

ИЗМЕРЕНИЕ АСИММЕТРИИ РАЗМНОЖАЮЩИХ СВОЙСТВ АКТИВНОЙ ЗОНЫ НА ЭТАПЕ ФИЗИЧЕСКОГО ПУСКА РЕАКТОРА БЛОКА №1 ТЯНЬВАНЬСКОЙ АЭС

О.С.Сударев, Ф.Н.Татаркин, А.В.Кирин, А.В.Семенihin,
ФГУП «Фирма «Атомтехэнерго», г. Мытищи

1 ВВЕДЕНИЕ.

Эксперимент по определению асимметрии размножающих свойств активной зоны проводится на каждом пускаемом блоке ВВЭР-1000. Коротко эксперимент называется: «Определение симметрии активной зоны».

Подтверждение симметрии активной зоны, как одной из проектных характеристик реактора, позволяющей нести блоком номинальную нагрузку, относится к комплексу нейтронно-физических измерений, проводимых на минимально-контролируемом уровне мощности, и по результатам которых допускается подъем мощности выше 1%Nном.

Определяемая величина – коэффициент асимметрии размножающих свойств активной зоны

$$k = \sqrt{\frac{\Delta\rho_{ik}}{\Delta\rho_k}}$$

где $\Delta\rho_{ik}$ – реактивность, измеренная при опускании (сбросе) i-того ОР СУЗ k-той группы;

$\Delta\rho_k$ – реактивность, средняя для k-той группы.

Критерий успешности: отклонение коэффициента не должно быть по абсолютной величине больше 5% в горячем состоянии ($T_{1K}=280^{\circ}\text{C}$).

2 АППАРАТУРА.

Для нейтронно-физических экспериментов на блоке №1 Тяньваньской АЭС использовались в качестве детекторов две ионизационные камеры КНК-4 (камера нейтронная с компенсацией гамма фона), расположенные в резервных каналах рабочего диапазона №4 и №9, приблизительно противоположно расположенные. Традиционно, для измерений на МКУ используют три камеры, но проект Тяньваньской АЭС заставил обойтись двумя. На результатах, как будет показано ниже, это не сказалось. Токовые сигналы от ионизационных камер по специально проложенной линии связи поступали в специализированный измерительный комплекс, разработки РНЦ «Курчатовский институт» для испытаний на физпуске и при освоении мощности. СИК состоял из двух комплектов аппаратуры системы токовых измерений СТИ-3-2 для измерения токов ионизационных камер и двух компьютеров для отображения, регистрации и архивирования данных от СТИ-3-2 и штатных информационных систем АЭС. В компьютере по току ионизационных камер производилось вычисление реактивности.

3 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИММЕТРИИ.

Порядок испытаний предусматривал поочередные сбросы в активную зону по одному ОР СУЗ с первой по девятую группы из крайнего верхнего положения до НКВ. Сброс ОР 10 группы производился из положения 86 % до НКВ. После сброса и фиксация изменения реактивности, сброшенный ОР СУЗ поднимался в исходное положение. Затем производился сброс следующего и т.д. Между группами производился сброс одного и того же ОР СУЗ – для проверки неизменности условий эксперимента. Отклонения реактивности реперного ОР СУЗ не превысили $\pm 1\%$.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ.

4.1 Максимальное отклонение значений коэффициента асимметрии активной зоны блока №1 Тяньваньской АЭС от единицы равно 4.78%, т.е удовлетворяет критерию успешности. Для сравнения, для последних введенных в эксплуатацию блоков:

на блоке №3 Калининской АЭС равно 3.96%,

на блоке №2 Хмельницкой АЭС равно 1,72%

на блоке №1 Ростовской АЭС равно 4,02%,

4.2 Обычно, анализируя полученные результаты физических экспериментов на МКУ, на оценке величины максимального отклонения коэффициента асимметрии и останавливаются. Но мы считаем, что важна и форма распределения коэффициента (его отклонения от единицы) по

активной зоне, ведь полное наименование эксперимента – «Определение асимметрии размножающих свойств активной зоны».

Для возможности анализа формы распределения была применена функция построения поверхности в редакторе электронных таблиц Excel.

На рисунке 1 приведена форма распределения коэффициента асимметрии по картограмме активной зоны блока №1 Тяньваньской АЭС.

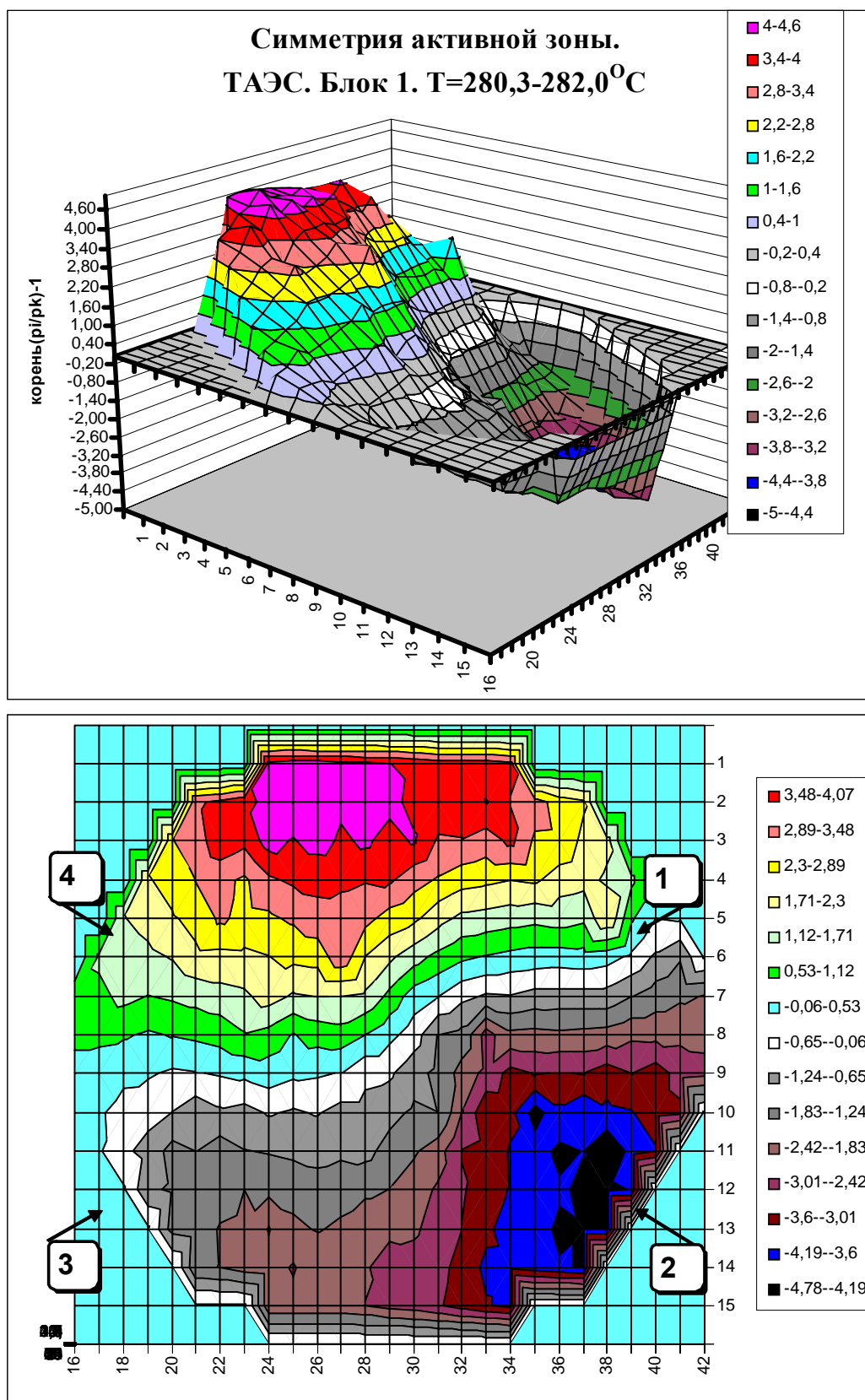


Рис. 1. Форма распределения размножающих свойств активной зоны блока №1 ТАЭС

Из рисунка видно, что распределения размножающих свойств имеет четкие особенности.

Первое. Имеется четко выраженные максимум (+4,58%) и минимум (-4,78%), приблизительно одинаковые по абсолютной величине и приблизительно лежащие напротив друг друга.

Второе. Форма поля выражена в сравнительно гладком постепенном переходе от одного максимума к другому.

Если просмотреть достаточно большое количество имеющихся в нашем распоряжении результатов определения симметрии активной зоны, то можно назвать такую форму «классической». Если нет причин, влияющих на результат, например, технических или методических ошибок при проведении эксперимента, при регистрации данных, при обработке данных, то форма распределения свойств обычно бывает именно такой. Этому есть физические, точнее теплогидравлические причины (об этом ниже).

4.3 Возможность рассматривать и анализировать форму распределения асимметрии размножающих свойств активной зоны позволяет судить, пусть косвенно, о точности измерений и о возможных отклонениях от условий проведения эксперимента или ошибках регистрации или обработки.

Посмотрим с этой точки зрения на формы и на результаты определения симметрии активных зон выше упомянутых четырех блоков.

На рисунке 2 приведены четыре формы распределения симметрии активных зон блоков на Тяньваньской, Калининской. Хмельницкой и Ростовской АЭС.

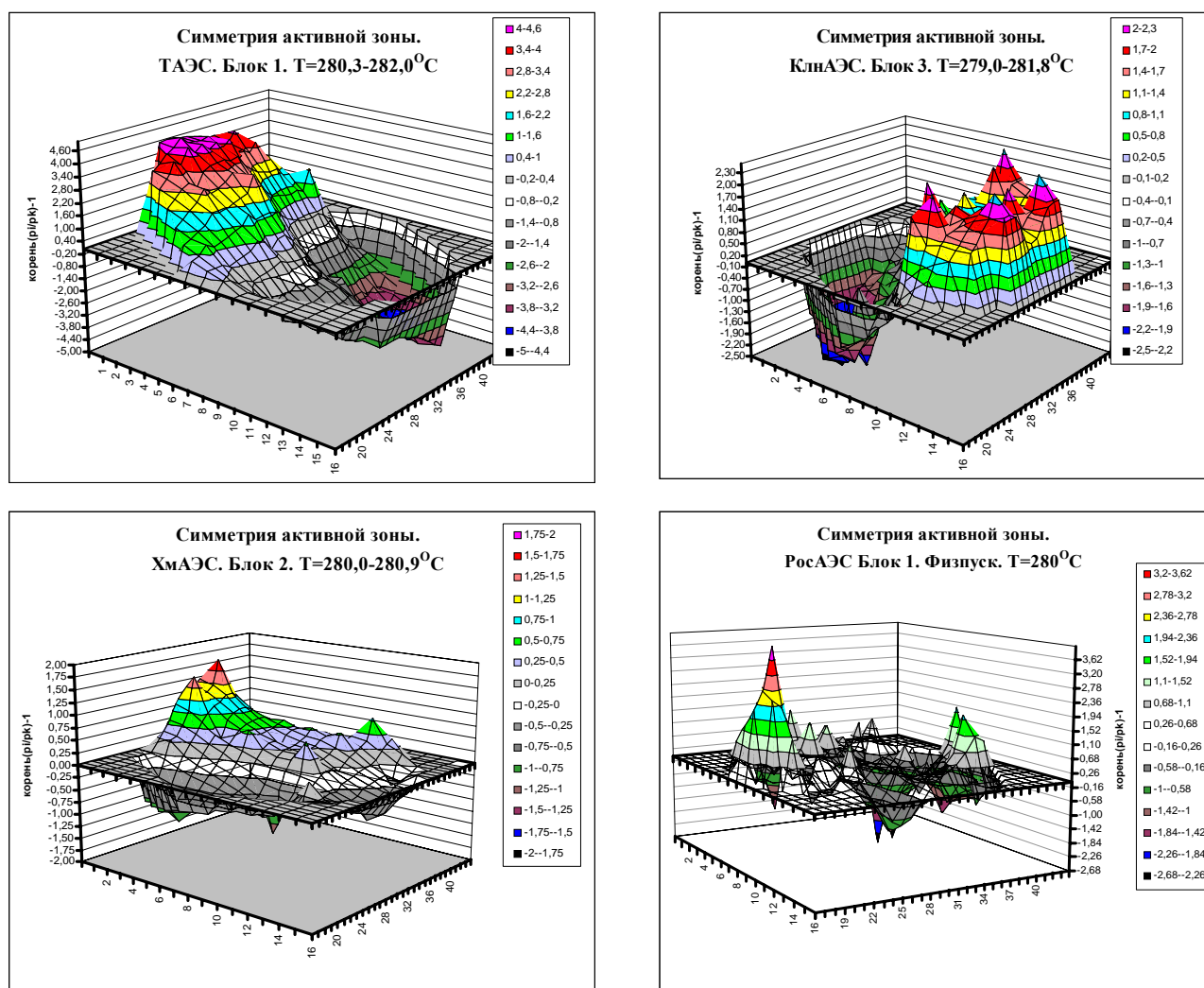


Рис. 2. Формы распределения размножающих свойств активной зоны блоков №1 ТАЭС, №3 КлнАЭС, №2 ХмАЭС, №1РосАЭС

На Тяньваньской и Калининской АЭС формы практически одинаковые, «классические».

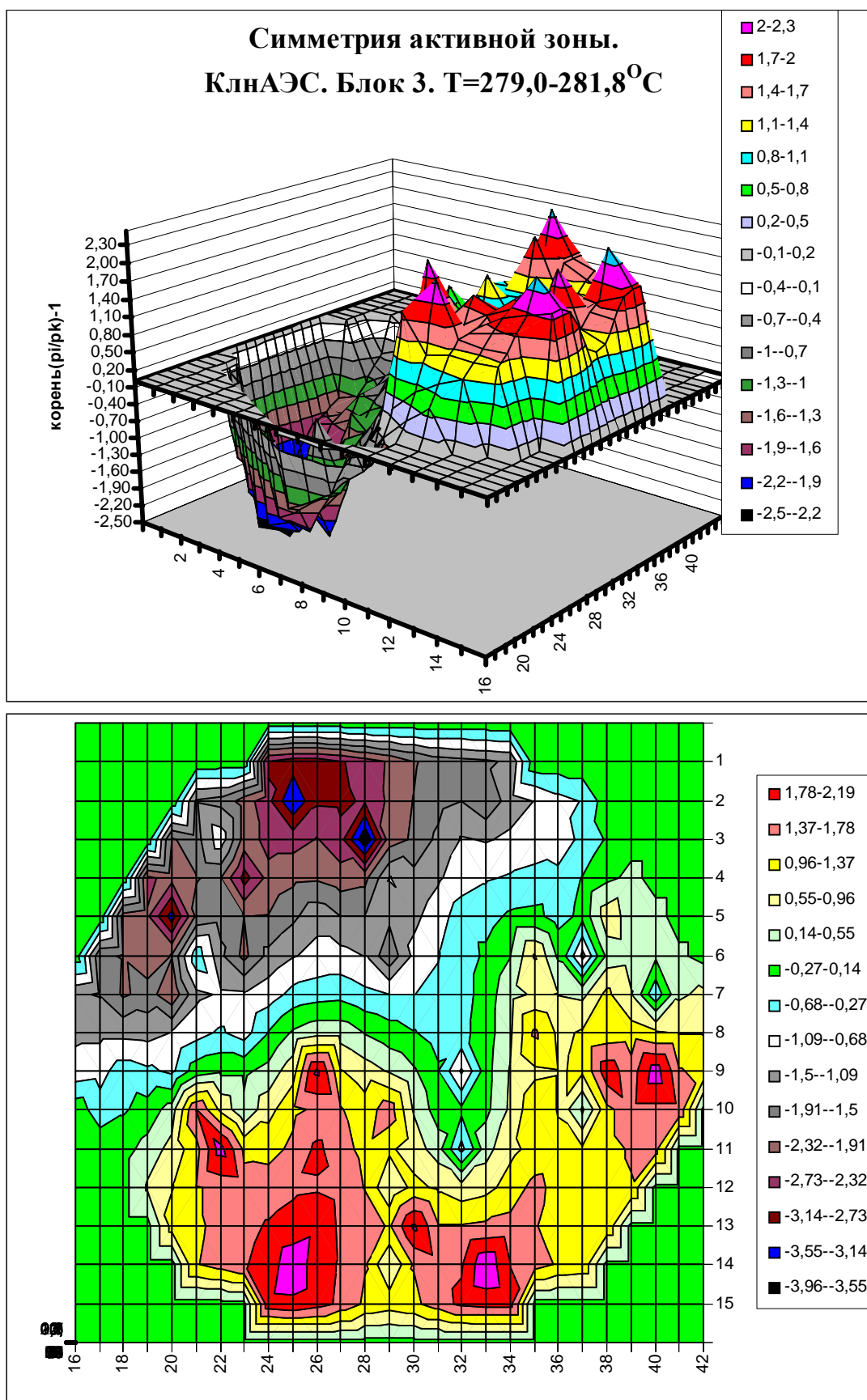


Рис. 3. Форма распределения размножающих свойств активной зоны блока №3 КЛнАЭС

Но на блоке №3 Калининской АЭС заметны пики в коэффициентах отдельных ОР СУЗ, что говорит либо о несоблюдении (небольшом) условий эксперимента, либо о большей погрешности измерений или обработки данных. Об этом же говорит и неодинаковость величин максимума (+2,54%) и минимума (-3,96%).

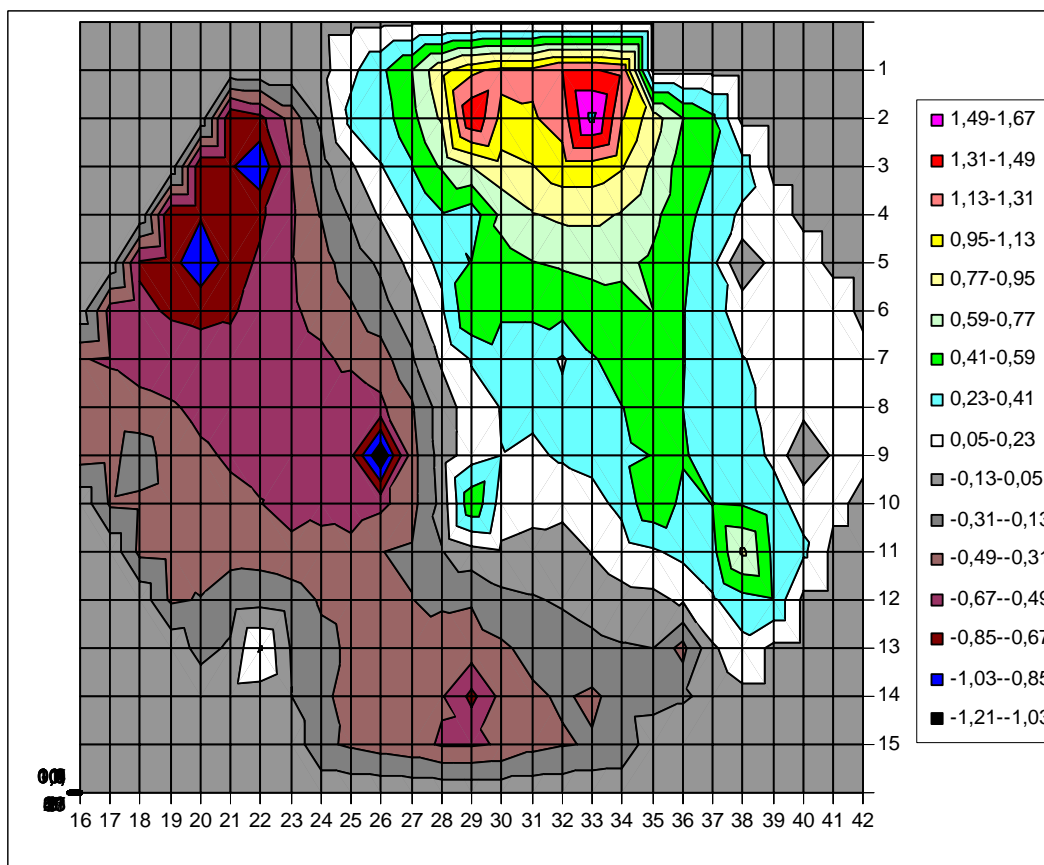
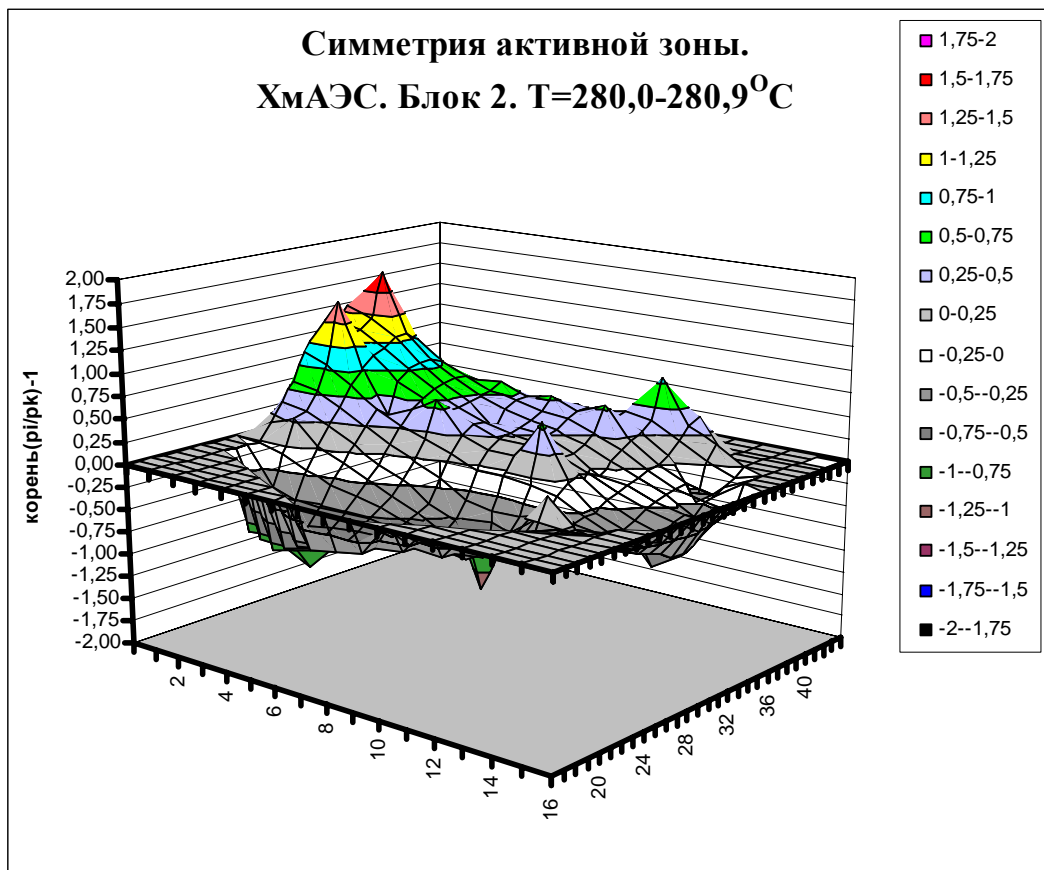


Рисунок 4. Форма распределения размножающих свойств активной зоны блока №2 ХмАЭС

Хотя коэффициент асимметрии на Хмельницкой АЭС в 2 раза меньше, чем на 3-х других блоках, соседнее расположение максимума (+1,72%) и минимума (-1,21%) «подозрительно» и является основанием говорить о какой-то ошибке. Напротив максимума наблюдается зона локального минимума. Скорее всего, экстремальный минимум должен быть именно там.

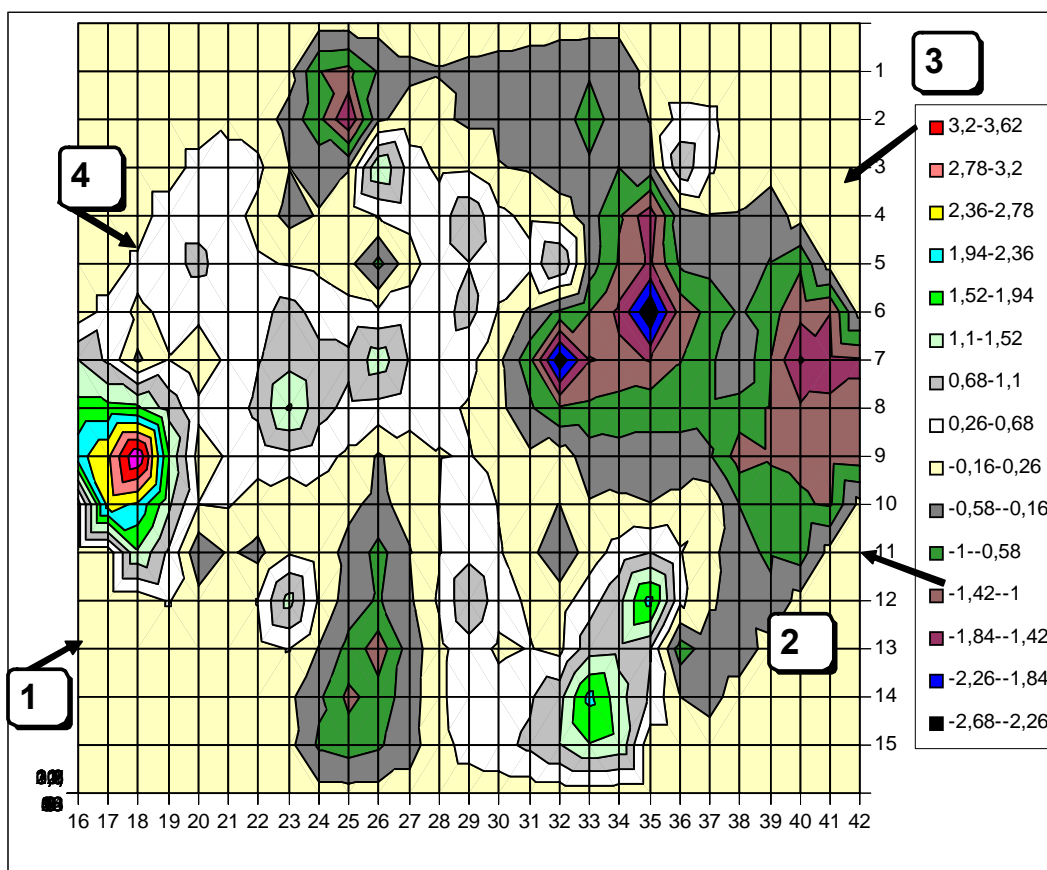
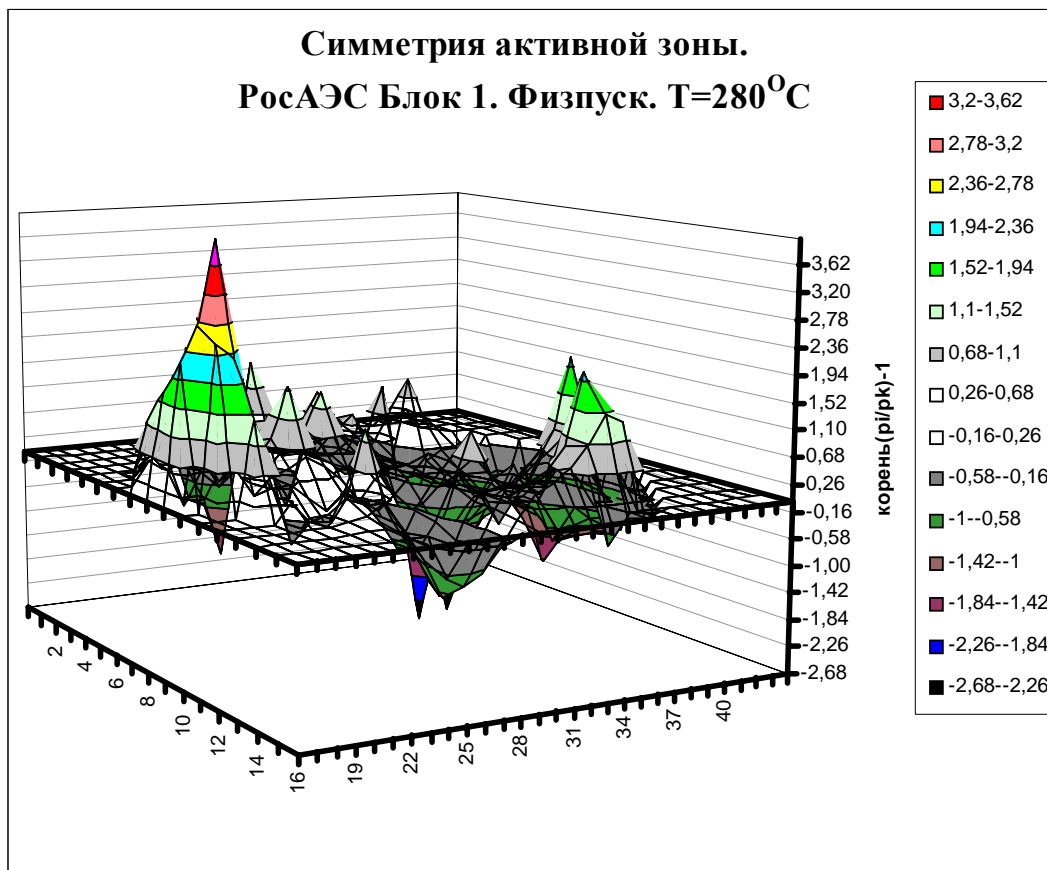


Рис. 5. Форма распределения размножающих свойств активной зоны блока №1 РосАЭС

В форме симметрии Ростовской АЭС обращают на себя внимание сразу два обстоятельства.

Первое. Положительный экстремум (+4,02%) гораздо больше отрицательного (-2,68%), и более чем в два раза (ближайший +2.1%) больше других положительных коэффициентов – это явный выброс (по величине).

Второе. Наличие многочисленных пиков, положительных в зонах отрицательных значений и отрицательных в зонах положительных значений, говорит о многочисленных ошибках либо при проведении измерений, либо при регистрации данных.

4.4 Вернемся к рисунку 1 и форме симметрии на блоке №1 Тяньваньской АЭС.

Показанная форма, особенно на виде сверху хорошо совпадает с результатами теплогидравлических измерений, например по определению коэффициентов перемешивания петлевых потоков теплоносителя или по определению температурного поля (если рассматривать формы распределения). Результаты этих измерений не являются темой данного доклада. Но совпадение распределения размножающих свойств активной зоны и, например, распределения коэффициентов влияния расходов и температур теплоносителя в холодных нитках петель на входную температуру теплоносителя в каждой ТВС позволяет говорить о том, что распределение температур и расходов в активной зоне является определяющим фактором асимметрии размножающих свойств.

Это видно из рисунков 6 и 7 для блока №1 Тяньваньской АЭС.

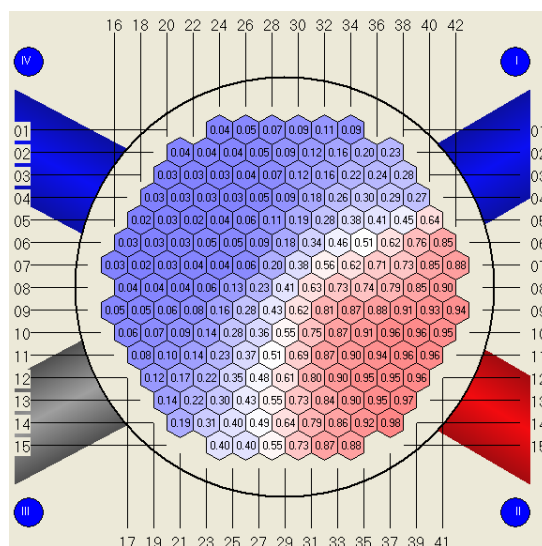


Рис. 6. Распределение коэффициентов влияния расходов и температур теплоносителя в холодных нитках петель на входную температуру теплоносителя в каждой ТВС. Расхолаживание через ПГ-2, ГЦН-3 отключен

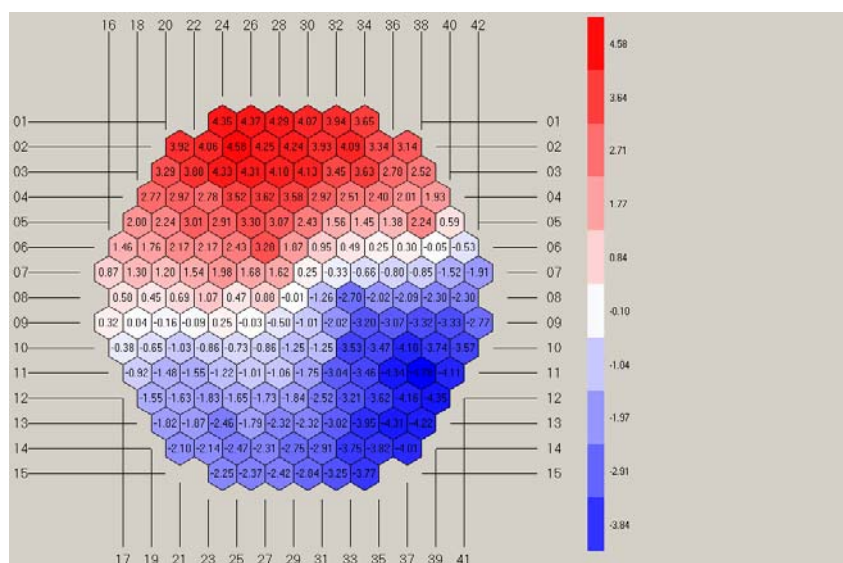


Рис. 7. Симметрия активной зоны

Картограммы построены с помощью специализированного программного обеспечения «Термополе» для обработки данных по испытаниям СВРК.

К сожалению, проблемы температурного контроля на ТАЭС, связанные с впервые примененным расположением датчиков непосредственно на входе в активную зону и непосредственно на выходе из нее, не позволяют пока построить две картограммы (температур и размножающих свойств) и продемонстрировать их идентичность. Но такие картограммы мы уже строили, например, при вводе в эксплуатацию блоков №1 и №2 АЭС Моховцы в Словакии, где отлаженность термоконтроля была на высоком уровне.

5 ВЫВОДЫ.

1 Анализ формы симметрии активной зоны позволяет оценить достоверность проведенных измерений.

2 Причиной существующей асимметрии размножающих свойств активной зоны является асимметрия распределения температур в активной зоне, связанная с неодинаковостью температур холодных ниток петель. Причем, в силу особенности конструкции трактов питательной воды ПГ, полная симметрия невозможна. Высказываемые ранее, в том числе в технической литературе, гипотезы о первопричинах асимметрии, связанных с разбросом обогащения либо количества делящегося вещества в ТВС или с неодинаковостью свойств выгорающих поглотителей или ОР СУЗ нужно признать ошибочными. Хотя, при проведении экспериментов после перегрузок эти факторы становятся доминирующими.

3 При проведении эксперимента по определению асимметрии размножающих свойств активной зоны при вводе блока в эксплуатацию следует обращать особое внимание на стабилизацию температуры, особенно между петлями 1 контура. Под стабилизацией температур между петлями следует понимать не ее одинаковость, а поддержание неизменным присущего данной реакторной установке состояния.

6 ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В заключение хотим поблагодарить:

Лидию Борисовну Губареву, ведущего специалиста РНЦ «Курчатовский институт» – автору идеи о связи размножающих свойств активной зоны с температурой холодных ниток петель и трактом питательной воды парогенераторов;

Юрия Васильевича Саунина, руководителя группы математического программного обеспечения внутриреакторного контроля Нововоронежского филиала ФГУП «Фирма «Атомтехэнерго» – за предоставленные материалы.