. Начальное состояние при расчетном моделировании измерения эффективности аварийной защиты рекомендуется выбирать таким образом, чтобы оно совпадало с начальным состоянием, определенным в пункте 15 настоящего Положения.

17. Погрешность эффективности аварийной защиты, полученную в результате расчета с учетом сопоставления измеренной и рассчитанной реактивности, рекомендуется приводить в приложении к аттестационному паспорту ПС для расчетного моделирования реактивности. Если для расчета реактивности и моделирования измерений реактивности используются разные ПС, то определение погрешности рекомендуется приводить в документах, обосновывающих безопасность очередной загрузки РУ, в которых содержится сопоставление измеренных и рассчитанных величин.

V. Рекомендации по определению эффектов и коэффициентов реактивности, основанные на сопоставлении рассчитанной, измеренной и полученной в результате расчетного моделирования измерения реактивности

18. Измерения и обработку измерений эффектов и коэффициентов реактивности, эффективности отдельных ОР СУЗ, групп ОР СУЗ, дифференциальной эффективности групп ОР СУЗ рекомендуется проводить по методикам, утвержденным эксплуатирующей организацией.

19. Рекомендации по определению эффективности ОР СУЗ (или групп ОР СУЗ), определяемой посредством сброса из критического состояния или сброса в подкритическом состоянии (доброса), и погрешностей этой величины совпадают с рекомендациями главы IV настоящего Положения, сформулированными для определения эффективности аварийной защиты.

20. Расчетное моделирование дифференциальной и интегральной эффективности групп СУЗ при компенсации их борной кислотой, а также эффектов и коэффициентов реактивности по борной кислоте, выполняемое на МКУ мощности, рекомендуется проводить как по стационарным ПС-имитаторам работы РУ, так и по ПС нестационарного совместного НФ и ТГ расчета.

21. Расчетное моделирование измерений эффектов и коэффициентов реактивности, которое заключается в компенсации вводимых возмущений от какого-либо параметра за счет ОР СУЗ с заранее известной эффективностью, рекомендуется проводить по ПС совместного нестационарного НФ и ТГ расчета. В процессе компенсации возмущения эффективность ОР СУЗ может измениться. В ПС, предназначенных для расчетного моделирования измерений, рекомендуется предусмотреть возможность моделирования работы необходимых систем РУ, а в приложении к аттестационному пас-

порту ПС в подпункт 2.6 «Погрешность, обеспечиваемая в области допустимых значений параметров» рекомендуется включать погрешности параметров, влияющих на измерения.

22. Погрешности рассчитанных величин коэффициентов и эффектов реактивности, полученных по ПС-имитаторам реактора, рекомендуется определять с учетом расчетного моделирования измерений.

ПРИЛОЖЕНИЕ
к Положению о рекомендациях
по сопоставлению рассчитанной
и измеренной реактивности
при обосновании ядерной безопасности
реакторных установок с ВВЭР,
утвержденному приказом Федеральной
службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
от 24 апреля 2012 г. № 264

Термины и определения

Реактивность – мера отклонения коэффициента размножения нейтронов от 1.

$\rho = 1/k_{эф1} - 1/k_{эф2}$,

где $k_{эф1}$ и $k_{эф2}$ – эффективные коэффициенты размножения начального и конечного состояний.

Величина ρ называется также рассчитанной реактивностью. Эффективный коэффициент размножения определяется из решения стационарной задачи по ПС-имитаторам работы активной зоны РУ и представляет собой отношение полной генерации нейтронов к суммарным поглощению и утечке.

Измеренная реактивность – реактивность, измеренная реактиметром (приборным комплексом) на основании сигнала по потоку нейтронов (нейтронной мощности) от одного или нескольких внутризонных или внезонных датчиков.

Реактивность, полученная в результате расчетного моделирования измерения – это реактивность, полученная в результате расчетного моделирования реактиметра, параметры которого рекомендуется выбирать так, чтобы они совпадали с параметрами реактиметра, с помощью которого производятся измерения. При этом рекомендуется выполнить следующие условия. Распределение потока нейтронов (нейтронной мощности) в активной зоне рассчитывается по ПС

штабного НФ и ТГ расчета РУ. Значения потоков нейтронов в месте расположения внезонных датчиков реактиметра рекомендуется рассчитать по ПС с известной погрешностью.

Реактиметр – прибор (измерительный комплекс), фиксирующий изменение потока нейтронов (нейтронной мощности) с помощью датчиков, расположенных внутри или вне активной зоны, и производящий первичную обработку сигнала с целью получения измеренной реактивности по заранее известному закону или алгоритму. В измерительный комплекс может входить статистическая обработка первичных результатов, учет фонового тока датчиков при получении окончательного значения реактивности.

Эффект реактивности – это изменение реактивности в результате изменения одного из параметров РУ, например мощности, средних температур топлива и теплоносителя, концентрации жидкого поглотителя (борной кислоты), концентрации ксенона. При этом указывается интервал изменения параметра и, если это необходимо, функция пространственного распределения.

Коэффициент реактивности – эффект реактивности, отнесенный к величине изменения соответствующего параметра, при этом предполагается, что все остальные параметры остаются постоянными.

Положение
о рекомендациях по сопоставлению рассчитанной и измеренной реактивности при обосновании ядерной безопасности реакторных установок с ВВЭР

РБ-074-12

Официальное издание

Ответственная за выпуск Синицына Т.В.

Верстка выполнена в ФБУ «НТЦ ЯРБ» в полном соответствии с приложением к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 24 апреля 2012 г. № 264

Подписано в печать 20.12.2012.

ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности» (ФБУ «НТЦ ЯРБ») является официальным издателем и распространителем нормативных актов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.04.06 № 384)

Тираж 100 экз.

Отпечатано в ФБУ «НТЦ ЯРБ». Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, корп. 5

Телефон редакции: 8-499-264-28-53

gost.e-ecolog.ru