

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА РЕАКТОРА И ЗАЩИТЫ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ОРДИНАТ «PMSNSYS-II»

А.А. Николаев

В ОКБ «ГИДРОПРЕСС» начиная с 2003 г. выбор и обоснование радиационной защиты проектируемых РУ с ТЖМТ выполнялось с использованием детерминистических DS_N -кодов комплекса РЕАКТОР-ГП, реализующих стандартные X-Y-Z и R- Θ -Z геометрии.

К сожалению, решение вопросов обоснования защиты, связанных с необходимостью гетерогенного сеточного описания образующих ее конструкций или с необходимостью учета эффектов протрельного излучения по каналам и щелям в ней – оказываются трудновыполнимыми с использованием X-Y-Z и R- Θ -Z сеток ввиду необходимости применения локальных сгущений пространственной сетки, что неизбежно приводит к увеличению размерности всей задачи в целом, иногда значительному.

Наиболее практично решение подобных проектных задач выполнять на сетках, обеспечивающих полную (в необходимой пользователю мере) согласованность с расчетной областью. В настоящее время в России и за рубежом в связи с развитием вычислительной техники находят практическое применение программы, реализующие решение уравнения переноса ионизирующего излучения на сетках, составленных из произвольных тетраэдров и/или гексаэдров – РАДУГА-Т (ИПМ РАН им. М.В. Келдыша), модуль MKE3D программы ODETTA (ИБРАЭ РАН), ATTLA (Transpire Inc., США), NIKE-ATHENA (LANL, США).

В ОКБ «ГИДРОПРЕСС» для решения обозначенных проблем в 2016 г. разработан собственный DS_N -код PMSNSYS-II для расчетов активной зоны и радиационной защиты проектируемых РУ с ТЖМТ со следующими функциональными особенностями:

- многогрупповой DS_N -метод дискретных ординат, DDL-схемы 2-го порядка точности с нулевой коррекцией отрицательных потоков;

- сетки из произвольных гексаэдров (в общем случае с неплоскими гранями ячеек) с произвольным стыкованием ячеек сетки друг с другом (рисунок 1) – количество граней соседних ячеек, прилегающих к конкретной грани отдельной ячейки, допускается в количестве до 127, при этом грани соседних ячеек необязательно должны быть вписаны в нее полностью;

- встроенный аппарат конструирования ES_N -квадратур и квадратурных наборов, получаемых вращением узлов вокруг оси аппликат, с возможностью последующего локального уплотнения узлов (рисунок 2);

- представление источника рассеяния в P_M -приближении;

- групповая энергетическая зависимость квадратурных наборов и P_M -приближения;

- специальные граничные условия (в любых их сочетаниях) – периодичности на произвольных внешних гранях ячеек сетки, отражения и поворотной симметрии на внешних гранях ячеек с произвольной ориентацией граней (параллельной и/или перпендикулярной плоскости XOY);

- ускорение внутренних и внешних итераций, распараллеливание вычислений интеграла столкновений с использованием технологии OpenMP, выполнение вычислений под управлением ОС семейств Windows и Linux.

Научная и практическая новизна работы – реализация возможности выполнения вычислений на произвольных гексаэдрических сетках с произвольным способом стыкования ячеек. В отличие от программ-аналогов реализованный подход позволяет подробно и одновременно более экономно строить сеточные модели РУ с ТЖМТ с высоким качеством ячеек – до 10-15 и более раз по их количеству (что также пропорционально экономит время вычислений). Становится возможным в рамках единого расчета осуществлять полномасштабное моделирование реактора и защиты с минимизированным вкладом в результат погрешности от пространственных упрощений (пространственной гомогенизации) и одновременно методически точно осуществлять учет эффекта протрела излучения по

каналам, щелям и зазорам в конструкциях (при условии использования подходящих квадратурных наборов).

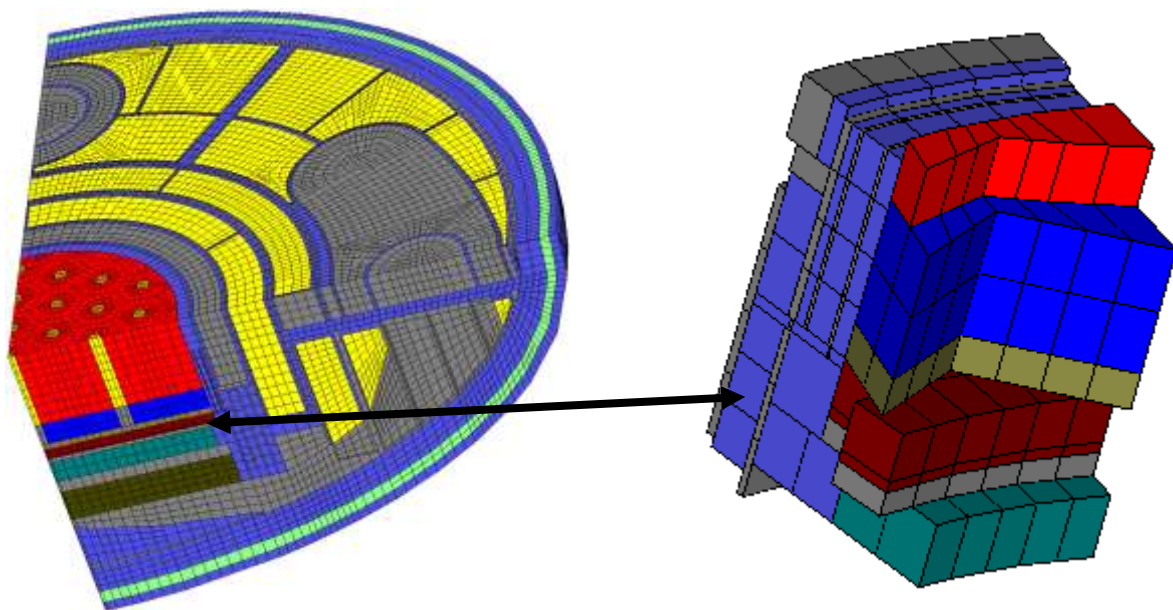


Рис. 1 Сетки из произвольных гексаэдров, аппроксимирующие фрагмент МБР РУ с ТЖМТ, построенные с отступлением от принципа стыкования ячеек строго по их вершинам

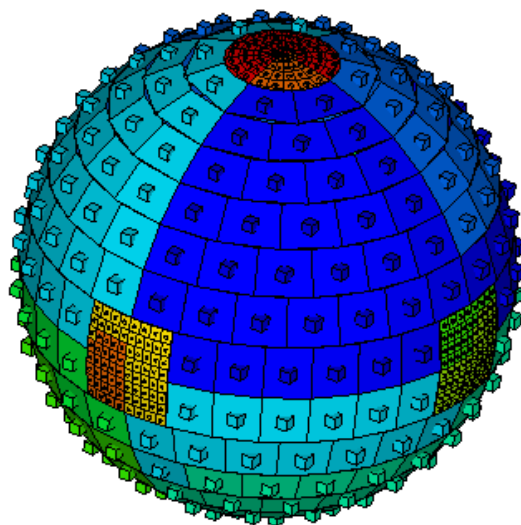


Рис. 2 Пример сконструированного в PMSNSYS-II квадратурного набора с локальным уплотнением узлов на поверхности сферы направлений

После создания программы и выпуска комплекта программной документации PMSNSYS-II была введена в опытную эксплуатацию в ОКБ «ГИДРОПРЕСС». О факте создания программы отмечено в докладе Российской академии наук Президенту Российской Федерации «О состоянии фундаментальных наук в Российской Федерации и о важнейших научных достижениях российских ученых в 2016 году».