



RU9604453

The computing simulation of reactor with high heat capacity core behaviour at failure by caused enter large positive reactivity.

Goltsev A.O.

RRC "Kurchatov Institute" p. (095)-196-7016, fax 7-095-882-5809

Расчетное моделирование поведения реактора с большой теплоемкостью активной зоны при аварии вызванной вводом большой положительной реактивности.

Гольцев А.О.

The questions of enter negative reactivity by means of temperature and density feed-backs at conditions unable to work of emergency systems are analyzed. Is shown, that in consequence high heat capacity of fuel used in reactor, even the failure with enter reactivity 10 β_{eff} is not large accident for such type reactor.

Наряду с аварийной ситуацией, связанной с потерей теплоносителя, не менее важными являются запроектные аварии, вызванные выбросом поглощающих стержней из активной зоны реактора, которым в настоящее время уделяется незаслуженно мало места. Целью рассмотрения аварий относящихся к классу тяжелых, является оценка степени повреждения активной зоны и количества выходящих при этом в теплоноситель продуктов деления.

На предыдущем семинаре в 1993 году было доложено о концепции безопасного водоохлаждаемого реактора с алюминиевыми тепловыделяющими блоками содержащими шаровые твэлы ВТГР. Вследствие высокой теплоемкости используемого в реакторе топлива на первый план при рассмотрении аварий, связанных с вводом большой положительной реактивности, выходят вопросы изучения ввода отрицательной реактивности за счет температурных и плотностной обратных связей. В условиях развития таких аварий будем предполагать, что аварийная защита по тем или иным причинам не срабатывает и выход реактора на новый уровень мощности или его глушение происходит именно за счет обратных связей.

В расчетах использовалась программа СТАРТ4, предназначенная для моделирования динамических процессов в реакторах различных типов в R-Z геометрии. В этой программе перенос нейтронов описывается в многогрупповом диффузионном приближении, нейтронно-физические константы предполагаются зависящими (в данных расчетах) от температуры UO_2 (кern микротвэла), температуры графита и плотности воды. Учитывается поглощение на Xe^{135} и Sm^{149} . Тепловыделение описывается тремя составляющими: тепловыделение от реакции деления (в kern микротвэлов), от распада продуктов деления (остаточное тепловыделение) и учитывается тепловыделение в воде за счет замедления в ней нейтронов.

1. Реактивностная авария при работе реактора на номинальной мощности.

В ходе расчетов предполагалось, что выброс группы поглощающих стержней происходит в реакторе который работает на номинальном уровне мощности. При этом величина вводимой положительной реактивности составляет $\sim 2 \beta_{eff}$. Предполагалось при этом, что давление в контуре не падает (в следствие ухода пароводяной смеси через образовавшиеся отверстия), и значит по этой причине вода не закипает, и следовательно не вводится большая отрицательная реактивность. Аварийная защита, как было сказано выше, - не срабатывает.

Расчеты показывают (рис.1), что при быстром вводе положительной реактивности (за 1-5 сек) ее компенсация происходит в основном за

счет эффекта Доплера, т.к. тепло не успевает отводиться из твэла в теплоноситель. При медленном вводе реактивности (свыше 20 сек), наоборот, из-за того, что отвод тепла происходит быстрее его генерации, основной вклад в отрицательную реактивность дадут увеличение температуры воды и соответствующее уменьшение ее плотности. Этому способствуют хорошие условия транспорта тепла от поверхности шаровых твэлов к воде, обеспечиваемые алюминием.

Поэтому, аварийная ситуация, обусловленная извлечением группы поглощающих стержней весом $\sim 2 \text{ В}_{\text{эф}}$ из активной зоны реактора, работающего на номинальной мощности:

- (1) заканчивается выходом реактора на новый более высокий уровень мощности на $\sim 50-70\%$ выше номинального,
- (2) подобная авария не приводит к сколько-нибудь ощутимым последствиям с точки зрения повреждения активной зоны реактора.

2. Реактивная авария при физпуске

Запроектная аварийная ситуация, вызванная самопроизвольным извлечением поглощающих стержней из холодного разотравленного реактора, теоретически может произойти при отрыве или подъеме верхней крышки реактора, на которой размещены приводы СУЗ, например, в результате спланированной диверсии. Принималось, что вводимая при этом величина положительной реактивности составляет $\sim 10 \text{ В}_{\text{эф}}$.

Извлечение поглощающих стержней вызывает резкий скачок энерговыделения в топливных ядрах, сопровождающийся ростом температуры топлива (ядров), причем скорость роста энерговыделения и его максимальное значение зависит от скорости вывода стержней из активной зоны реактора. По мере возрастания температуры на динамическом поведении реактора начинает сказываться отрицательный коэффициент реактивности по температуре топлива. В этот момент характер поведения реактора определяется конкуренцией трех процессов: генерации тепла (Q_k) в ядрах микротвэлов, его отвода (Q_s) в графитовую матрицу твэла и объемным нагревом воды за счет замедления в ней нейтронов (Q_v).

Осциллирующий характер поведения мощности на первой секунде развития аварии объясняется разбалансом скоростей ввода положительной (стержни) и отрицательной (Доплер-эффект) реактивности. В конце первой секунды эти скорости уравниваются и мощность перестает осциллировать.

Кроме эффекта Доплера на поведение реактора в реактивных аварийных режимах оказывают влияние температурный и плотностной эффекты по воде. Наступление момента времени, когда они становятся определяющими, зависит от толщины графитовой матрицы твэла и теплофизических свойств графита. Возрастание температуры воды и уменьшение ее плотности приводит к тому, что мощность реактора начинает падать вследствие вносимой значительной по величине отрицательной реактивности, а при закипании теплоносителя происходит глушение реактора. Причем, температура алюминия в течение всего аварийного процесса незначительно отличается от температуры воды, а достигаемые максимальные температуры алюминия значительно ниже температуры его плавления (рис.2).

На основе проведенных расчетов были сделаны следующие выводы:

- (1) Развитие аварийного процесса разгона холодного разотравленного реактора при извлечении всех поглощающих стержней из активной зоны заканчивается глушением реактора за счет закипания теплоносителя.
- (2) При быстром (за ~ 1 сек) извлечении поглощающих стержней из активной зоны реактора существует возможность достижения

максимальной температурой топлива значений ~ 1600 С, что может привести к разрушению части микротвэлов, и, как следствие этого, выходу продуктов деления в графит матрицы. Дальнейшему их выходу в контур установки будет препятствовать сохраняющая целостность алюминиевая оболочка.

- (3) Существует необходимость подробных исследований процессов динамики возникающих в твэле температурных напряжений вследствие резкого увеличения градиентов температур между топливом (кернами) и графитом (матрицей), а также между центром и поверхностью шарового твэла и их воздействием на целостность алюминиевой оболочки.

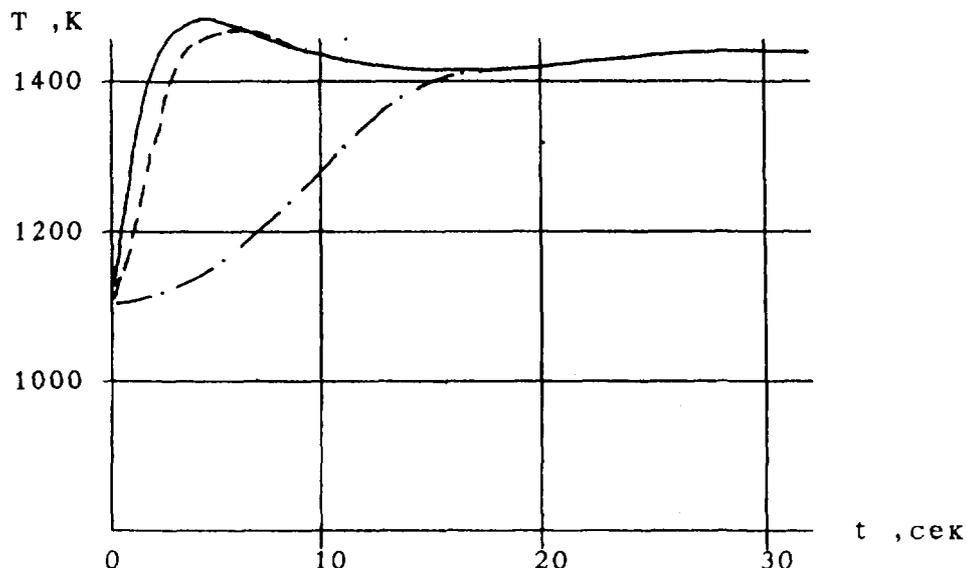


Рис. 1 Изменение во времени максимальной температуры топлива при извлечении поглощающих стержней весом $2 \text{ В}_{\text{з}}$ со скоростью — — — 10 см/с; - - - - 100 см/с; — — — 200 см/с.

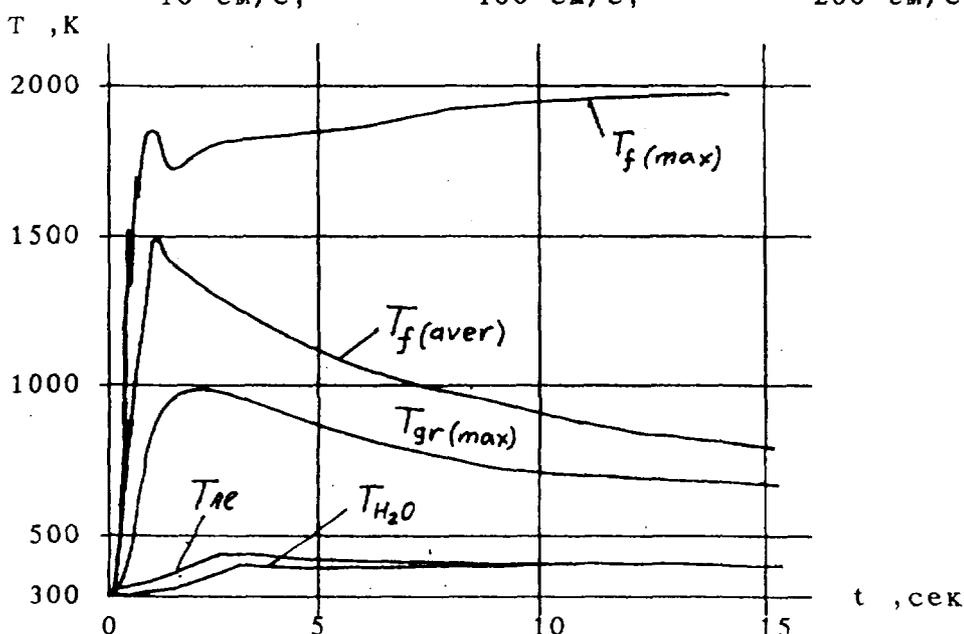


Рис. 2 Изменение во времени максимальных температур топлива, графита, алюминия и воды при извлечении поглощающих стержней весом $10 \text{ В}_{\text{з}}$ со скоростью 400 см/с.