

# Разработка математической модели динамики импульсных быстрых реакторов: результаты и планы

М. В. Булавин

Frank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980, Dubna,  
Russia  
[bulavinm@nf.jinr.ru](mailto:bulavinm@nf.jinr.ru)

Главным свойством пульсирующего ядерного реактора, влияющим на его стабильную и безопасную работу, является колебательная неустойчивость, которая определяется величиной колебаний энергии импульсов.

К настоящему времени для пульсирующих реакторов ИБР-2 и ИБР-2М границы допустимых колебаний энергии импульсов определены экспериментально, но любая другая компоновка а.з. нового реактора большей мощности и интенсивности потребует обоснования его ядерной безопасности.

Поэтому одной из важнейших задач, которую необходимо решить при разработке нового высокопоточного пульсирующего реактора в ОИЯИ, является теоретическое описание процессов, приводящих к колебаниям энергии импульсов, а также изучение механизмов формирования мощностной обратной связи при помощи математической модели.

За последнее время намечен существенный прогресс в разработке математической модели динамики реактора в приближении короткого импульса и низкого фона, которая направлена на решение следующих задач, связанных с неустойчивостью пульсирующих реакторов:

- изучение причин появления неустойчивости;
- определение параметров устойчивой работы;
- разработка оптимальной конструкции активной зоны;
- проверка теоретических подходов к изучению динамики.

Данная модель представляет собой компьютерную программу, имеющую модульную структуру, и позволяющую моделировать динамику пульсирующего реактора с использованием основных параметров (частота пульсаций, средняя мощность реактора, время затухания поперечных колебаний твэлов, их отличие по массе, параметры поперечной и тепловой реактивности, параметры импульсной переходной характеристики в модели мощностной обратной связи и т.п.), граничных условий и методики расчёта.

Задание граничных условий подразумевает выбор способа закрепления отдельного твэла (или ТВС), после чего программа использует тот или иной набор собственных значений и функций при расчёте уравнений движения. Задание метода расчёта подразумевает выбор способа расчёта реактивности  $\rho$  в очередном импульсе мощности.

Основной цикл программы – это замкнутый цикл, в ходе которого по предыдущим значениям энергии импульсов рассчитывается энергия очередного импульса  $Q_i$ . Центральным модулем здесь является блок кинетики, в котором по известной реактивности, энергии предыдущих импульсов и скорости модулятора (параметр  $\nu$ ) решаются уравнения нейтронной кинетики, вычисляются источники запаздывающих нейтронов и энергия очередного импульса.

Величина реактивности, которая поступает на вход блока кинетики, вычисляется как сумма величин реактивностей, каждая из которых соответствует определённому фактору (физическому процессу), влияющему на реактивность реактора: автоматическому регулятору, внешнему возмущению, тепловому расширению, термоупругости (поперечным

деформациям), влиянию теплоносителя – и соответствующему блоку программы. Три последних фактора соответствуют обратным связям.

Расчеты с использованием данной модели позволяют сделать вывод о том, что превышение пределов устойчивости пульсирующего реактора может быть вызвано, по крайней мере, двумя факторами: температурным расширением топлива и динамическим изгибом ТВЭЛов или изгибом ТВС в импульсе. В результате предложены следующие способы снижения колебательной неустойчивости пульсирующих реакторов: фиксация границы области стохастической неустойчивости с целью выбора оптимальной частоты и мощности реактора; выбор оптимальной конструкции активной зоны исходя из значения собственных частот поперечных колебаний и частоты реактора; определение величины трения поперечных колебаний; использование ТВЭЛов (ТВС) разной массы или жёсткости.

Учёт эффектов движения теплоносителя в активной зоне, конструкции ТВС и точного распределения температуры в будущем позволит предложить и иные методы повышения стабильности реактора. Кроме того, наличие в программе блока мощностной обратной связи МОС, а также анализ результатов расчётов в виде импульсной переходной характеристики расширяет возможности изучения динамики пульсирующих реакторов. Это позволяет проводить сравнительные расчёты по разным моделям, в том числе используя многочисленные результаты исследований динамики реакторов ИБР-2/ИБР-2М.