



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО КОДА NESTLE ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НА АЭС

В. В. Гальченко,

ассистент кафедры АЭС и ИТФ Национального Технического Университета Украины "КПИ"

Программный продукт NESTLE написан на языке Fortran77. NESTLE решает малогрупповое уравнение диффузии используя пространственный нодальный метод (NEM).

$$\nabla D \nabla \Phi_g + \Sigma_{t,g} \Phi_g = \sum_{g'=1}^G \Sigma_{vgg'} \Phi_{g'} + \frac{\chi_g}{k} \sum_{g'=1}^G \nu_{g'} \Sigma_{fg'} \Phi_{g'}$$

где D - коэффициент диффузии (см); Φ - нейтронный поток (см⁻²с⁻¹); Σ_t - полное макроскопическое сечение (см⁻¹); $\Sigma_{vgg'}$ - сечение перехода из группы в группу; χ - выход нейтронов деления; k - эффективный коэффициент размножения; ν - среднее число нейтронов на один акт деления; Σ_{fg} - макроскопическое сечение деления.

Для решения малогруппового уравнения диффузии, возможно, задать различные граничные условия: нулевой поток, не входящий поток, отражение и циклические граничные условия.

NESTLE может решать задачу на собственные значения (нахождение критического состояния), задачу на сопряженные собственные значения, получение стационарного состояния с внешними фиксированными источниками, или на собственные значения вводимых переходных задач. Название NESTLE происходит от его возможностей к многозадачным расчетам, аббревиатура Нодальный на Собственные значения, Стационарное состояние, Переходной процесс, активной зоны расчетчик. Задача на собственные значения позволяет находить критическое состояние по одной из установленных переменных: концентрация В¹⁰, входная температура теплоносителя, положение органов регулирования или мощность активной зоны.

Для расчетов используются две или четыре группы, причем все эти группы могут быть тепловыми, при желании (с учетом рассеивания вверх). Моделирование геометрии активной зоны включает квадратную и гексагональную геометрии. Возможен расчет трех, двух и одномерной задачи. Включены различные симметрии активной зоны: для квадратной геометрии: 1/4, 1/2 и полная зона; для гексагональной геометрии: 1/6, 1/3 и полная зона. Утечки в поперечном направлении описываются квадратичным полиномом или константами для квадратной или гексагональной геометрии соответственно. Факторы дисконтирования (DFs) используются для коррекции ошибок гомогенизации. Для переходного процесса вводят число групп предшественников запаздывающих нейтронов.

Моделируются процессы, связанные с I-Xe и Pm-Sm переходами. Эти процессы, возможно, моделировать совместно, раздельно, а также возможно исключить их из расчета.

Данные по макроскопическим сечениям вводятся для различных композиций, положений органов регулирования (т. е. введены или выведены) и выгорания в зависимости от плотности и температуры теплоносителя, эффективной температуры топлива и концентрации В¹⁰, если она задается. Сечения рассчитываются по следующей зависимости:

$$\bar{\Sigma}_{xg} = a_{1,xg} + \sum_{n=1}^2 a_{(n+1),xg} (\Delta\rho_c)^n + a_{4,xg} \Delta T_c + a_{5,xg} \Delta \sqrt{T_{fuel}} + \sum_{n=1}^3 a_{(n+5),xg} (\Delta N_{sp})^n$$

где:

$\bar{\Sigma}_{xg}$ - макроскопическое сечение типа x и g -ой энергетической группы без учета коррекции переходных продуктов деления;

$a_{i,xg}$ - коэффициенты полинома;

$\Delta\rho_c = \rho_c - \rho_c^{(0)}$ - изменение плотности (г/см³) теплоносителя от указанных условий;

$\Delta T_c = T_c - T_c^{(0)}$ - изменение температуры теплоносителя (°F) от указанных условий;

$\Delta \sqrt{T_{fuel}} = \sqrt{T_{fuel}} - \sqrt{T_{fuel}^{(0)}}$ - изменение корня квадратного эффективной температуры топлива (°F) от указанных условий;

$\Delta N_{sp} = N_{sp} - N_{sp}^{(0)}$ - изменение концентрации В¹⁰ (см⁻³*10⁻²⁴) от указанных условий.

Коэффициенты $a_{j, \alpha}$ полинома аппроксимацией массива макроскопических сечений типа χ , полученных при изменении одного из выше описанных параметров.

Теплогидравлические характеристики активной зоны моделируются посредством введения коэффициентов для полиномов. Порядок полинома также задается в исходных данных.

Подготовка исходных данных для NESTLE осуществляется программами, использующими многогрупповые методы расчета, такие как Casmo, WIMS, Kassetta, SRAC и другие.

В данном докладе представлена созданная модель реактора ВВЭР-440 (РАЭС 1) и результаты проведенного, на ее основе, переходного процесса. Необходимо отметить, что подобная модель и подобный анализ был проведен также и для реактора ВВЭР-1000 (ЗАЭС 5).

При создании модели активной зоны для реакторной установки В-213 по высоте активная зона разбивалась на 12 участков, из которых 10 слоев топливных материалов и два слоя (верхний и нижний) отражателя. В радиальном направлении активная зона, также, представляет собой 12 колец, которые включают в себя топливо, кассеты экран (КЭ) и отражатель (два последних кольца).

Активная зона в радиальном направлении имеет вид шестигранника (рис. 1) и, моделировалась, как набор шестигранных призм.

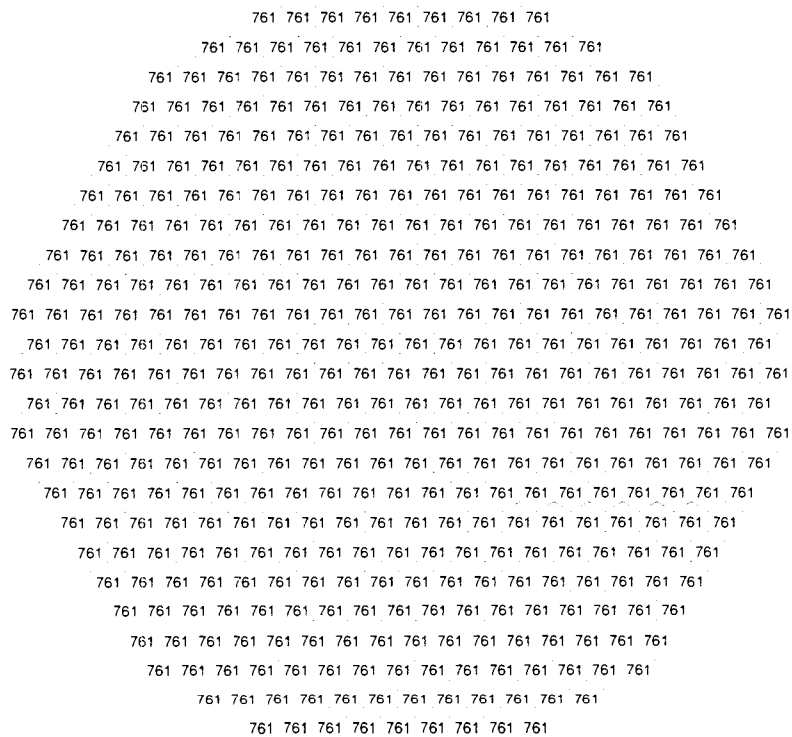


Рисунок 1. Модель одного слоя по высоте активной зоны

Параметры стационарного состояния блока перед началом переходного процесса представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры стационарного состояния блока

Параметр	Единицы измерения	Значение
Период 17-th кампании	Эффективные сутки	213.6
Тепловая мощность реактора	МВт	1359
ТГ-1/ТГ-2 электрическая мощность	МВт	210.0/210.3
Давление в первом контуре	МПа	12.14
ГПК-1/ГПК-2 давление	МПа	4.25/4.28
Температура теплоносителя горячей петли (Усредненная по петлям)	°С	295.4
Усредненный по петлям перепад температур теплоносителя	°С	31.0

В работе находилось шесть ГЦН и шесть ПГ.

Следующие регуляторы находились в режиме автоматического регулирования:

- автоматический регулятор мощности (АРМ-5С в режиме "N");
- регуляторы уровня в ПГ (RPO) и ТПН (RPR);
- регулятор уровня в ПГ и давления в первом контуре.

Представленный переходной процесс - спонтанный ввод одной рабочей кассеты из верхнего положения (кассета N262 группы N2) в активную зону (25-50 сантиметра от низа активной зоны), при положении рабочей группы на уровне 187 сантиметра.

После начала переходного процесса АРМ-5С автоматически отработала по сигналу понижения нейтронной мощности. После 80 секунд, уровень мощности составил 1332 МВт, оператор попытался понизить мощность реактора, воздействуя в ручном режиме на АРМ-5С. После 100 секунд уровень мощности составил 1386 МВт, действия оператора направлены на снижение мощности путем устранения причины переходного процесса.

В результате расчета были получены: распределение температуры теплоносителя по активной зоне, значения коэффициентов неравномерности, параметры реактивности и др. Результаты расчета сравнивались с результатами расчета компьютерного кода BIPR-7A.

Полученные результаты представлены на рис. 2-4. Видно, что согласование результатов лежит в пределах 10 %.

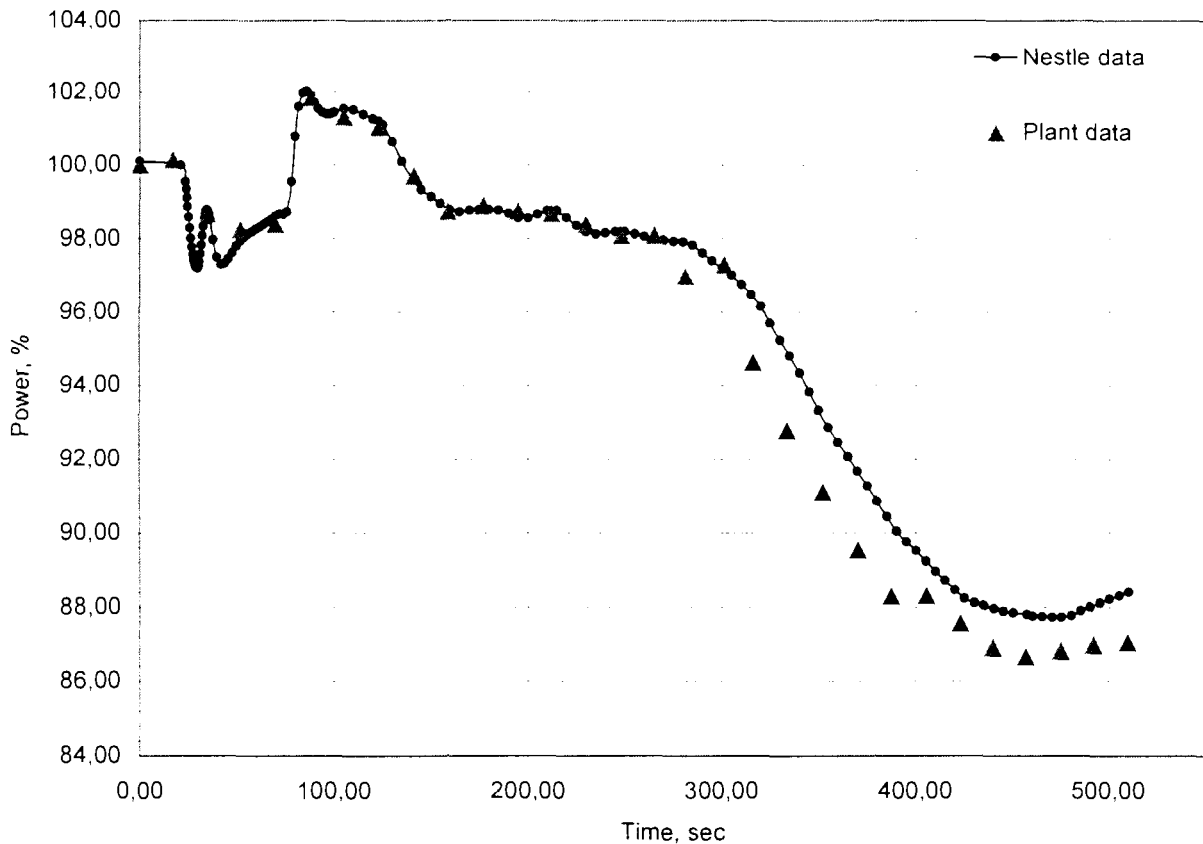


Рисунок 2. Изменение тепловой мощности реактора

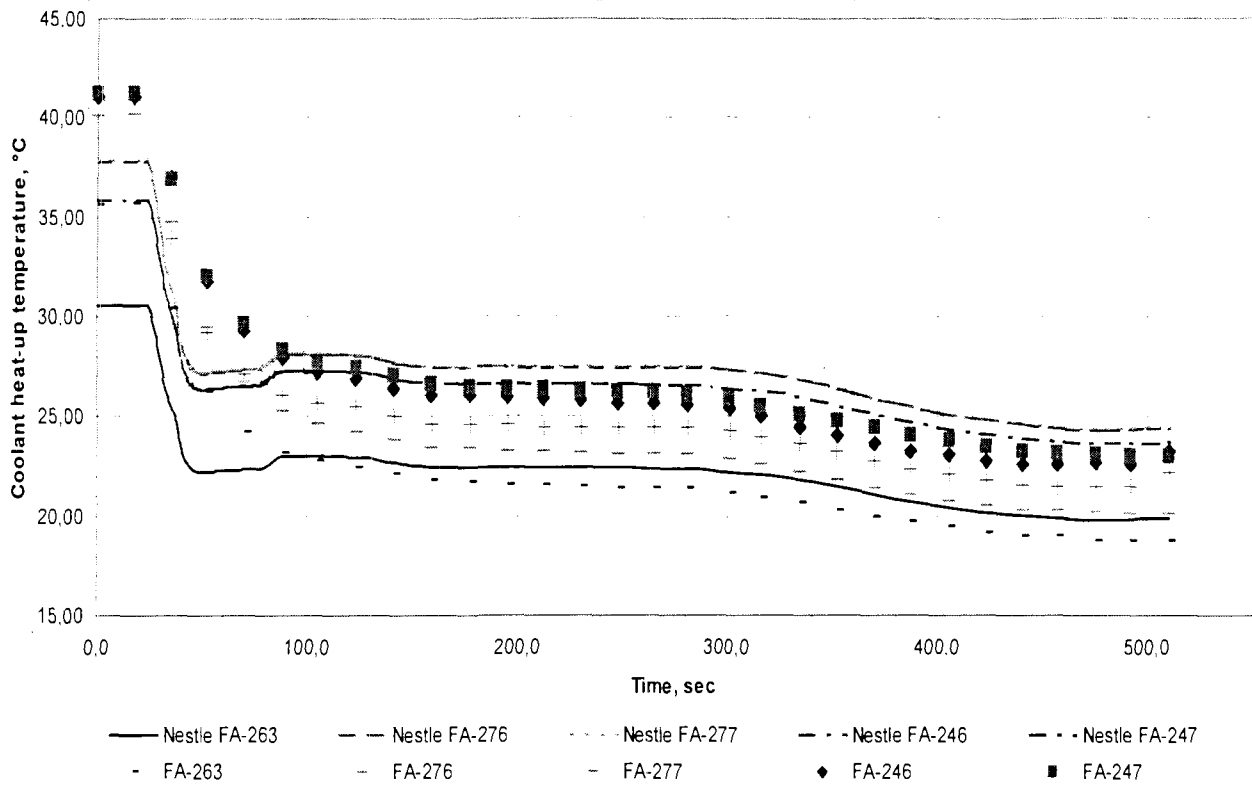


Рисунок 3. Изменение температуры теплоносителя в тепловыделяющих сборках N 246, 247, 263, 276, 277

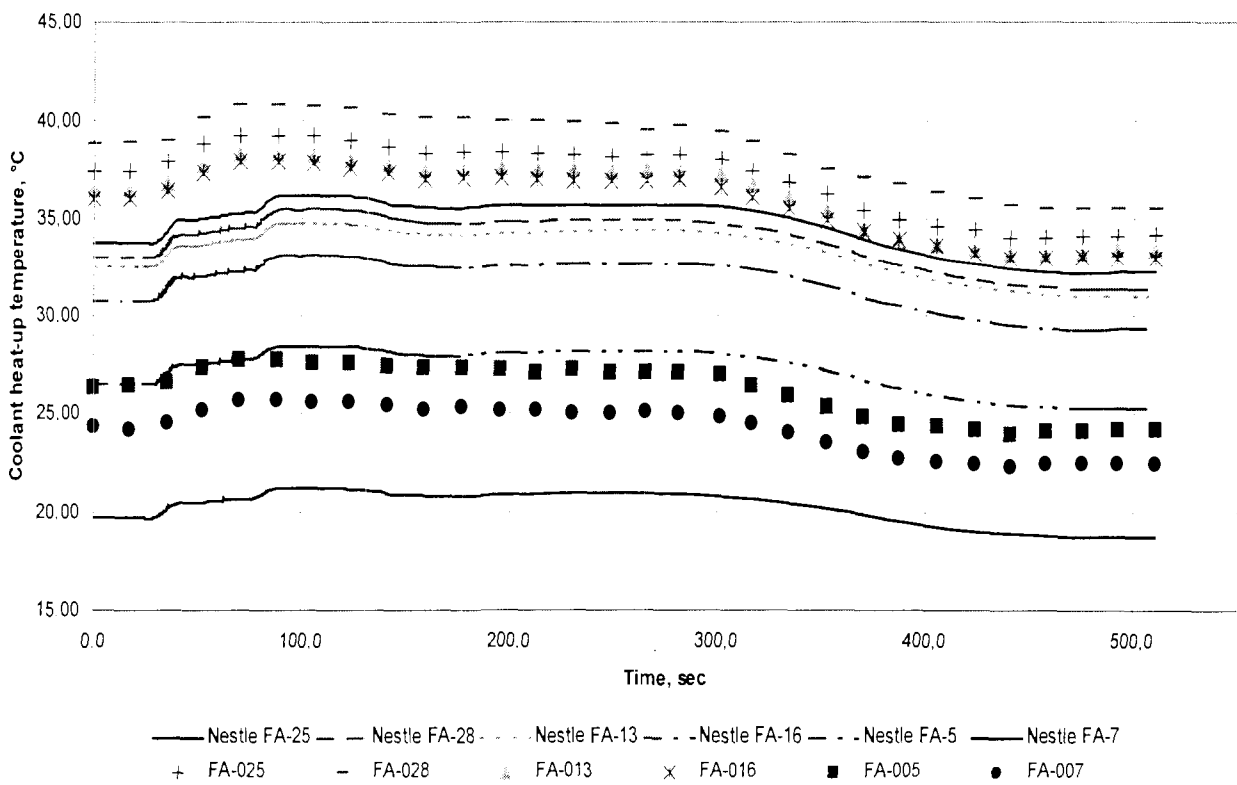


Рисунок 4. Изменение температуры теплоносителя в тепловыделяющих сборках N 5, 7, 13, 16, 25, 28

Заключение

Компьютерный код NESTLE предоставляет широкие возможности в области исследования переходных процессов реакторной установки. Он дает возможность анализировать как "быстрые", так и "медленные" переходные процессы.

Автор выражает благодарность сотрудникам КГУ и ИПЭ АЭС А. М. Шкарупе, Н. А. Трофимовой, И. Н. Каденко, В. И. Борисенко за возможность участия в проекте по анализу переходных процессов ВВЭР.

Автор также выражает благодарность А. Болибок (ЭИС, г. Энергодар), А. Абдуллаеву (Запорожская АЭС), В. Борис и А. Пономаренко (Ровенская АЭС) за предоставление стационарных данных и выполнение расчетов стационарных состояний с использованием кода VIPR-7A.

Автор выражает благодарность J. Roglans, T. Taiwo and J. Cahalan (Аргоннская национальная лаборатория) за полезные обсуждения моделей кодов WIMSD-5B и NESTLE.

Литература

1. Kadenko I., Borissenko V., Shkarupa A., Trofimova N., Galchenko V., 1999. "Neutron Kinetics Model Development for VVER-1000 Reactor". Proceedings, 4th International Information Exchange Forum on Safety Analysis for NPPs of VVER and RBMK Types, 11-15 October, 1999; Obninsk.
2. J. R. Askew et al., A general description of the lattice code WIMS, Journal of the British Nuclear Energy Society 5 (1) p.p. 564-584, 1966.
3. M. J. Halsall, C. J. Taubman, The WIMS '1986' Nuclear Data Library, AEEW-R 2133, 1986.
4. P. J. Turinsky, R. M. K. Al-Chalabi, P. Engrand, H. N. Sarsour, F. X. Faure, W. Guo, NESTLE: A few-group neutron diffusion equation solver utilizing the nodal expansion method for eigenvalue, adjoint, fixed-source steady-state and transient problems. EGG-NRE-11406. June 1994.