LIMITATIONS OF THE TH ALLOCATED POINT KINETICS MODEL IMPLEMENTATION FOR REACTIVITY ACCIDENTS ANALYSIS
О ГРАНИЦАХ ПРИМЕНИМОСТИ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТОЧЕЧНОЙ КИНЕТИКИ ДЛЯ АНАЛИЗА РЕАКТИВНОСТНЫХ АВАРИЙ.

(S. Krasnukha, South-Ukrainian NPP)

1. ВВЕДЕНИЕ (ABSTRACT)

Модель – всегда упрощение. Важно понимать, что является существенным при моделировании, а что можно отбросить без потери качества анализа. Тема данного доклада касается вопроса о правильном применении модели точечной кинетики (подобной применяемой в RELAP-5[1]) при моделировании процессов связанных с изменением реактивности, которое, в свою очередь, невозможно без глубокого понимания ограничений модели и оценки их влияния на конечные результаты анализа. В отчете также приводится анализ достоверности конкретных расчетов связанных с изменением реактивности. Основной материал изложен на русском языке, однако, основные выводы по докладу , а также формулировки относящиеся к ограничениям модели переведены на английский язык.

Model - always simplification. It is important to understand, that is essential at a modeling, and that is possible to discard without losses of quality of the analysis. The theme of this report concerns a problem on exact application of the model of a point kinetics (applying in RELAP-5[2]) at the modeling of the processes bound with change of a reactivity, which, in turn, is impossible without deep comprehension of the model restrictions and estimation of their influence on eventual results of the analysis. The report, also, deals with the authenticity analysis of specific calculations connected with the reactivity and power distribution anomalies. The original material stated in Russian, however, statements concerning to restrictions of the model, and main conclusions are translated into English.

[1] В [3,раздел 7, первый параграф] указано, что “ Эта аппроксимация адекватна только для случаев в которых пространственное распределение остается приблизительно постоянным” – это достаточно точно, но не достаточно для ясного понимания вносимых погрешностей

[2] In [3,sec.7, first paragraph] pointed “This approximation is adequate for cases in which the space distribution remains nearly constant”- this is accurately enough, but not enough for clear understanding of the introduced errors

СОДЕРЖАНИЕ/CONTENTS

1. Введение(abstract) 1

2. Постановка задачи/formulation of a problem: 3

3. приближение точечной кинетики с распределенными Термогидравлическими параметрами/ Approach of a point kinetics with allocated TH parameters 3

4. Односкоростное нестациоарное интегро-дифференциальное уравненние диффузии нейтронов/One-velocity non stationary integro-differential equation of the neutron diffusion 4

5. Рекурсия/recursion 5

6. ограничения модели распределенной точечной кинетики / Limitations of the allocated point Kinetics model 5

7. Анализ достоверности расчета реактивностных аварий с помощью распределенной точечной кине- тики/The authenticity analysis of a reactivity anomalies calculations by the TH allocated point kinetics. 6

7.1 Выброс органа регулирования/Contol rod ejection 6

7.2 Подключение ранее неработающей петли/ Start-up of Inactive RCS Loop 8

7.3 Непреднамеренное извлечение группы ОР СУЗ/ Uncontrolled Withdrawal of Control Rods' Group. 10

8. Выводы /conclusions 10

9. Литература/literature 11

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ/FORMULATION OF A PROBLEM:

Задача - получение интегрального изменения реактивности и пикового значения мощности реактора при реактивностных авариях, связанных с локальным изменением характеристик активной зоны.

Цель - в наглядно-демонстративной манере показать невозможность корректного использования модели распределенной точечной кинетики для оценки пиковых значений локального распределения мощности.

3. ПРИБЛИЖЕНИЕ ТОЧЕЧНОЙ КИНЕТИКИ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ТЕРМОГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ/ APPROACH OF A POINT KINETICS WITH ALLOCATED TH PARAMETERS

Распределенная точечная кинетика характеризуется распределением термогидравлических параметров по объему активной зоны с использованием для расчета обратных связей постоянных коэффициентов реактивности

т. е.

изменение реактивности активной зоны- $DRO = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{1630} DROij$, [1]

изменение мощности активной зоны- $E = \sum Ej = \sum \Delta T_{fj} \times DRO / DT_f$ [2]

где i- мощностной, температурный и. т. д эффекты реактивности, рассчитываемые следующим образом

$DROi = \Delta THi \times DRO / DTHi$, где $DTHi -$ изменение i термогидравлического параметра (Давление, температура, плотность и. т. д.);

$DRO / DTHi$ - коэффициент реактивности принятый постоянным и полученный по теории возмущений в области действия констант для квазистационарной задачи)

ΔT_{fj} - изменение температуры топлива в j элементарном объеме активной зоны

j- расчетная область (“точка”) в активной зоне(163×10)

4. ОДНОСКОРОСТНОЕ НЕСТАЦИОАРНОЕ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ УРАВНЕННИЕ ДИФФУЗИИ НЕЙТРОНОВ/ONE-VELOCITY NON STATIONARY INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATION OF THE NEUTRON DIFFUSION

Рассмотрим к чему приводит подобное приближение используя терминологию принятую для стандартного односкоростного нестационарного интегро-дифференциального уравнения диффузии нейтронов.

Согласно этому уравнению изменение числа нейронов в элементарном объеме происходит вследствие их поглощения, рассеяния(утечки) и образования(деления и перетока нейтронов из соседних объемов)

Рассмотрим каждый элемент:

Поглощение= $f(\Sigma a \times N)$, где N-число ядер поглощающего элемента в единице объема

Рассеяние= $f(\Sigma s \times N) + f(\Sigma tr)$, где N-число ядер рассеивающего элемента в единице объема , $f(\Sigma tr)$ – функция утечки нейтронов из объема

Образование= $f(\Sigma_f = \sigma_f \times N) + f(\Sigma_o)$, где N-число делящихся ядер в единице объема, например U_{235} , $f(\sum o)$- функция перетока нейтронов из соседних ячеек.

Простая комбинация этих элементов будет характеризовать энергию j объема активной зоны по закону:

$Ej = \nu \times E_n \times F \times \Sigma_f / (\Sigma_a + \Sigma_s)$, [3]

где ν-количество нейтронов образующихся в результате одного деления, E_n- энергия выделяющаяся при одном акте деления, F- исходный поток тепловых нейтронов(т. е. источник).

Таким образом показано, что энергия в j точке активной зоны зависит от соотношения микросечений деления, поглощения и рассеяния, а также количества соответствующих ядер в единице объема и перетоков нейтронов от соседних ячеек.

Теперь покажем от чего зависят эти величины.

Соотношения сечений зависят, главным образом от температуры теплоносителя и топлива, а количество ядер в единице объема от плотности (определяемой в случае теплоносителя величинами давления и температуры).

Таким образом, в общем виде можно записать, что энергия выделяющаяся в j элементарном объеме активной зоны

$E_j = f(\Sigma_{kj}, N_{kj}, P_j)$, Причем $\sigma_{kj} = f(TH_j), N_{kj} = f(TH_j)$, [4]

Полная энергия активной зоны

$E = \sum E_j$ [5]

где

P_j - учитывает перетоки т. е тот факт, что надо учитывать влияние диффузии (перетока) нейтронов из одной области в другую, происходящее согласно уравнению диффузии(закону Фика).

TH_j- термогидравлические параметры в элементарном объеме j.

σ_{kj} – характеризует все типы взаимодействий на всех ядрах от 1 до k

N_{kj}- характеризует ядерные концентрации для всех типов ядер от 1 до k

5. РЕКУРСИЯ/RECURSION

Очевидно, что термогидравлические параметры зависят от энергии, выделяющейся в элементарном объеме активной зоны и, соответственно, от плотности потока нейтронов в данном объеме.

Таким образом получаем рекурсию – нейтронно- физические свойства зависят от термогидравлических, которые, в свою очередь, зависят от нейтронно - физических.

На практике это означает, что нейтронно-физический код должен иметь гибкую структуру аппроксимации констант во всей области изменения ТН параметров, а также должен учитывать изменения термогидравлических свойств активной зоны в переходном процессе.

С другой стороны термогидравлический код должен учитывать изменение поля энерговыделений, которое получено из нейтронно-физического кода.

6. ОГРАНИЧЕНИЯ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТОЧЕЧНОЙ КИНЕТИКИ / LIMITATIONS OF THE ALLOCATED POINT KINETICS MODEL

Сравнивая [2] с [4] и [1] с [5] можно сформулировать следующие ограничения в применении модели распределенной точечной кинетики для анализа реактивностных аварий/The following limitations can be stated based on previous consideration:

1. ***Энергия элементарного объема в приближении распределенной точечной кинетики не учитывает изменение нейтронно- физических характеристик в этом объеме, заменяя их***

постоянными коэффициентами реактивности. Следовательно, определение изменения реактивности в каком-либо переходном процессе с помощью распределенной модели точечной кинетики ограничивается достоверностью коэффициентов реактивности.

The energy of a partial volume in approach of an allocated point kinetics does not take into account the change of the neutron-physics characteristics in this volume, Instead of they are changed by stationary values of reactivity coefficients. Therefore, the calculation of a reactivity changing in any transient is restricted by reliability of these reactivity coefficients.

2. ***При резких локальных изменениях в свойствах активной зоны достоверность аппроксимации локального изменения реактивности постоянными коэффициентами некорректна, так как необходимо учитывать влияние перетоков нейтронов из одной области в другую, которое может быть значительным.***

The approximation of local reactivity anomalies by this way (see above) will be incorrect if abrupt local change of the core conditions occurs. Because it is necessary to take into account the nodal transfer of neutron flux from one area to another, which might be significant.

3. ***В случае если изменение реактивности затрагивает достаточно большую область активной зоны, а величина и скорость вводимой реактивности достаточно велики необходимо рассматривать возможность образования локальной критичности, так как величина генерации нейтронов может превысить ее утечку в соседние объемы.***

In case of an introduced reactivity is abrupt & large and concern with large core region, it will be necessary to take into account the possibility of a local criticality rise because neutron generation can exceed their outflow.

7. АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТА РЕАКТИВНОСТНЫХ АВАРИЙ С ПОМОЩЬЮ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ТОЧЕЧНОЙ КИНЕ- ТИКИ/THE AUTHENTICITY ANALYSIS OF A REACTIVITY ANOMALIES CALCULATIONS BY THE TH ALLOCATED POINT KINETICS.

Рассмотрим влияние полученных ограничений на результаты анализа двух типичных реактивностных аварии с резким локальным изменением свойств активной зоны.

7.1 Выброс органа регулирования/Contol rod ejection

Данная авария характеризуется резким локальным изменением реактивности в месте выброса кластера.

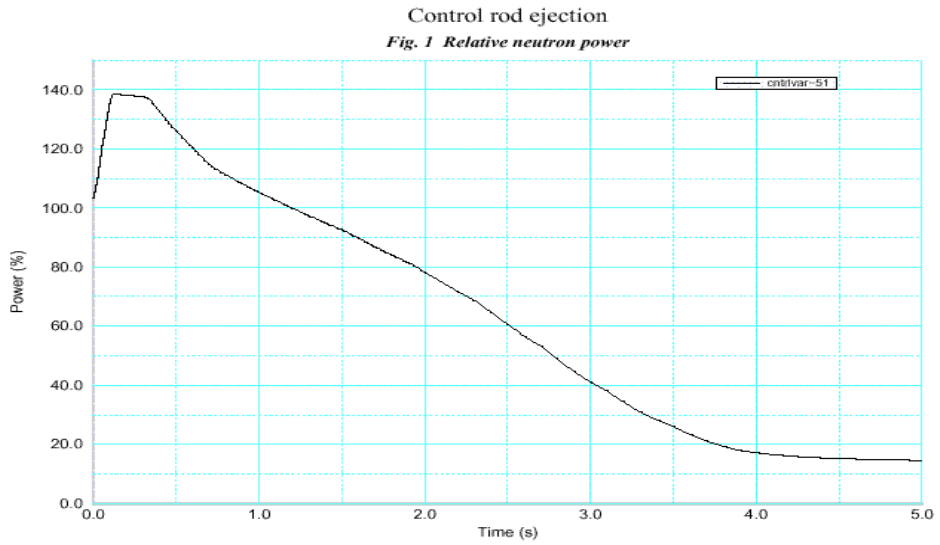
При этом изменяются главным образом характеристики топлива.

То есть, применяя консервативный подход, состоящий в выборе минимального коэффициента реактивности по температуре топлива, и максимальной величины реактивности выбрасываемого ОР СУЗ (полученной с учетом перераспределения поля нейтронов, взято из ТОБ блока 1) можно считать полученное изменение реактивности и соответственно интегральной мощности реактора достоверным.

Однако, не зная действительного распределения потока нейтронов невозможно получить достоверное значение локальной энтальпии топлива не выполнив оценку перераспределения плотности потока нейтронов с учетом изменения свойств среды в месте выброса и эффекта перетока нейтронов, вследствие полученной асимметрии.

Применение методологии “Hot Spot” [2] предполагает, что это перераспределение , равно как и величина вносимой реактивности, известно из соответствующих нейтронно-физических кодов. Однако, предположение о неизменности размещения максимума энерговыделения до и после выброса кластера в этом случае неоправданно и в достаточной степени условно (лучше изменять весь профиль энерговыделения).

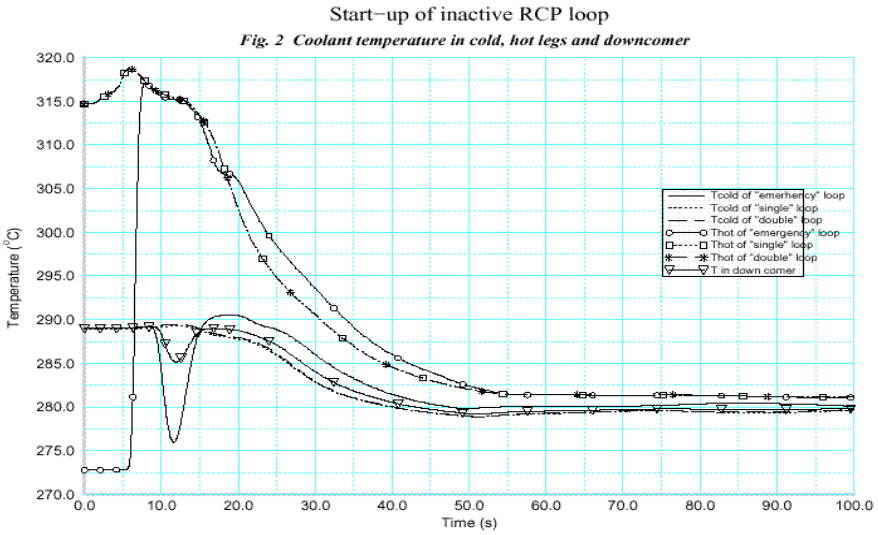
По крайней мере, следует понимать, что изменение реактивности 0.19% происходит локально и в начальный момент вовсе не эквивалентно увеличению мощности активной зоны на 38% (см Рис 1). В дальнейшем, из-за диффузии нейтронов повышается энерговыделение во всех остальных точках активной зоны, которое приводит к интегральному эффекту в росте мощности на 38%. Однако распределенная кинетика интерпретирует любое локальное изменение реактивности как общее изменение реактивности всей активной зоны.



7.2 Подключение ранее неработающей петли/ Start-up of Inactive RCS Loop

Данная авария характеризуется резким локальным захолаживанием активной зоны приблизительно в 1/4 части активной зоны (считая что поток теплоносителя полностью неперемешивается).

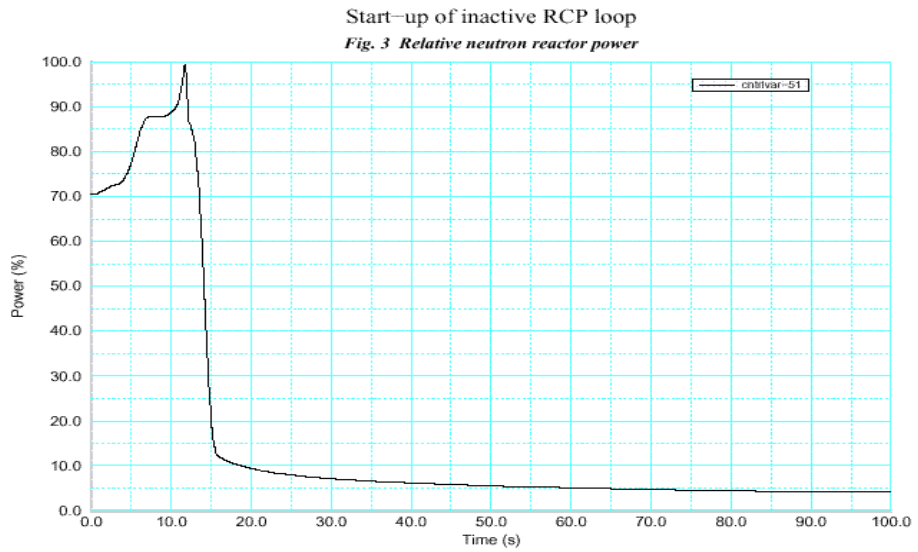
Моделирование данной аварии выполнено при полном перемешивании, в результате чего захолаживание происходит в 3 раза меньше, но зато для всей активной зоны(см. Рис 2). Считая, что температурный коэффициент реактивности определен достаточно консервативно, получим интегральное изменение реактивности, которое будет даже несколько больше ожидаемого, т. к оно будет определяться для в 4 раза большего объема, но при захолаживании в три раза меньшем.



Таким образом, можно считать, что интегральное изменение реактивности и соответственно мощности реактора определено достаточно консервативно.

Однако вследствие его размазывания по активной зоне локальное изменение мощности не определено корректно.

Если же распространить ожидаемое захолаживание на всю активную зону, интегральное изменение реактивности и, соответственно, мощности реактора окажется в ~ 4 раза большим. То есть, если мы имели изменение мощности реактора с 70% до 99% т. е.29%(см Рис 3), то сейчас мы получим изменение на 116%.



При таком изменении, если оно происходит достаточно быстро, ничего не достигается кроме очевидного повреждения реактора. В любом случае это приближение невозможно связать с локальным эффектом захолаживания.

Если проанализировать физику процесса в самом общем виде, то получается следующее:

Изменение температуры теплоносителя в 1/4 части активной зоны приведет к уменьшению сечений поглощения и рассеяния , что приведет к резкому увеличению потока нейтронов в рассматриваемой области. Т. е. это равнозначно введению дополнительного источника нейтронов, что, в принципе, может вызвать возникновение локальной критичности (в случае если локальная генерация нейтронов будет превышать их утечку). Другими словами данная область становится совсем другой, отдельной “активной зоной” с совсем иными характеристиками.

Как же распределится тогда энерговыделение, если предполагать, что локальная критичность не достигнута и изменение мощности по прежнему эквивалентно 29% локализованных в 1/4 части активной зоны?

Очевидно, в этом случае следует ожидать роста энерговыделения в среднем в 4 раза большего, т. е. энергонапряженность топлива в среднем возрастет в 2.16 раза. Но это только в среднем и в предположении, что локальная критичность не достигается, что не может гарантироваться.

Таким образом, оценку пикового значения локального распределения энерговыделения при подключении петли невозможно получить в принципе, используя точечное приближение кинетики реактора

7.3 Непреднамеренное извлечение группы ОР СУЗ/ Uncontrolled Withdrawal of Control Rods' Group.

Это пример задачи совершенно корректной для решения с помощью точечной кинетики (используя характер изменения реактивности полученный по квазистационарной задаче) так как:

- изменение свойств активной зоны происходит совершенно симметрично;
- процесс происходит достаточно медленно, поэтому деформация поля нейтронов не существенна (перетоки нейтронов невелики и успевают завершится к началу следующего шага изменения реактивности);
- деформация поля энерговыделения не существенна, так как аварийная защита срабатывает еще до полного извлечения группы до верхнего положения.
- ограничения модели могут перекрываться использованием консервативного подхода.

Тем не менее, даже в этом случае, реальные изменения пиковых энерговыделений неизвестны (хотя понятно, что они незначительны, вследствие малой скорости и величины изменения реактивности).

8. ВЫВОДЫ /CONCLUSIONS

Выполненный анализ показывает причины из-за которых невозможно оценить локальные эффекты используя точечную модель кинетики с распределенными термогидравлическими параметрами/ The fulfilled analysis displays the reasons for which it is impossible to estimate the local effects using point kinetics model with allocated TH parameters:

1. ***Основным ограничением является невозможность учесть пространственные перетоки нейтронов, возникающие при локальной деформации свойств активной зоны.***

The main limitation is impossibility to take into account the space transfer of the neutron flux, arising at local deformation in the core conditions.

2. ***Ограничения, связанные с применением коэффициентов реактивности, полученных для стационарного состояния в принципе могут быть преодолены консервативным выбором этих коэффициентов при условии что локальная деформация поля нейтронов незначительна и не может приводить к существенным значениям пиковых энерговыделений в топливе.***

The reactivity coefficients limitations can be overcome in principal only if local deformation in the core conditions is negligible i. e. can't lead to the significant changes of the energy release in the fuel.

3. ***В случае значительных локальных деформаций поля нейтронов эффект возникновения локальной критичности требует специального рассмотрения с применением программ, использующих не только трехмерную кинетику, но и гибкую систему аппроксимации констант и, возможно, переопределения граничных условия для части активной зоны.***

In case of considerable local deformations in neutron field the effect a local criticality rise requires the special consideration with application of a codes using not only a three-dimensional kinetics, but also flexible system of constant approximation and, probably, ovedetermination of the boundary conditions for the part of core.

4. ***В случе отсутствия ограничений по п.3 и при наличии корректных исходных данных относительно локального изменения поля энерговыделения и величины вносимой реактивности, расчет реактивностных аварий возможен с помощью ТН программ подобных RELAP-5, однако требует надлежащего понимания применяемых упрощений.***

In case of the limitations regarding to the item 3(above) is absent and if there is correct input data concerning local change of a power profile and quantity of reactivity introduced into the core, the calculation of reactivity accidents is possible by the TH codes like RELAP-5, however requires suitable comprehension of applied simplifications.

9. ЛИТЕРАТУРА/LITERATURE

1. Углубленный анализ безопасности энергоблока №1 ЮУ АЭС , Анализ проектных аварий, “Анализ исходных событий, связанных с изменением реактивности и распределения энерговыделений”, № SUSA-531DL11R. DBA.
2. Throskmorton, D. W., et. al.”Reactivity anomaly Events Methodology”, Texas Utilities Electric Company Report RXE-91-001, May 1991.
3. NUREG/CR-5535 INEL-95/0174 Vol.1 RELAP5/MOD3 CODE MANUAL