

*М. С. Боярский, Д. А. Глушкова, С. Е. Козлов*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск msb10@tpu.ru

## ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРНОГО И ПАРОВОГО ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ В ЯДЕРНОМ РЕАКТОРЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ВК-300

*В работе представлены результаты нейтронно-физического расчёта мало мощной реакторной установки ВК-300. Произведена оценка эффектов реактивности в результате разогрева активной зоны ядерного реактора. Полученные результаты свидетельствуют о самозащищенности ядерного реактора.*

Ключевые слова: ядерная энергетика; нейтронно-физический расчёт; кипящий ядерный реактор; ВК-300.

*M. S. Boyarsky, D. A. Glushkova, S. E. Kozlov*

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

## ESTIMATION OF TEMPERATURE AND STEAM REACTIVITY EFFECTS IN THE VK-300 NUCLEAR REACTOR OF LOW POWER

*The paper presents the results of the neutron-physical calculation of the low-power reactor installation VK-300. The evaluation of reactivity effects as a result of the heating of the core of a nuclear reactor was made. The results show that the nuclear reactor is self-protecting.*

Key words: nuclear energy; neutron-physical calculation; boiling nuclear reactor; VK-300.

Одним из перспективных направлений обеспечения электроэнергией удалённых населённых пунктов и производств является проектирование АЭС с реакторными установками малой

мощности. Реактор малой мощности ВК-300, с электрической мощностью 250 МВт, является кипящим водо-водяным реактором, среднее объёмное паросодержание в котором равна 35 %. Температура пара на выходе из реактора 285 °С и его давление 70 атм., обогащение топлива по  $U^{235}$  4 %. Внутренняя конструкция активной зоны базируется на ядерных реакторах типа ВВЭР-1000 [1].

Наличие пара в активной зоне сильно изменяет нейтронно-физические характеристики любого реактора, что высвобождает либо запасает реактивность. Для безопасной работы ядерного реактора необходимо знать температурный и паровой эффекты реактивности.

В работе [2] подробно описана методика нейтронно-физического расчёта ядерных реакторов, основанная на методе многих групп, с помощью которого можно оценить коэффициент размножения нейтронов в среде, а значит и реактивность реактора.

Для холодного состояния реактора, в котором температура всех его элементов равна 300 К, значение реактивности оказалось равным 0,2538. Для горячего состояния, в котором средняя температура ядерного топлива равна 1200 К, оболочки ТВЭЛ – 573 К, теплоносителя – 543 К, значение реактивности оказалось равным 0,2243.

Из этого следует, что температурный эффект реактивности отрицательный, его можно оценить следующим образом:

$$\rho_T = \rho_{гор} - \rho_{хол} = -0,0295, \quad (1)$$

где  $\rho_T$  – температурный эффект реактивности;

$\rho_{гор}$  – реактивность горячего реактора;

$\rho_{хол}$  – реактивность холодного реактора.

Кроме температурного эффекта реактивности для данного реактора необходимо знать паровой эффект реактивности. Для этого необходимо учитывать наличие пара в активной зоне реактора, изменяющего плотность теплоносителя:

$$\rho_{H_2O} = \rho_{воды} \cdot (1 - \varphi_*) + \rho_{пара} \cdot \varphi_* = 0,495 \frac{\Gamma}{\text{см}^3}, \quad (2)$$

где  $\rho_{H_2O}$  – средняя плотность теплоносителя в активной зоне;

$\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды, равная 0,7416 г/см<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{пара}}$  – плотность пара, равная 0,037 г/см<sup>3</sup>;

$\varphi_*$  – среднее объёмное паросодержание в активной зоне, равное 35 %.

Значение реактивности при данном содержании пара равно 0,1698. Видно, что, по сравнению с прошлым значением реактивности, приведённая величина сильно уменьшилась. Это характеризует паровой эффект реактивности, его оценка выглядит следующим образом:

$$\rho_{\text{п}} = \rho_2 - \rho_1 = -0,0545, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{п}}$  – паровой эффект реактивности;

$\rho_1$  – реактивность при отсутствии пара;

$\rho_2$  – реактивность при объёмном паросодержании 35 %.

Так как температурный и паровой эффекты реактивности отрицательны, реактор обладает свойством самозащищённости. При неконтролируемом увеличении мощности, реактивность будет уменьшаться, что приведёт к стабилизации мощности на некотором уровне.

#### Список использованных источников

1. Реакторные установки атомных станций малой мощности / А. Н. Ачкасов, Е. В. Гольцов, Г. И. Гречко, Ю. Н. Кузнецов // Атомная энергия. 2012. Т. 113, вып. 1. С. 43–48.
2. Головацкий А. В. Организация итерационного процесса при численном восстановлении спектра нейтронов в размножающей среде с графитовым замедлителем / А. В. Головацкий, В. Н. Нестеров, И. В. Шаманин // Известия высших учебных заведений. Физика. 2010. Т. 53, № 11. С. 10–14.