Министерство Российской Федерации по атомной энергии
Фирма " Атомтехэнерго "

Смоленский учебно-тренировочный центр

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора по технологии и качеству Смоленского УТЦ - Главный инспектор

_____М.А.Лютов
_____

Программа подготовки ВИУР

Курс теоретических знаний

ПРОГРАММА "ПРИЗМА"

Пособие обучаемого

СОГЛАСОВАНО

Зам. главного инженера - Руководитель СППО

_____В.П.Цыганков
_____

Разработал

Инструктор САЭС

_____А.В.Шипачев
_____

Десногорск
1999

СОДЕРЖАНИЕ

ЗАНЯТИЕ 1 Общие положения. описание алгоритмов расчета программы "Призма" 3

1.1 Технические предпосылки создания программы "Призма" 3
1.2 Задачи, решаемые программой "Призма" 3
1.3 Измеряемые и расчетные параметры 4

ЗАНЯТИЕ 2 Физрасчет. Расчет основных физических параметров 5

2.1 Максимальные мощности ТВС (Wmax) (60 шт.) 5
2.2 Расчет коэффициента запаса до критической мощности 8
2.3 Распределение мощности (мвт) и расходов воды ($м^3$ / час) по квадрантам. 9
2.4 Расчет температуры графитовой кладки 10

ЗАНЯТИЕ 3 Расчет основных параметров реактора11

3.1 Коэффициент неравномерности энерговыделения по радиусу $К_r$ 11
3.2 Теплотехническая надежность активной зоны Н 11
3.3 Тепловая мощность реактора Q_p 11
3.4 Мощность реактора по СФКРЭ – W_p 11
3.5 Полная энерговыработка реактора с начала его работы 11
3.6 Поправка текущего коэффициента 12
3.7 Аппаратурная константа рекомендуемая – $К_{ап}$ 12
3.8 Дисперсия случайной составляющей поля коэффициентов коррекции 12
3.9 Запас реактивности 14

ЗАНЯТИЕ 4 Алгоритмы и функции неоперативных расчетов 15

4.1 Возможности печати массовых параметров 16
4.2 Программные комплексы (варианты) и их назначение в СЦК "Скала" ... 17
4.3 Основные технологические функции СЦК "Скала" 17

Конечная учебная цель:

Объяснить алгоритмы расчета, описать рассчитываемые параметры и типы распечаток программы "Призма".

ЗАНЯТИЕ 1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ПРОГРАММЫ "ПРИЗМА"

Промежуточные учебные цели:

1 Объяснить технические предпосылки создания программы "Призма".
2 Назвать задачи, решаемые программой "Призма".
3 Перечислить измеряемые и расчетные параметры программы "Призма".

1.1 Технические предпосылки создания программы "Призма"

В процессе проектирования РБМК был выбран метод физического контроля энерговыделения в тепловыделяющих кассетах (ТВС), основанный на измерениях плотности, потока нейтронов.

Установка датчиков контроля энерговыделения по радиусу активной зоны (ДКЭР) в каждый топливный канал связана с выделением в реактор значительного количества поглощающих материалов, ухудшающих физические характеристики активной зоны РБМК. Поэтому был принят дискретный контроль энерговыделения, основанный на измерении 130 значений величин, прямо пропорциональных мощности ТВС с последующей интерполяцией полученных значений на остальные ТВС, не оснащенные датчиками.

Для обработки результатов дискретных измерений энерговыделения в СЦК "Скала" создана программа "Призма", которая предназначена для оперативного расчета эксплуатационных параметров реактора. Все расчеты проводятся на основе сигналов, поступающих в СЦК "Скала" от следующих систем:

- системы управления и защиты (СУЗ);
- системы физического контроля распределения энерговыделения по радиусу СФКРЭ (R) и высоте СФКРЭ (H);
- системы теплофизического контроля;
- системы термометрического контроля.

1.2 Задачи, решаемые программой "Призма"

Программа функциональна, разбита на две части: оперативную и неоперативную.

Оперативная программа непосредственно рассчитывает эксплуатационные параметры активной зоны реактора и осуществляет выдачу результирующей информации СИУРу на показывающий комплект (ПК-1,2), МТК.

К основным расчетным параметрам относятся:

- энерговыделение в каждой ТВС;
- коэффициенты запаса до предельно-допустимой мощности по ТК;
- тепловая мощность реактора по СФКРЭ;
- тепловая мощность реактора по тепловому балансу;
- распределение плотности потока нейтронов по высоте активной зоны;
- энерговыработка реактора ;
- коэффициенты неравномерности энерговыделения по высоте и радиусу активной зоны;

- оперативный запас реактивности на стержнях СУЗ;
- температура графита кладки;
- теплотехническая надежность активной зоны;
- паросодержание в ТК.

1.3 Измеряемые и расчетные параметры

Все эксплуатационные параметры реактора рассчитываются на основе измеряемых параметров, автоматически вводимых в СЦК "Скала" от систем технологического контроля.

К измеряемым параметрам относятся:

h_i - глубина погружения каждого стержня в метрах;

$i = 1 \div 211$;

I_i – сигнал от каждого ДКЭ(Р) в вольтах;

$i = 1 \div 130$;

I_{KS} - сигнал от каждой секции ДКЭН в вольтах

K – номер секции, $K = 1 \div 7$;

S – номер датчика, $S = 1 \div 12$;

$P_{нк}^{изб}$ – избыточное давление теплоносителя в каждом из двух напорных коллекторах, в кгс/см^2;

$P_{БС}^{изб}$ – избыточное давление теплоносителя в каждом из четырех барабан-сепараторах пара, в кгс/см^2 ;

$t_{гр}^{изм}$ – показания каждого ТЭТ, установленного в графитовой кладке;

G_i – расход теплоносителя через каждый ТК, в м^3/час. $i = 1661$;

$t_{вх}$ – температура теплоносителя во всасывающем коллекторе.

Контрольные вопросы достижения учебных целей:

1 Назвать основные задачи, решаемые "Призмой".
2 Назвать измеряемые и расчетные параметры.

ЗАНЯТИЕ 2 ФИЗРАСЧЕТ. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Промежуточные учебные цели:

1 Объяснить расчет мощности ТВС.

2 Объяснить расчет коэффициентов запаса до предельно-допустимой мощности ТК.

3 Объяснить расчет температуры графитовой кладки.

2.1 Максимальные мощности ТВС (Wmax) (60 шт.)

Методика расчета энерговыделения в каждой кассете использует в качестве исходных данных результаты физического расчета распределения энерговыделения, показания ДКЭ (Р), положений стержней СУЗ.

Физический расчет – это расчет мощности (квт) в каждом ТК реактора, полученный на основе решения двумерного диффузионного уравнения реактора в двухгрупповом диффузионном приближении.

Мощности ТК, полученные физрасчетом, являются базисными, остальные операции в программе "Призма" направлены на корректировку этих мощностей, подгонку под текущее состояние энерговыделения в реакторе.

Для приведения физрасчета к текущему состоянию необходимо провести коррекцию мощностей ТК на проведенные перегрузки топлива и текущее положение стержней СУЗ.

На рис. 1 изображена условная область влияния стержней СУЗ, в пределах которой проводится коррекция энерговыделения.

Текущее (принимаемое для дальнейших расчетов) энерговыделение физического расчета определяется по соотношению:

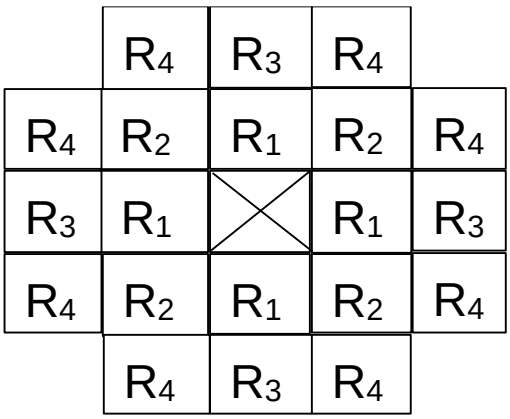
$$q'_{расч.\,j} = q^0_{расч.j} \bullet A_{ij} \qquad (2.1)$$

где

$$A_{ij} = \prod_{L=1}^{n} \xi_{СУЗ} - \qquad (2.2)$$

произведение коэффициентов учета влияния конкретного типа стержня СУЗ.

n – количество стержней СУЗ, область влияния которых распространяется на данный j – ый ТК.



- ячейка со стержнем СУЗ

R i - ячейка с ТК, отстоящем от стержня СУЗ на расстоянии R_i

Рисунок 1 – Область влияния стержней СУЗ.

Отклонения более 30 см при считывании положений стержней СУЗ СЦК "Скала" от показаний сельсинов недопустимы, т. к. приводят к неправильному расчету мощностей в районе этого стержня.

Для учета действия эффектов реактивности и неравновесного отравления ксеноном проводится коррекция мощностей по физрасчету на текущие показания ДКЭР. Для этого определяется мощность в каждом ТК с ДКЭР по формуле:

$$q_i = J_i \cdot K_{an} \cdot K_{гр\,i} \cdot \xi_{тд}(E_i) \cdot \xi_д(I_i) \qquad (2.3)$$

J_i - сигнал i-го ДКЭР в вольтах;

K_{an} – аппаратурная константа СФКРЭ, [мка / в];

$K_{гр}$ – абсолютный градуировочный коэффициент ДКЭР, [мвт / мка]

$\xi_{тд}$ – коэффициент, учитывающий изменение мощности ТК с ДКЭР от его энерговыработки;

$\xi_д$ - коэффициент, учитывающий изменение сигнала ДКЭР в связи с выгоранием эмиттера ДКЭР;

E_i - энерговыработка ТК $\left[\frac{\text{мвт} \cdot \text{сут}}{\text{ТК}}\right]$;

I_i – интегральный ток ДКЭР [мка /сут]

E_i , I_i , а, следовательно, коэффициенты $\xi_{тд}$ и $\xi_д$ пересчитываются один раз в сутки при проведении неоперативного расчета в 1,5 варианте. СЦК "Скала".

Далее находятся коэффициенты коррекции в ТК с ДКЭР по физрасчету:

$$V_i = \frac{q_{расч_i}}{q_{i.}} \qquad (2.4)$$

где q_i - мощность в ТК с i-ым ДКЭР, определенная по формуле (2.3),

$q_{i\,расч.}$ - мощность по физрасчету в ТК с i-ым ДКЭР, скорректированная на текущее положение стержней СУЗ по формуле (2.1).

Коэффициенты коррекции V_i являются случайными величинами, так как входящие в них значения токов ДКЭР, градуировочных коэффициентов, определяемых по измерению токов "образцовых" ДКЭР, не являются жестко фиксированными, а изменяются случайным образом относительно некоторого фиксированного значения, называемого математическим ожиданием данной величины. Поэтому случайную

величину V i можно представить суммой двух величин – детерминированной и "чисто" случайной, а расчет распределения энерговыделения можно разбить на два этапа.

1 Определение детерминированной составляющей / математического ожидания / коэффициентов коррекции с помощью аппроксимирующего полинома:

$$\tilde{V}_J = a_1 \bullet r_j^3 + a_2 \bullet r_j^2 + a_3 \bullet r_j + a_4 + a_5 \bullet r_j^2 \bullet \sin\varphi_j + a_6 \bullet r_j \bullet \sin\varphi_j + a_7 \bullet r_j^2 \bullet \cos\varphi_j + a_8 \bullet r_j \bullet \cos\varphi_j \quad (2.5)$$

где:

r_j – радиус нахождения j – го ТК от центра активной зоны;

φ_j – азимутальная координата j – го ТК.

Вид полинома был выбран по результатам теоретических и экспериментальных исследований.

Коэффициенты $a_1 \div a_8$ находятся методом наименьших квадратов на основе коэффициентов V_i в ТК с ДКЭР.

2 Определение случайной (центрированной) составляющей энерговыделения.

Операция определения случайной составляющей называется центрированием. Для i –го ДКЭР она равна:

$$\overset{0}{V}i = \frac{V_i - \tilde{V}}{\tilde{V}} = \frac{Vi}{\tilde{V}i} - 1 \quad (2.6)$$

Случайная составляющая для каждого ТК определяется по формуле:

$$\overset{0}{V}_J = \sum_{L=1}^{4} a_{ij} \bullet \overset{0}{V}_i \quad (2.7)$$

т.е. для каждого ТК выбирается 4 ближайших ДКЭР, причем для ТК с ДКЭР в это число входит и сам ДКЭР.

a_{ij} – интерполяционные коэффициенты, которые определяются из решения системы 4-х линейных уравнений.

Коэффициенты a_{ij} являются функцией расстояния ДКЭР от ТК, в котором вычисляется мощность, и определяют вклад показаний 4-х датчиков в мощность ТК, т.е. чем дальше ДКЭР находится от ТК, тем меньший вклад он вносит в мощность ТК. Эти коэффициенты рассчитываются при изменении решетки датчиков, что бывает при запрещении или "распрещении" ДКЭР.

Весовые коэффициенты рассчитываются в 1,5 варианте СЦК "Скала" (t = 1 час) обязательно при запрещении или "распрещении" ДКЭР.

Окончательное значение мощности ТК, включая ТК с ДКЭР, вычисляется по формуле:

$$W_J = q'_{расч} \bullet \tilde{v}_j \bullet \left(1 + \overset{0}{V}\right)[мвт] \quad (2.8)$$

(2.9)

2.2 Расчет коэффициента запаса до критической мощности

Кризисом теплоотдачи при кипении называется явление резкого ухудшения теплообмена на теплоотдающей поверхности, ведущее, как правило, к быстрому возрастанию ее температуры. Явление характеризуется критической тепловой нагрузкой, зависящей от структуры потока и распределения тепловыделения по высоте канала. Критическая тепловая нагрузка вычисляется с помощью сложных эмпирических зависимостей и громоздких интегральных формул, что неприемлемо для оперативного контроля параметра. Поэтому для оперативных вычислений используется понятие коэффициента запаса до критической мощности.

Для каждого ТК, не запрещенного по расходу воды и загруженного ТВС, рассчитывается критическая мощность, как функция значений давления в БС, расхода в ТК, температуры во всасывающем коллекторе.

$$W_{крj} = A(P_{БС}; G_j) - B(P_{БС}; G_j) \times t_{ВХ}$$

где $P_{БС}$ – давление

$t_{ВХ}$ – температура во всасывающем коллекторе ГЦН;

G_j – расход в ТК;

А; Б – таблично заданные эмпирические константы в зависимости от давления в соответствующем БС и расхода воды через ТК.

A (G,$P_{БС}$)

G \ P	60	62,5	65	67,5	70	72,5
10	4,796	4,831	4,865	4,898	4,931	4,963
17	7,284	7,34	7,4	7,46	7,5	7,56
24	9,616	9,7	9,78	9,86	9,93	10,0
31	11,853	11,96	12,05	12,16	12,26	12,35
38	14,02	14,15	14,27	14,39	14,51	14,63
45	16,13	16,28	16,43	16,57	16,72	16,85

B (G, $P_{БС}$)

G \ P	60	62,5	65	67,5	70	72,5
10	11,2	11,2	11,3	11,3	11,3	11,4
17	18,1	18,2	18,2	18,3	18,4	18,4
24	24,8	24,9	25,0	25,1	25,2	25,3
31	31,5	31,6	31,7	31,8	31,9	32,1
38	38,0	38,1	38,3	38,4	38,6	38,7
45	44,4	44,6	44,8	44,9	45,1	45,3

Далее рассчитывается условно – допустимая мощность, соответствующая заданной доверительной вероятности пребывания ТК в кризисе теплосъема.

$$W_{удj} = \frac{w_{крj} - \sqrt{W_{крj}^2 - C_1 C_2}}{C_1} \approx \frac{W_{крj}}{1{,}35}$$

Коэффициенты C_1, C_2 учитывают погрешность измерений и в среднем составляют величину 1,35

Коэффициент запаса до предельно-допустимой мощности.

$$K_{запj} = \frac{W_{удj}}{W_j} \approx \frac{W_{крj}}{1{,}35 \cdot W_j}$$

Смысл $K_{зап}$ -если критическая мощность канала достигнута, то где-то по высоте этого ТК может произойти недопустимый перегрев оболочки ТВЭЛ.

Расчеты показывают, что при уменьшении $t_{ВХ}$, на 1градус $K_{зап}$ увеличивается на 0,01 единицу.

При изменении значения $P_{БС}$ на 1 ата, $K_{зап}$ изменяется на 0,01.

При изменении расхода через ТК на 1м^3/час, $K_{зап}$ изменяется на 0,03.

На величину $K_{зап}$ влияет $Д_{П2}$ – дисперсия восстановления поля энерговыделения. $(10\%)^2$ в изменении $Д_{П2}$ приводит к изменению $K_{зап}$ на 0,01.

Поэтому необходим тщательный контроль за измерением данных параметров: $t_{ВХ}$, $P_{БС}$, $C_{ТК}$, $Д_{П2}$

2.3 Распределение мощности (мвт) и расходов воды (м^3 / час) по квадрантам.

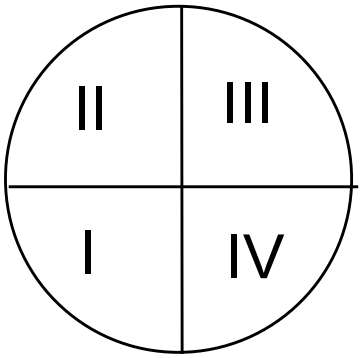


Рисунок 2 – Разбиение зоны на квадраты

Мощность i – го квадранта:

$$W_i = \sum_{j=1}^{m} W_{ТКj} \qquad (2.10)$$

m – количество ТВС в i – ом квадранте

Для загрузки с типовой решеткой 81 ДП и 1580 ТВС распределение по квадрантам следующее:

Таблица 1

квадранты, количество	I	II	III	IV
ТВС	395	388	397	400
ДП	21	22	19	19
СУЗ	49	52	49	49

$$G_i = \sum_{j=1}^{m} G_{TKJ}^{TBC} + \sum_{j=1}^{K} G_{TKj}^{ДП} + \sum_{j=1}^{n} G_{TK}^{CB} + \sum_{j=1}^{Z} G_{TK}^{3n} \qquad (2.11)$$

где m - количество незапрещенных по расходу ТК с ТВС

n - количество не запрещенных по расходу ТК с СВ;

к - количество не запрещенных по расходу ТК с ДП;

z – количество с запрещенными датчиками расхода.

G_{TK}^{TBC}; $G_{TK}^{ДП}$; G_{TK}^{CB} - расходы воды через j – ый ТК, ДП, СВ соответственно по показаниям расходомеров, м^3 / час.

G_{TK}^{3n} - принимаемый в СЦК расход через "запрещенный" ТК равный 40 м^3/час.

2.4 Расчет температуры графитовой кладки

Кроме эксплуатационных параметров реактора, представляемых в распечатке К 1 К, СИУР контролирует температуру графитовой кладки. Как непосредственно по показаниям ТЭТ, так и по расчетным значениям (распечатка К 2 Т).

Расчет температуры графитовой кладки проводится на основе показаний ТЭТ и мощностей ТК, определяемых программой "Призма". Температура графита описывается на каждом К – ом стыке четырех графитовых колонн в плоскости размещения центральных ТЭТ эмпирическим соотношением:

$$t_{ГК} = t_T + \alpha \overline{W}_к \varphi_к \qquad (2.12)$$

где t_{TH} – средняя температура теплоносителя в ТК, [^{0} С];

α - коэффициент пропорциональности, [^{0} С / мвт];

$\overline{W}$ - средняя мощность ТК, примыкающих к К-ому стыку, [мвт];

$\varphi_к$ – относительная плотность потока нейтронов по высоте в районе К – го стыка ($К_{zk}$).

Контрольные вопросы достижения учебных целей:

1 Объяснить принцип расчета $К_{зап}$.

2 Объяснить принцип расчета мощности ТВС.

ЗАНЯТИЕ 3 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА

Промежуточные учебные цели:

1 Объяснить понятие: Коэффициент неравномерности по радиусу и высоте.
2 Объяснить понятие: Тепловая мощность реактора.
3 Объяснить понятие: Запас реактивности.
4 Объяснить понятие: Дисперсия.

3.1 Коэффициент неравномерности энерговыделения по радиусу $К_r$

Коэффициент неравномерности энерговыделения по радиусу $К_2$ представляет собой отношение максимальной мощности ТВС к средней мощности ТВС.

$$К_r = \frac{W_j^{max}}{\overline{W}}; \qquad (2.13)$$

где

$$\overline{W} = \frac{W_p}{n_p}; \qquad (2.14)$$

W_p – полная мощность реактора по СФКРЭ;
n_p – количество ТВС.

3.2 Теплотехническая надежность активной зоны Н

Теплотехническая надежность активной зоны Н – представляет собой вероятность того, что ни в одном канале не возникнет кризис теплоотдачи. В связи с малой информативности данной величины расчет ее в "Призме" не производится.

3.3 Тепловая мощность реактора Q_p

Алгоритм расчета тепловой мощности реактора $Q_{p.}$ по тепловому балансу представлен в главе "Гидравлические характеристики КМПЦ".

3.4 Мощность реактора по СФКРЭ – W_p

Полная тепловая мощность реактора (мвт) определяется:

$$W_p = \sum_{j=1}^{n_p} W_j \qquad (2.15)$$

где W_j – мощность j – ой ТВС, рассчитанная по программе "Призма" (мвт);
n_p - количество ТВС.

3.5 Полная энерговыработка реактора с начала его работы

$$E_p = E_p^0 + t_{пр} \bullet W_p [мвт/сут] \qquad (2.16)$$

где E_p^0 - интегральная энерговыработка реактора на момент предыдущего оперативного расчета, программы "Призма", [мвт · сут.].

$t_{пр}$ - время, прошедшее с момента предыдущего оперативного расчета, в сутках.

$W_{пр}$ - полная мощность реактора по СФКРЭ, [мвт].

Для работы реактора в эффективных сутках определяется по формуле:

$$t_{эфф.сут.} = \frac{E_p}{3200} \qquad (2.17)$$

3200 - номинальная мощность реактора, (мвт).

3.6 Поправка текущего коэффициента

$$\eta = \frac{Q_p}{W_p} \qquad (2.18)$$

где Q_p – мощность реактора, мощность реактора, рассчитанная по тепловому балансу;

W_p – мощность реактора по СФКРЭ (используется сотрудниками ОЯБ).

3.7 Аппаратурная константа рекомендуемая – $К_{ап}$

В связи с тем, что значения мощностей реактора, определяемые методом теплового баланса и данным СФКРЭ могут отличаться, возникает необходимость приведения этих величин в соответствие, причем приоритет отдается тепловой мощности по тепловому балансу. Значение $К_{ап}$ неявно входит в расчет мощности реактора, выполняемой "Призмой" по данным СФКРЭ. Изменение $К_{ап}$ приводит к изменению расчетной мощности реактора.

Рекомендуемое значение $К_{ап}$* вычисляется по формуле:

$$К_{ап} \bullet \delta_1 + К_{ап} \bullet \eta \bullet \delta_2 \qquad (2.19)$$

где $К_{ап}$ – аппаратурная константа СФКРЭ (R), используемая в текущем расчете, мка/в.

$\delta_1 = 0{,}9$ и $\delta_2 = 0{,}1$ статистические "веса"

η - поправка текущего коэффициента.

Кап. изменяется довольно редко по результатам анализа за длительный период изменения мощности по тепловому балансу и СФКРЭ. Анализ и изменение $К_{ап}$ проводится сотрудниками ОЯБ.

3.8 Дисперсия случайной составляющей поля коэффициентов коррекции

$$Д_{n2} = \frac{\sum_{L=1}^{ng} \left(V_i^0\right)^2}{n_g - 1} - \sum_{i=1}^{ng} \frac{Д_{клi}}{n_g} \qquad (2.20)$$

где $Д_{клi}$ - дисперсия погрешности калибровки i – го ДКЭР, рассчитывается по результатам градуировки ДКЭР. Для неградуированных ДКЭР задается 40 $[\%]^2$.

$Дn_2$ является характеристикой точности расчета мощности.

В соответствии с письмом Главного конструктора при $Дn_2 < 30$ печатается Дn меньше $Дn_{мин} = 30$ и эта величина идет в расчет $К_{зап}$. При $Дn_2 > 30$ печатается расчетное значение.

$Дn_2$ характеризует также отличие поля энерговыделения по СФКРЭ от поля энерговыделения по физрасчету в ТК с ДКЭР.

При невыполнении для отдельных ДКЭР условия:

$$\left(\overset{0}{v}_i\right)^2 \le 3^2 \left(\frac{\sum_{L=1}^{ng} \overset{0}{V}_i{}^2}{n_{g-1}} \right) \qquad (2.21)$$

На телетайпе СЦК "Скала" выдается сообщение:

ПРОМАХИ ДКЭР координата $\overset{0}{V}_i$.

Причины для выхода в "промахи" ДКЭР:

a) Неправильно посчитаны мощности по физрасчету;

b) недостоверны показания ДКЭР;

c) допущены грубые ошибки при считывании положений стержней СУЗ СЦК "Скала", а также при обрыве стержня СУЗ (т.е. ДКЭР отрабатывают на реальное положение стержней СУЗ, а мощности по физрасчету посчитаны на положение стержней СУЗ, выдаваемых СЦК "Скала");

d) проведена перегрузка в районе ДКЭР и новый физрасчет не посчитан, а коррекция "старого" на проведенную перегрузку, выполняется с высокой погрешностью;

e) неправильно заданы градуировочные коэффициенты ДКЭР;

f) неправильно посчитаны коэффициенты $\xi_Д$ (I_i), $\xi_{тД}$ (I_i), (например, поставили новый ДКЭР, I_i = Ø, а коэффициент $\xi_Д$ не пересчитали, для расчета мощности берется старое значение);

g) $Дn_2$ возрастает в переходных режимах, например, при подъеме мощности. Причина следующая: физрасчет учитывает только стационарное отравление ксеноном, а датчики отрабатывают и динамику отравления. Поэтому в переходных режимах мощность ТВС определяется с большей погрешностью;

Обработка данных СФКРЭ-Н.

Расчет распределения энерговыделения по высоте делается для определения K_Z коэффициента неравномерности плотности потока нейтронов по высоте реактора для каждого S–го ДКЭ – Н.

Для каждой секции по всем сборкам ДКЭ (Н) рассчитывается плотность нейтронов:

$$Ф_{KS} = J^{в}_{KS} \bullet K^{в}_{град\,KS} \bullet K^{в}_{ап} \bullet \xi^{в}_{Д}\left(I_{KS}\right) \qquad (2.22)$$

где $J^{в}_{KS}$ - сигнал К-ой секции S – го ДКЭН, [в];

$K^{в}_{ап}$ - аппаратурная константа СФКРЭН, [мка / в];

$K^{в}_{градKs}$ - абсолютный градуировочный коэффициент для К – ой секции S – го ДКЭН, [нейтр. / см^2 · сек · мка];

$\xi^{В}_{Д}(I_{KS})$ - коэффициент, учитывающий выгорание эмиттера К–ой секции S–ого ДКЭН.

Далее для каждой сборки ДКЭН распределение по высоте реактора аппроксимируется выражением вида:

$$\tilde{Ф}_{KS} = \sum_{m=1}^{3} b_{ms} \sin \frac{(Z_К + \Delta H_{эфф})\pi \cdot m}{H + 2\Delta H_{эфф}} \qquad (2.23)$$

где b_{ms} – коэффициенты аппроксимации, определяемые методом наименьших квадратов на основе показаний ДКЭН;

$\Delta H_{эфф}$ – эффективная торцевая добавка активной зоны, [м];

Н – высота активной зоны, [м];

Z_K – расстояние от каждой секции любого S – го ДКЭН до верхней границы активной зоны с отражателем, [м];

Коэффициенты $в_1$, $в_2$, $в_3$ печатаются в распечатке К1К для каждого ДКЭН. Если подставить их в формулу ,то можно построить график распределения поля по высоте, в то время , как ДКЭН имеют дискретные показания в 7 точках.

Необходимость представления высотного энергораспределения непрерывной функцией возникает при определении эффективности каждого стержня для расчета оперативного запаса реактивности.

Коэффициент неравномерности распределения по высоте для каждой S–ой сборки ДКЭН вычисляется как:

$$K_{ZS} = \max\left(\bar{f}_{KS}\right) \tag{2.24}$$

K=1,2….7;
S=1,2 …..12
где

$$\bar{f} = \frac{\tilde{\Phi} \bullet 7}{\sum_{K=1} \tilde{\Phi}_{KS}} \tag{2.25}$$

относительное распределение, пронормированное на среднее.

3.9 Запас реактивности

Для расчета оперативного запаса реактивности (ρ) используется среднее распределение по высоте по всему реактору, которое печатается на распечатке К 1 К под заголовком "ср. распределение по вертикали" и текущее положение стержней СУЗ.

"Вес каждого стержня СУЗ находится по формуле:

$$\Delta\rho_\ell = \frac{\int_0^h \Phi_\ell^2(z)dz}{\sum_{L=1}^{211} \int_0^H \Phi_\ell^2(z)dz / 211} \tag{2.26}$$

где числитель – эффективность конкретного стержня с глубиной погружения/h;
знаменатель – средняя эффективность любого стержня СУЗ.

Оперативный запас реактивности на стержнях СУЗ:

$$\Delta\rho_{суз} = \tilde{\sum_{\ell=1}} \Delta\rho_\ell \tag{2.27}$$

$\Delta\rho_{СУЗ}$ - складывается из величин запасов реактивности на стержнях УСП, РР+АЗ+ПК-АЗ, АР1, АР2, АР3, каждая из которых представлена на распечатке К 1 К.

Кроме вышеперечисленных параметров в распечатке К 1 К выдаются координаты ТК с запрещенными расходомерами.

Контрольные вопросы:

1. Какие параметры печатаются в распечатке К1К?
2. Назвать основные признаки неисправности ДКЭ(R), учитываемые программой "Призма".

ЗАНЯТИЕ 4 АЛГОРИТМЫ И ФУНКЦИИ НЕОПЕРАТИВНЫХ РАСЧЕТОВ

Промежуточные учебные цели:

1. Объяснить каким образом производится ввод, корректировка физрасчета.
2. Объяснить порядок "распрещения", запрещения ДКЭ(R, H), Gтк.
3. Показать распечатки массовых параметров, и объяснить как проанализировать параметры.

Все неоперативные расчеты проводятся в 1,5 варианте СЦК "Скала".

1) **Расчет энерговыработки каждого ТК** производится ежесуточно при работе блока на номинальном уровне мощности в смену с 0 до 8 часов, или перед проведением перегрузки:

$$E_j = E_j^0 + W_j \bullet \Delta t \qquad (2.28)$$

где E_j^0 - энерговыработка j – го ТК на момент проведения предыдущего расчета, [мвт · сут / ТК];

W_j – мощность j – го ТК в момент проведения расчета, [мвт];

Δt – время между двумя последующими расчетами, [сут.];

2) Расчет интегральных токов ДКЭР и ДКЭН:

$$I_i = I_i^0 + J_i \Delta t \cdot K_{ап} \qquad (2.29)$$

где I_i^0 - интегральный ток i – го ДКЭР на момент проведения предыдущего расчета, [мка · сут.];

Δt – время между двумя последующими расчетами, [сут.];

J_i - сигнал i – го ДКЭР, [в];

$K_{ап}$ – аппаратурная константа СФКРЭ (Р), [мка / в].

Также рассчитываются интегральные токи ДКЭН по секциям. После расчета E_J, I_I обязателен пересчет коэффициентов $\xi_д$, $\xi_{тд}$. Эти расчеты с формированием новой МЛ требуют 30 ÷ 40 минут 1,5 варианта СЦК "Скала".

3) **Ввод нового физрасчета с перфоленты**.

С формированием новой МЛ требует 30 минут 1,5 варианта СЦК "Скала".

4) **Запрещение или "распрещение" одного или группы ДКЭР** с пересчетом весовых коэффициентов требует 1 час 1,5 варианта СЦК "Скала".

5) **Корректировка физического расчета в режиме непрерывных перегрузок**, требует 30 – 40 минут 1,5 варианта СЦК "Скала"для формирования новой МЛ.

В связи с тем, что физрасчет проводится 1 раз в неделю, а перегрузки проводятся ежесуточно, необходимо корректировать мощности по физрасчету на проведенные перегрузки. Для корректировки берется область:

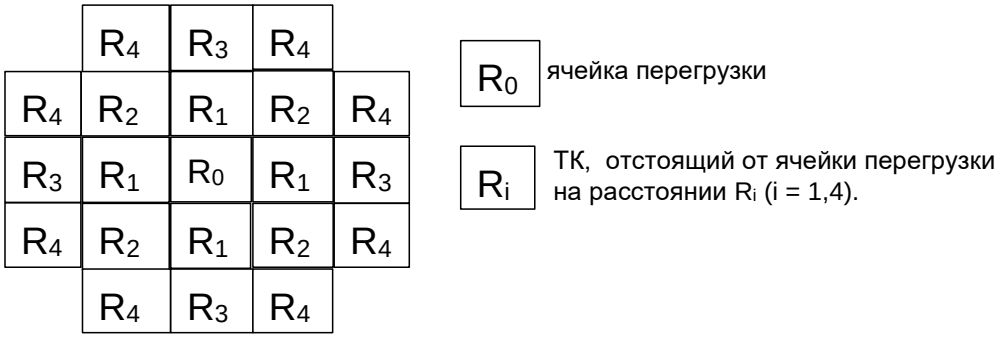


Рисунок 3 – Область корректировки мощности на проведенные перегрузки.

В случае перегрузок ТВС на ТВС коррекция проводится по формуле:

$$q'_{\text{расчj}}(R_i) = \frac{q^0_{\text{расчj}}(R_i)\xi_{\text{ТК}}(E'_j, R_i)}{\xi_{\text{ТК}}(E^0_J, R_i)} \qquad (2.30)$$

где $q'_{\text{расч j}}(R_i)$ - мощность по физрасчету после перегрузки на радиусе R_i, включая R_0;

$q^0_{\text{расч j}}(R_i)$ - мощность по физрасчету до перегрузки на радиусе R_i, включая R_0;

$\xi_{\text{ТК}}(E^0_j, R_i), \xi_{\text{ТК}}(E'_j, R_i)$ - коэффициенты учета изменения мощности ТК в области перегрузки и самой ячейке перегрузки в зависимости от энерговыработки выгружаемого E^0_j и загружаемого E' ТК соответственно.

4.1 Возможности печати массовых параметров

На АЦПУ могут быть выведены картограммы:

1 КОК – картограмма усредненных расходов воды через ТК ($м^3$ / час), абсолютных мощностей ТК (Мвт), коэффициентов запаса до условно-допустимой мощности $К_{зап}$ с указанием загрузки активной зоны и положения стержней СУЗ.

2 К1Х – картограмма паросодержания теплоносителя на выходе из ТК (%), абсолютных мощностей ТК (мвт) и среднеквадратичной погрешности определения относительного энерговыделения ($\sqrt{Дv_j}$) с указанием загрузки активной зоны и положения стержней СУЗ.

3 Картограмма мощностей по физрасчету (десятки квт) и энерговыработок ТК (мвт · сут / ТК).

4 Картограмма токов ДКЭР (мв).

5 Картограмма абсолютных градуировочных коэффициентов ДКЭР (Мвт / мка · 10^3).

6 Картограмма дисперсий погрешности калибровки ДКЭР [$\%^2$].

7 Картограмма коэффициентов $\xi_{\text{тд}}$ (Е).

8 Картограмма коэффициентов $\xi_{\text{д}}$ (I).

9 Картограмма интегральных токов ДКЭР (мка · сут.).

10 Картограмма положений стержней СУЗ (м).

11 Таблица сигналов ДКЭН (мв).

12 Содержимое буфера глобальных данных – БГД (исходные константы для программы "Призма").

13 Картограмма уставок безопасности ДКЭР.

4.2 Программные комплексы (варианты) и их назначение в СЦК "Скала"

Аппаратура вычислительного комплекса СЦК "Скала" состоит из двух независимых процессоров / В – 30 М /, двух независимых каналов доступа к аппаратуре объекта управления, аппаратуры связи с комплектом внешних устройств, которая позволяет двум процессорам работать с внешними устройствами.

В вычислительном комплексе СЦК "Скала" каждый процессор имеет персональную память 28 Килобайт (К), и 8 К общей памяти для двух процессоров.

Вариант 1,5 – в работе один процессор В – 30 М с общей памятью, со всеми устройствами связи с объектом, с внешними устройствами. Вариант 2,0 – в работе два процессора с общей памятью, внешними устройствами.

Математическое обеспечение СЦК "Скала" содержит программные комплексы для двух аппаратных комплексов.

Выбор конфигурации аппаратуры и соответствующего программного комплекса 1,5 или 2,0 определяется СДИВТом с учетом ряда обстоятельств:

- режима эксплуатации энергоблока;
- необходимости проведения вспомогательных работ на втором процессоре;
- необходимости выполнения регламентных, профилактических, ремонтных и проверочных работ на втором процессоре.

4.3 Основные технологические функции СЦК "Скала"

Таблица 2

№ п/п	Технологическая функция	Вариант	
		1,5	2,0
1	2	3	4
1.	Контроль расходов воды.	+	+
2.	Контроль температуры газа /КЦТК/	+	+
3.	Контроль индивидуальных коммутируемых и расчетных параметров /КИКП и КИРП/	+	+
4.	Измерение по вызову измеряемых и вычисляемых параметров.	+	+
5.	Запись – измерение уставок	+	+
6.	Диагностическая регистрация аварийных ситуаций /ДРЕГ/	+	+
7.	Периодический расчет по канальных мощностей, коэффициентов запаса, запаса реактивности (программа "Призма".	-	+
8.	Периодическая регистрация параметров на самописцах.	+	+
9.	Выдача информации на НТК по запросу.	+	+
10.	Массовая печать параметров на АЦПУ, выдача перфолент.	-	+