

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ И ИХ КОМПЕНСАЦИИ В МАЛОГАБАРИТНОМ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОМ БЫСТРОМ РЕАКТОРЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

А.М. Головлева

golovlevaam@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Рассмотрена возможность использования в атомных станциях малой мощности в качестве органов регулирования системы управления защитой вращающихся регулирующих бериллиевых барабанов, с поглощающим сектором из карбида бора. Выполнена оценка вклада изменения эффективного коэффициента размножения вследствие термического расширения элементов конструкции (термомеханический эффект реактивности) для малогабаритной ядерной энергетической установки малой мощности на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Показано, что термомеханический эффект реактивности вносит наибольший вклад в интегральный мощностной эффект реактивности, определяемый в рамках данной работы как сумма плотностного, температурного (по топливу) и термомеханического эффектов реактивности. Проанализировано влияние термического расширения конструкции на интегральную эффективность регулирующих барабанов рассматриваемой ядерной энергетической установки. Оценено влияние возможного удаления регулирующих барабанов от центра активной зоны с сохранением положения поглощающего сектора относительно оси барабана, связанного с независимым тепловым расширением опор регулирующих барабанов и активной зоны.

Ключевые слова: ядерная энергетическая установка, атомные станции малой мощности, коэффициенты реактивности, эффекты реактивности, термомеханический эффект реактивности, температурный эффект реактивности, плотностной эффект реактивности, реактор на быстрых нейтронах, натрий-калиевый теплоноситель

Введение. В настоящее время ведется разработка перспективного направления, связанного с атомными станциями малой мощности (АСММ). Уже имеются результаты по разработке АСММ на высокотемпературных газоохлаждаемых реакторах [1], а также на реакторах с жидкометаллическим теплоносителем, в большей степени отвечающих условиям эксплуатации в экстремальных условиях и на труднодоступных территориях [2]. По мере развития этого направления предполагается повсеместное создание, масштабирование и распространение атомных станций малой мощности [3, 4], имеющих в своем составе ядерную энергетическую установку (ЯЭУ) на быстрых нейтронах. Многофункциональность таких установок позволяет использовать их для решения целого ряда различных задач [5], начиная от транспортных перевозок и заканчивая освоением космического пространства [6].

Среди особенностей малогабаритной ЯЭУ малой мощности можно отметить необходимость обеспечения высоких температур на преобразователе энергии для повышения КПД. Малые габариты установки и существенный уровень изменения температур при нестационарных процессах (например, выходе ЯЭУ на номинальные параметры) в результате термического расширения приводят к значительному изменению положения элементов конструкции относительно их начального положения. Это влияет на нейтронно-физические параметры установки, в том числе на значение эффективного коэффициента размножения, интегральные и дифференциальные характеристики органов регулирования и прочие показатели.

В рамках настоящей работы оценен вклад изменения эффективного коэффициента размножения вследствие термического расширения элементов конструкции (термомеханический эффект реактивности) в интегральный мощный эффект реактивности для малогабаритной ЯЭУ малой мощности на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. Кроме оценки термомеханического эффекта реактивности также выполнен анализ влияния термического расширения на интегральную эффективность регулирующих барабанов рассматриваемой ЯЭУ.

Краткое описание конструкции. В основе концепции представленной ЯЭУ лежит принцип доступности [7, 8]. В реакторе используются твэлы с топливом на основе диоксида урана, расположенные по треугольной решетке в активной зоне с кольцевым отражателем и управляющими барабанами. В качестве основного конструкционного материала используется коррозионно-стойкая сталь. Бериллиевый радиальный отражатель помещен в оболочку из коррозионно-стойкой стали. Регулирующие барабаны изготовлены из бериллия и карбида бора и заключены в чехлы из коррозионно-стойкой стали. Концепция данной ЯЭУ рассчитана на выработку мощности в 40 кВт при сроке службы в режиме полной мощности не восьми лет.

Корпус реактора толщиной 0,25 см, выполненный из того же сплава коррозионно-стойкой стали, окружен радиальным отражателем, наружный диаметр которого составляет 49 см (рис. 1). Корпус реактора выполнен в виде шестигранника, что позволяет приблизить к активной зоне радиальный отражатель и управляющие барабаны. Активная зона набрана из 163 твэлов с наружным диаметром 1,28 см. Оболочка твэлов изготовлена из сплава коррозионно-стойкой стали толщиной 0,051 см. В твэлы с зазором 0,0065 см загружены таблетки из диоксида урана. Высота топливной части составляет 48 см. Нижняя и верхняя части твэла заполнены таблетками из оксида бериллия на 9 см с каждой стороны. Также в верхней части твэла присутствует пространство для выхода газообразных продуктов деления.

ТВЭЛы расположены по треугольной решетке с относительным шагом 1,04 см. Дистанционирующие проволоки ограничивают радиальные перемещения, но не ограничивают перемещения в осевом направлении. Между твэлом и проволокой присутствует технологический зазор 0,0076 см, которого достаточно для прохода потока жидкости и охлаждения твэлов. Проволока также играет роль перемешивающего устройства.

Внутри корпуса реактора нет опускающего канала теплоносителя. Теплоноситель опускается по шести трубопроводам, расположенным в радиальном отражателе. Это позволяет увеличить гидравлический диаметр и, как следствие, уменьшить потери давления по тракту течения теплоносителя, но, что более важно, позволяет приблизить радиальный отражатель и управляющие барабаны к активной зоне.

Вокруг корпуса реактора по окружности с равномерным шагом размещены 6 управляющих барабанов диаметром 13,5 см. Барабаны выполнены из металлического бериллия и покрыты оболочкой из коррозионно-стойкой стали. Внутри барабанов расположен поглотитель (карбид бора с обогащением по В10 56,55 %) в форме сектора окружности с максимальной толщиной 1 см. Угол сектора составляет 112°. Между оболочкой барабанов и радиальным отражателем присутствует зазор, равный 2 мм, необходимый для избежания контакта во время вращения барабанов. Основные геометрические размеры взяты из источника [6].

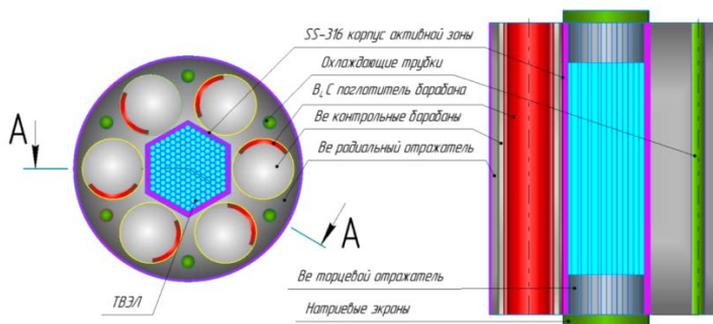


Рис. 1. Продольный и поперечный разрезы реактора

Постановка задачи расчета. Для постановки задачи расчета опишем используемые программные средства (ПС) и методики расчета. Задачей данной работы является нахождение значений трех коэффициентов реактивности для малогабаритного реактора малой мощности с жидкометаллическим теплоносителем: по температуре топлива (температурный), по плотности теплоносителя (плотностной) и по изменению геометрии активной зоны вследствие терми-

ческих расширений конструкции (термомеханический), сравнение их вкладов в интегральный мощностной эффект реактивности при переходе с условно «холодного» состояния (температура всех материалов 300 К), до условно «горячего» состояния (температура всех материалов 900 К), а также определение физического веса (эффективности) регулирующих бериллиевых барабанов системы управления защиты (СУЗ) в разных положениях поглотителей из карбида бора (B_4C). Сравнение и анализ значений физического веса СУЗ при удалении регулирующих барабанов от центра ЯЭУ вследствие термомеханического расширения активной зоны (увеличения расстояния до оси барабанов R_{drum}).

Особенностями большинства малогабаритных ЯЭУ малой мощности на быстрых нейтронах являются:

- большие перепады температур между «холодным» и «горячим» состоянием;
- большой процент обогащения топливом по делящемуся изотопу;
- малые габариты реактора.

Малые размеры активной зоны реактора обуславливают значительное влияние теплового расширения элементов конструкции на размножающие свойства среды (термомеханический эффект реактивности), которым нельзя пренебрегать при обосновании безопасности проектируемой установки.

Для расчетов была использована учебная версия программы КИР [9]. Программа КИР предназначена для получения решения как стационарного, так и нестационарного уравнения переноса нейтронов с учетом запаздывающих нейтронов аналоговым методом Монте-Карло, который моделирует историю нейтрона на основе файлов оцененных ядерных данных в системах с трехмерной геометрией в однородной и неоднородной среде.

Для решения поставленной задачи в программе КИР была смоделирована упрощенная геометрия ядерной установки (см. рис. 1) и рассчитаны ядерные концентрации элементов для каждого представленного материала. После была проведена серия расчетов с целью определения коэффициентов реактивности (табл. 1).

Таблица 1. Вариации параметров по каждому расчету

Состояние	Температура топлива, К	Температура теплоносителя, К	Плотность теплоносителя, г/см ³	Температура конструктивных материалов, К	Изменение размеров
0	300	300	0,8008	300	Нет
1	900	300	0,8008	300	Нет
2	300	900	0,6375	300	Нет
3	300	300	0,8008	900	Да

В табл. 1 в качестве начального расчета рассмотрено нулевое состояние, при котором вычислен эффективный коэффициент реактивности в условно «холодном» состоянии, т. е. все значения температуры приняты равными 300 К.

1. *Температурный расчет.* В первом состоянии рассчитывали температурный эффект (доплер-эффект). По температуре топлива определяли температурный коэффициент реактивности. Относительно нулевого состояния расчетной модели была изменена температура топлива с 300 до 900 К (плотность топлива при этом оставалась неизменной).

2. *Плотностной расчет.* Второе состояние зависит от плотности теплоносителя. Относительно исходной расчетной модели в начальном состоянии была изменена плотность теплоносителя NaK с 0,8008 на 0,6375 г/см³ [10], а также температура теплоносителя с 300 до 900 К. Топливо при этом «холодное» — 300 К.

3. *Термомеханический расчет.* Третье состояние связано с изменением геометрии активной зоны вследствие термических расширений конструкции. Была изменена геометрия исходной расчетной модели с учетом тепловых расширений при нагреве материалов реактора с 300 до 900 К. При подводе мощности (и, соответственно, нагреве конструкции) активная зона расширяется и, как следствие, изменяется ее геометрия с учетом коэффициента линейного теплового расширения (КЛТР) каждого материала зоны. Новый размер определяется как $X = X_0(1 + \alpha\Delta T)$, где X_0 — начальный размер конструкции до теплового расширения; α — коэффициент линейного теплового расширения; ΔT — разница температур конструкции в конечном (нагретом) и начальном состоянии. Также при нагреве реактора изменяется плотность материалов из-за увеличения объема при постоянной массе, следовательно, изменяются и ядерные концентрации материалов. При этом количество ядер остается прежним. С новой геометрией реактора, ядерными концентрациями и значениями температуры материалов был вычислен эффективный коэффициент реактивности в условно «горячем» состоянии 900 К без учета теплового расширения диаметра осей барабана $R_{drum} = 16,7$ см.

В ходе расчета были приняты следующие допущения:

1) температура принята одинаковой (игнорируется пространственное распределение энерговыделения) для всех конструктивных элементов, что может приводить к некоторой неточности количественной оценки, однако позволяет качественно оценить соотношение рассматриваемых эффектов реактивности;

2) при расчете термомеханического эффекта реактивности учитывается только изменение геометрических размеров твэлов, шага их расположения

в решетке, выгородки активной зоны и диаметра расположения осей регулирующих барабанов. Изменением размеров остальных элементов конструкции пренебрегаем;

3) на границе рассматриваемой системы используется следующее физическое граничное условие (условие вылета из системы): черная поглощающая поверхность. Все вылетающие за пределы бериллиевого отражателя частицы поглощаются. Эффект термализации отраженных в бериллии нейтронов на периферии активной зоны не учитывается.

Интегральную характеристику эффективности (физический вес) СУЗ находят согласно ее определению. Эффективность регулирующего органа системы управления и защиты (РО СУЗ) или физический вес — это реактивность, которую РО может скомпенсировать при введении в активную зону или высвободить при извлечении из активной зоны. Значение интегральной эффективности барабана СУЗ зависит от размера реактора (радиуса), физических свойств активной зоны (длина миграции), размеров стержня СУЗ (радиус, длина), его поглощающих свойств и места расположения в активной зоне [11]. В данной работе был определен физический вес бериллиевых регулирующих барабанов в количестве 6 штук с секторами поглотителей из B_4C .

Результаты расчета. В результате расчета базового состояния реактора при температуре всех элементов конструкции 300 К было получено значение эффективного коэффициента размножения $K_{эф} = 0,995\ 345 \pm 0,0056$.

Остальные эффекты реактивности рассчитывали по соотношению

$$\rho = \rho_i - \rho_0 = \frac{1}{K_{эф0}} - \frac{1}{K_{эф i}},$$

где ρ_0 — значение реактивности в нулевом расчете; ρ_i — значение реактивности в i -м расчете; $K_{эф0}$ — значение эффективного коэффициента размножения в нулевом расчете; $K_{эф i}$ — значение эффективного коэффициента размножения в i -м расчете.

Результаты расчета эффектов реактивности для ЯЭУ представлены в табл. 2. Для удобства они также сведены в круговую диаграмму (рис. 2), где можно наблюдать относительный вклад этих эффектов в общий мощностной эффект реактивности. Отметим, что из-за высокого обогащения топлива по делящемуся нуклиду температурный эффект (состояние 1) по знаку отрицательный, однако его значение на порядок меньше доли запаздывающих нейтронов β , что можно считать достаточно малой величиной по сравнению с энергетическими реакторами [8]. В плотностном эффекте реактивности (состояние 2), поскольку теплоносителем является эвтектика NaK, также было

получено малое значение эффекта реактивности по плотности теплоносителя, что соответствует таким же данным для стандартных энергетических реакторов с жидкометаллическим теплоносителем. Поскольку NaK не является хорошим замедлителем и сильным поглотителем, то с повышением температуры значение эффекта реактивности близко к нулю. Важный результат заключается в том, что полученные значения (состояние 3) термомеханического эффекта реактивности составляют 95 % вклада в общий мощностной эффект. Это связано с малыми габаритами активной зоны, а также с большим термическим расширением благодаря большому градиенту температур с 300 до 900 К. Из этих результатов следует, что для малогабаритных реакторов малой мощности на быстрых нейтронах не только важно учитывать термомеханический эффект — его вклад в общий мощностной эффект реактивности может быть определяющим.

Таблица 2. Результаты расчетов эффектов реактивности

Номер расчета	$K_{эф i}^*$	$\rho, \%$	Вклад эффекта реактивности в мощностной, %
1	0,995 345	–	–
2	0,995 033	-0,031 355 743 9	3
3	0,995 048	-0,029 847 806 3	2
4	0,984 145	-1,138 043 682 5	95

* Погрешность определения $K_{эф i}$ составляет 0,0056 %



Рис. 2. Диаграмма распределения вклада эффектов реактивности в мощностной эффект ЯЭУ

Следующий анализ был посвящен влиянию термического расширения осей (опор, в которых закреплены оси регулирующих барабанов) на значение $K_{эф}$ (табл. 3). Здесь за базовое состояние было принято состояние активной зоны при расчете термомеханического эффекта. Условились считать, что барабаны неподвижны, и расширяется только активная зона в результате термического расширения. Далее была построена зависимость коэффициента размножения $K_{эф}$ от расстояния (радиуса R_{drum}), на котором расположены оси барабанов (рис. 3). На графике видно, что с начального расстояния и до точки минимума, находящейся приблизительно на половине расширения R_{drum} из возможного, зависимость показывает спад $K_{эф}$, а начиная с некоторого момента приводит к плавному росту $K_{эф}$. Такой результат самопроизвольного вноса положительной реактивности может стать фатальным, поэтому при проектировании реакторов стоит обращать внимание на перемещения органов регулирования и элементов активной зоны вследствие их термических расширений.

Таблица 3. Зависимость термомеханического коэффициента размножения $K_{эф\ i}$ от расстояния до оси регулирующего барабана R_{drum}

i	Расстояние до оси барабана αR_{drum} , см	$K_{эф\ i}$	Погрешность $K_{эф\ i}$, %
1	16,70	0,984 145	0,0056
2	16,76	0,979 720	0,0056
3	16,82	0,981 135	0,0055
4	16,89	0,982 608	0,0056

Для определения интегральной эффективности регулирующих барабанов были выбраны крайние положения барабанов по данным предыдущего расчета: в начальном положении при 300 К с недеформированным расстоянием до оси барабана $R_{drum} = 16,7$ см и в конечном положении вследствие термомеханического эффекта при 900 К $R_{drum} = 16,89$ см. Для каждого варианта рассчитывали $K_{эф\ i}$ (табл. 4) в двух положениях поглотителя из V_4C : максимально и минимально удаленного от активной зоны (рис. 4).

Находим физический вес СУЗ [10] по соотношению

$$\Delta\rho_{ст} = \rho_0 - \rho_{ст} = \frac{K_{эф\ 0} - K_{эф.ст}}{K_{эф\ 0} K_{эф.ст}} = \frac{\Delta K_{эф.ст}}{K_{эф\ 0} K_{эф.ст}},$$

где ρ_0 — значение реактивности без РО СУЗ; $\rho_{ст}$ — значение реактивности с РО СУЗ; $K_{эф\ 0}$ — значение эффективного коэффициента размножения без РО СУЗ; $K_{эф.ст}$ — значение эффективного коэффициента размножения с РО СУЗ.

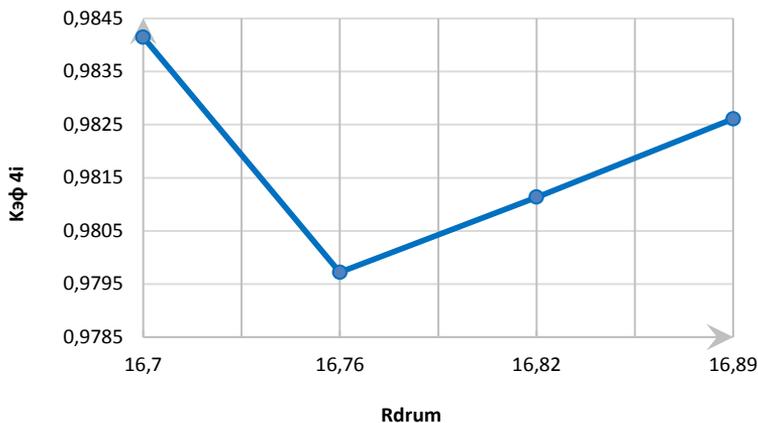


Рис. 3. Взаимосвязь коэффициента размножения $K_{эф i}$ и расстояния до оси регулирующего барабана R_{drum}

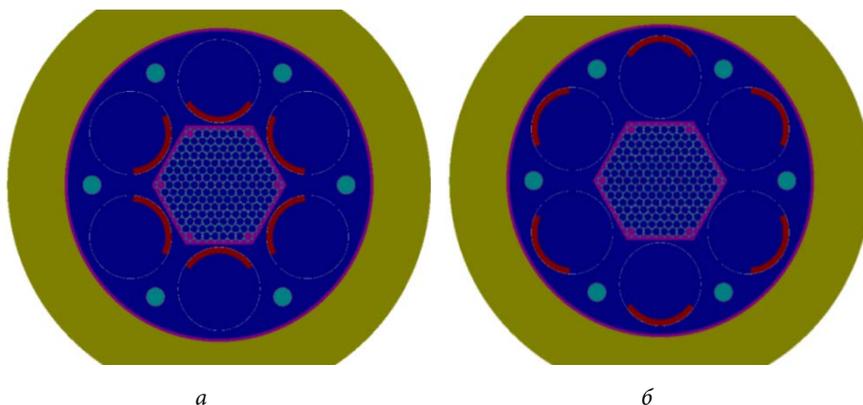


Рис. 4. Расположение В₄С поглотителей в бериллиевых барабанах регулирования СУЗ:
 а — минимально удалены от активной зоны; б — максимально удалены от активной зоны

Таблица 4. Зависимость коэффициента размножения $K_{эф i}$ от расстояния до оси регулирующего барабана R_{drum} в двух положениях В₄С поглотителя

Расстояние до оси барабана R_{drum} , см	Удаленность секторов поглотителей из В ₄ С от активной зоны	$K_{эф i}$	Погрешность $K_{эф i}$ (%)
16,70	Максимальная	1,094 349	0,0061
	Минимальная	0,823 444	0,0047
16,89	Максимальная	1,096 941	0,0061
	Минимальная	0,830 578	0,0047

Интегральная эффективность регулирующих барабанов с расстоянием до оси $R_{drum} = 16,7$ см в начале кампании без изменения размеров ЯЭУ:

$$\Delta\rho_1 = 0,300\ 631.$$

Интегральная эффективность регулирующих барабанов с расстоянием до оси $R_{drum} = 16,89$ вследствие температурного расширения активной зоны и конструкционных материалов

$$\Delta\rho_2 = 0,292\ 384;$$

$$\Delta\rho_1 - \Delta\rho_2 = 0,008\ 246,$$

что соответствует примерно $1,2\beta_{эф}$. Такое изменение интегральной эффективности РО СУЗ пренебрежимо мало относительно абсолютного значения реактивности, вносимой РО СУЗ совокупно и составляющей примерно $45\beta_{эф}$.

Заключение. В рамках настоящей работы выполнена оценка вклада изменения эффективного коэффициента размножения вследствие термического расширения элементов конструкции (термомеханический эффект реактивности) в интегральный мощностной эффект реактивности для малогабаритной ЯЭУ малой мощности на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем. По результатам оценки могут быть сделаны следующие выводы:

1. Для малых ЯЭУ с высокой температурой реактора из рассмотренных в данной работе эффектов реактивности, а именно температурного, плотностного и термомеханического, последний может вносить значительный, а иногда и определяющий вклад в мощностной эффект реактивности при переходных режимах, связанных с существенным изменением температуры реактора.

2. Определяющий вклад термомеханического эффекта реактивности в мощностной может быть объяснен следующими причинами: благодаря малым габаритам активной зоны и отсутствию материала замедлителя между твэлами боковой отражатель обладает высокой нейтронно-физической ценностью. Поскольку КЛТР бериллия несколько больше, чем КЛТР стали, при условии идентичного нагрева конструкции боковой отражатель начнет сильнее отдаляться от активной зоны, что будет способствовать ведению отрицательной реактивности. Также отметим, что в случае реального распределения температуры, когда температура активной зоны будет больше, чем температура бокового отражателя, может возникать обратная ситуация, при которой отражатель сближается с активной зоной, что приведет уже к внесению значительной положительной реактивности.

3. Термомеханический эффект реактивности особенно важно рассчитывать для малогабаритных ЯЭУ малой мощности на быстрых нейтронах. Высокое обогащение топлива по изотопу ^{235}U приводит к снижению вклада доплер-эффекта в мощностной эффект реактивности. В то же время использование жидкометаллического теплоносителя на основе натрия дает минимальное значение плотностного эффекта (при некоторых компоновках активной зоны эффект может быть различного знака). Таким образом, термомеханический эффект может быть определяющим для ЯЭУ.

4. В ходе работы исследовано влияние термических расширений опор регулирующих барабанов как на значение эффективного коэффициента размножения, так и на интегральную эффективность регулирующих органов. Исследование показало, что расстояние от осей барабанов до активной зоны может неоднозначно влиять на $K_{эф}$ (см. рис. 3). Влияние термических расширений на интегральную характеристику РО СУЗ для рассматриваемой компоновки можно считать незначительным.

5. Отметим, что при проектировании малогабаритной ЯЭУ малой мощности с жидкометаллическим теплоносителем на этапе разработки конструкции необходимо уделять большое внимание термомеханике активной зоны (например, делать опоры РО СУЗ независимыми от расширения активной зоны и т. п.) для обеспечения предсказуемости поведения установки при переходных режимах. Для более точного учета влияния термомеханических характеристик ЯЭУ на нейтронно-физические параметры необходимо разработать программные модули, автоматически просчитывающие изменение геометрии элементов конструкции, а также провести связанные нейтронно-физические и теплогидравлические расчеты для получения полей температур, приближенных к реальным.

Литература

- [1] Драгунов Ю.Г., Дунайцев А.А., Ким Д.Д. и др. Концепция передвижной электростанции малой мощности с быстрым газоохлаждаемым реактором. *Атомная энергия*, 2019, т. 126, вып. 1, с. 3–7.
- [2] Литвинов Д.Н., Костарев В.С., Ширманов и др. Малогабаритная АЭС малой мощности с жидкометаллическим теплоносителем для арктических условий. *Физика. Технологии. Инновации. VIII Междунар. молодежная науч. конф.: тез. докл.* Екатеринбург, УрФУ, 2021, с. 1004–1005.
- [3] Кудинов В.В., Куликов Д.Г., Пименов А.О. Автономные атомные энергетические источники малой мощности. *Инновации в атомной энергетике: сб. тр.* Москва, АО «НИКИЭТ», 2017, с. 27–32.

- [4] Кайнова А.В., Сухарев Ю.П., Власичев Г.Н. Реакторные установки сверхмалой мощности. *Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева*, 2018, № 1, с. 108–116. https://doi.org/10.46960/1816-210X_2018_1_108
- [5] Крушельницкий В.Н. Область применения реакторных установок малой мощности. *Атомные станции малой мощности: новое направление развития энергетики: сб. тр.* Москва, Академ-Принт, 2015, т. 2, с. 50–58.
- [6] *Fission Surface Power System Initial Concept Definition*. NASA Scientific and Technical Information (STI), NASA/TM–2010-216772, Ohio, 2010.
- [7] *Houts M.G. Nuclear Energy for Space Exploration*. NASA, Space Nuclear Power and Propulsion, 2010.
- [8] Драгунов Ю.Г., Ромадова Е.Л., Ужанова В.В. и др. Аналитический обзор концепций ядерной энергетической установки для долговременной лунной базы. *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2013, № 4, с. 98–111.
- [9] Belousov V.I., Gurevich M.I., Davidenko V.D. et al. KIR2 software complex for simulation of a stationary and nonstationary particle transport by the Monte Carlo method. *Physics of Atomic Nuclei*, 2023, vol. 86, no. 8, pp. 1812–1817. <https://doi.org/10.1134/S106377882308001X>
- [10] *База данных по теплофизическим свойствам жидкометаллических теплоносителей перспективных ядерных реакторов. Теплофизические свойства жидкого натрия и его пара*. URL: <https://gsssd-rosatom.mephi.ru/DB-tp-01/Na.php> (дата обращения 05.11.2024).
- [11] Ганев И.Х. *Физика и расчет реактора*. Москва, Энергоатомиздат, 1992, 496 с.

Поступила в редакцию 16.04.2025

Головлева Алена Михайловна — студентка кафедры «Ядерные реакторы и установки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Головлева А.М. Определение эффектов реактивности и их компенсации в малогабаритном жидкометаллическом быстром реакторе малой мощности. *Политехнический молодежный журнал*, 2025, № 02 (97). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/pmc/nuc/1036.html>

DETERMINATION OF REACTIVITY EFFECTS AND THEIR COMPENSATION IN A SMALL-SIZED LIQUID-METAL FAST REACTOR OF LOW POWER

A.M. Golovleva

golovlevaam@student.bmstu.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

The paper considers a possibility of using the rotating beryllium control drums with an absorbing sector made of boron carbide as the regulating bodies of the protection control system in the low-power nuclear plants. It assesses contribution of alteration in the efficient multiplication factor due to thermal expansion of the structural elements (reactivity thermomechanical effect) for a small-sized low-power fast nuclear plant with the liquid metal coolant. The paper shows that the reactivity thermomechanical effect greatly contributes to the reactivity integral power effect defined in this work as the sum of density, temperature (for fuel) and thermomechanical effects of the reactivity. It analyzes the structure thermal expansion on integral efficiency of the control drums in the considered nuclear power plant. The paper assesses the influence of a possible control drums distancing from the core center while maintaining the absorbing sector position relative to the drum axis associated with independent thermal expansion of the control drums supports and of the core.

Keywords: nuclear power plant, low-power nuclear plants, reactivity coefficients, reactivity effects, reactivity thermomechanical effect, reactivity temperature effect, reactivity density effect, fast neutron reactor, sodium-potassium coolant

Received 16.04.2025

Golovleva A.M. — Student, Department of Nuclear Reactors and Installations, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Golovleva A.M. Determination of reactivity effects and their compensation in a small-sized liquid-metal fast reactor of low power. *Politekhnicheskiy molodezhnyy zhurnal*, 2025, no. 02 (97). (In Russ.). URL: <https://ptsj.bmstu.ru/catalog/pmc/nuc/1036.html>