

УДК 621.039.56

Качур С.А.

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

УПРАВЛЕНИЕ ЯДЕРНЫМ РЕАКТОРОМ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Запропоновано підхід до керування ядерним реактором зовнішнім електромагнітним випромінюванням. Використано ефект скривлення простору ретранслятора при впливі високочастотним електромагнітним випромінюванням на реактор у стані миттєвої критичності. Як реалізація підходу описана модель електромагнітного керування реактором.

Предложен подход к управлению ядерным реактором внешним электромагнитным излучением. Использован эффект искривления пространства ретранслятора при воздействии высокочастотным электромагнитным излучением на реактор в состоянии мгновенной критичности. В качестве реализации подхода описана модель электромагнитного управления реактором.

Offered approach to the management by a nuclear reactor by the external electromagnetic radiation. The effect of curvature of space of transponder at influence by the high-frequency electromagnetic radiation on a reactor in a state of instantaneous criticism is used. As realization of approach an electromagnetic case frame by a reactor is described.

K – коэффициент усиления;
 L – расстояние;
 T – период или длительность импульса, фазы;
 c – скорость света;
 l – время жизни мгновенных нейтронов;
 β – доля запаздывающих нейтронов по отношению к полному числу нейтронов;
 λ – постоянная распада одной эквивалентной

группы мгновенных нейтронов;
 ω – частота колебания;
 M – масса;
 O – ретранслятор;
 P – излучатель;
 R – реактор;
 ЯР – ядерный реактор.

Научно-технические основы управления ядерными реакторами были разработаны в 50-х годах прошлого века и нашли отражение во многих монографиях, в том числе [1-3], а также в широком спектре статей, посвященных усовершенствованию систем управления ЯР как с точки зрения эффективности, так и с точки зрения безопасности эксплуатации.

Современное общество стоит перед необходимостью перехода к более высокому технологическому уровню энергетических систем при наличии жестких требований к их безопасности. Поэтому в настоящее время стоит проблема не усовершенствования управления ЯР на основе общепринятых подходов, а разработки теоретических основ создания принципиально новых систем управления ЯР.

Цель исследования – разработка модели управления ЯР на основе использования внешних электромагнитных воздействий, позволяющей повысить мощность ЯР и радиационную

безопасность.

В процессе создания модели необходимо решить следующие задачи: 1) определить структуру модели; 2) рассчитать параметры модели; 3) описать элементы модели.

Предлагается рассмотреть воздействие высокочастотных и низкочастотных излучений на ЯР с точки зрения получения состояния мгновенной критичности и управление реактором в этом состоянии. За основу электромагнитного управления реактором принят эффект искривления пространства ретранслятора, возникающий при наличии электромагнитного резонанса в контуре Ретранслятор – Реактор – Излучатель. Ретранслятором в данном случае назовем объект со специфическими характеристиками, преобразующий энергию ЯР в состоянии мгновенной критичности.

Структурная схема расположения реактора (R), высокочастотного излучателя (Π_1), низкочастотного излучателя (Π_2) и ретранслятора

(О) представлена на рис. 1. Данная схема имеет два контура Ретранслятор – Реактор – Излучатель. Одна из задач – расчет параметров излучателей и ретранслятора при заданных параметрах реактора.

Определим частотные и геометрические параметры структурной схемы модели.

Первоначально выясним: какую частоту колебания реактивности можно считать граничной для низких и высоких частотных диапазонов. С этой целью рассмотрим формулы расчета для реактора нулевой мощности коэффициентов усиления на основе передаточных функций, приведенные в [1] для двух частотных диапазонов, а именно области относительно высоких частот (K_1) и области низких относительно частот (K_2)

$$K_1 = (\omega_1 l)^{-1}, \quad (1)$$

$$K_2 = \lambda / (\omega_2 \beta), \quad (2)$$

где λ – постоянная распада одной эквивалентной группы мгновенных нейтронов; ω_1, ω_2 – частота колебания реактивности реактора соответственно для высоких и низких частотных диапазонов; l – время жизни мгновенных нейтронов; β – доля запаздывающих нейтронов по отношению к полному числу нейтронов.

Принимая во внимание то, что скорость электромагнитных волн не превышает скорость света c , определяем граничную частоту колебания реактивности реактора ω_p

$$\omega_p = 1/(cl). \quad (3)$$

Для простоты изложения при расчетах не будем учитывать Доплер-эффект ядерного топлива. Исходя из минимального значения времени жизни мгновенных нейтронов $l = 10^{-8}$ с, получаем $\omega_p = 0,33$ Гц. Данному значению времени жизни мгновенных нейтронов при мгновенной критичности соответствует время разгона реактора $T = 0,33 \cdot 10^{-5}$ с и частота $\omega_0 = 3 \cdot 10^5$ Гц [1].

Одним из условий электромагнитного резонанса для схемы рис. 1 является равенство значений частот ω_0 и ω_1

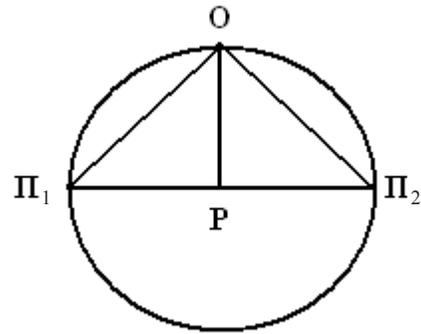


Рис. 1. Структурная схема модели электромагнитного управления: P – реактор, П₁ – низкочастотный излучатель, П₂ – высокочастотный излучатель, O – ретранслятор.

$$\omega_1 \equiv \omega_0, \quad (4)$$

где ω_0 – частота появления мгновенных нейтронов; ω_1 – частота высокочастотного излучателя.

Поскольку на реактор одновременно воздействуют источник низкочастотного и высокочастотного излучения, то для сохранения целостности предложенной структуры необходимо, чтобы

$$K = K_1 = K_2. \quad (5)$$

Из соотношений (1, 2, 4, 5) определяем частоту источника низкочастотного излучения

$$\omega_2 = \omega_0 l \lambda / \beta. \quad (6)$$

Для ^{235}U и $\beta = 0,0065$, $\lambda = 0,072 \text{ с}^{-1}$, $l = 10^{-8}$ с, $\omega_0 = 3 \cdot 10^5$ Гц получаем расчетные значения $\omega_2 = 3,3 \cdot 10^{-2}$ Гц и $K_1 = K_2 = 0,33 \cdot 10^3$.

В предложенной схеме управления ЯР излучатели П₁ и П₂ эквивалентны по мощности и массе, причем их масса соответствует массе топлива ЯР ($M_1 = M_2 = M_p$).

На граничной частоте $\omega_p = 0,33$ Гц при наличии Доплер-эффекта топлива коэффициент усиления будет стремиться к скорости света, что также определяет состояние мгновенной критичности реактора. В таком состоянии при наличии стационарного ретранслятора O (рис. 1) произойдет искривление его прос-

транства, после чего реактор перейдет в подкритическое состояние.

Ретранслятор, преобразующий энергию, выделяемую реактором, представляет собой двойной пульсар, имеющий два компонента (пассивный и активный) и две фазы функционирования (активную и пассивную).

Пассивный компонент в фазе активности генерирует электрический потенциал и удерживает его в течение времени

$$T_{и1} = 1/\omega_0. \quad (7)$$

Активный компонент в фазе активности генерирует электрические импульсы длительностью

$$T_{и2} = T_{и1} \cdot K. \quad (8)$$

В фазе покоя для пассивного компонента электрический потенциал отсутствует, и длительность фазы составляет

$$T_{п1} = T_{и2}. \quad (9)$$

Активный компонент имеет фазу покоя длительностью

$$T_{п2} = T_{и1}. \quad (10)$$

Поскольку $T_{и2} \gg T_{и1}$, то частота пульсации ретранслятора определяется как

$$\omega_3 = \omega_0/K. \quad (11)$$

Для приведенных выше значений ω_0 и K результат расчета параметров ретранслятора будет следующим: $T_{и1} = T_{п2} = 0,33 \cdot 10^{-5}$ с, $T_{и2} = T_{п1} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ с, $\omega_3 = 0,9 \cdot 10^3$ Гц.

В момент достижения частоты реактивности величины граничного значения ω_p при одновременном воздействии излучателей происходит выброс мощного электромагнитного излучения по направлению к ретранслятору, что приводит к искривлению пространства ретранслятора, сжимая его для пассивного компонента и расширяя для активного компонента. Сжатие и расширение пространства ретранслятора проявляется в замедлении времени для пассивного компонента и ускорении

времени для активного компонента. В искривленном пространстве временные характеристики компонентов изменятся следующим образом

$$T'_{и1} = T_{и2}, \quad T'_{и2} = T_{и1}, \quad T'_{п1} = T_{п2}, \quad T'_{п2} = T_{п1}, \quad (12)$$

т.е. выполняется соотношение

$$T'_{и1}/T_{и1} = T_{и2}/T'_{и2} = T_{п1}/T'_{п1} = T'_{п2}/T_{п2}. \quad (13)$$

Частота объекта ω_3 при этом не изменяется и в целом объект находится в евклидовом пространстве, кривизна которого равна единице при отрицательной кривизне пространства (пространство Лобачевского) пассивного компонента и положительной кривизне активного компонента. Вопросы, связанные с искривлением пространства во Вселенной для макроскопических объектов, изложены в работе [4].

Масса ретранслятора M_3 соответствует массе M_p топлива ЯР и определяется по формуле

$$M_3 = M_p/K. \quad (14)$$

Если $M_p = 20000$ кг, то масса ретранслятора $M_3 = 60$ кг.

Исходя из изложенного выше, состояние мгновенной критичности (фаза активности реактора) наступает с периодом $T_K = 1/\omega_p = 3$ с и временем разгона реактора $T = 0,33 \cdot 10^{-5}$ с, оставшееся время (фаза покоя реактора) реактор находится в подкритическом состоянии.

Рассмотрим геометрию схемы рисунка 1. Излучатели и реактор находятся в одной плоскости и на одной линии. Ретранслятор расположен на плоскости, параллельной плоскости реактора и излучателей. Рассматривая излучения как колебания струны [5], одним из концов которой является реактор, определяем расстояния от реактора до излучателя $\Pi_1 (L_1)$, до излучателя $\Pi_2 (L_2)$ и ретранслятора $O (L_3)$

$$\omega_1 L_1 / \pi = 1/(\omega_p l), \quad (15)$$

$$\omega_2 L_2 / \pi = \lambda/(\beta \omega_p), \quad (16)$$

$$\omega_3 L_3 / \pi = 1/(\omega_p l). \quad (17)$$

Произведя несложные преобразования, получаем соотношение для расчета расстояний от реактора до элементов схемы

$$L_1 = L_2 = L_3 = \pi c / \omega_0. \quad (18)$$

Таким образом, все излучатели и ретранслятор равноудалены от реактора. На основе приведенных выше расчетов расстояние до реактора составляет $3,14 \cdot 10^3$ м.

Представляется, что в основу реализации излучателей Π_1 и Π_2 могут быть положены принципы работы магнитоотрицательных излучателей, а в случае ретранслятора – пьезоэлектрических излучателей [6, 7].

Несомненно, уникальным ретранслятором энергии является человеческий мозг, функции которого полностью не определены, а возможности не изучены. При описании ретранслятора в схеме управления ЯР в качестве аналога была использована нейронная организация мозга человека. Существует аналогия между процессами, протекающими в коре головного мозга, и процессами в реакторе. Остановимся на некоторых, представляющих интерес для рассматриваемой проблемы, особенностях клеточного механизма мозга [8].

Известно, что мозг человека содержит примерно 10^{17} нейронов. Каждый нейрон представляет собой живую клетку, состоящую из дендритов, сомы и аксона. Сигналы, распространяющиеся в биологической нейронной сети, представляют собой короткие электрические импульсы. Переход от обычного отрицательного состояния содержимого клетки к кратковременному положительному потенциалу называют потенциалом действия или нервным импульсом, длительность T_{II} которого не более 10^{-3} с. Деполяризация, связанная с потенциалом действия, распространяется вдоль аксона как волна активности. Активность аксона характеризуется частотой электрических импульсов и различна у разных индивидуумов. Кроме того, существуют нейроны с короткими аксонами, которые не всегда генерируют нервные импульсы. Такие нейроны способны изменять уровень активности, но не держат потенциал действия.

Роль «молчащих клеток» в поведении человека не изучена. Реакция человека на внешнее воздействие обычно составляет около 2 с.

Исходя из описания биологической нейронной сети, следует аналогия между мгновенными нейтронами и нейронами с короткими аксонами. Возможна ситуация когда время жизни мгновенных нейтронов будет соотноситься со временем изменения уровня активности в нейронах с короткими аксонами. Время реакции человека соответствует величине $1/\omega_0$, а время $T_{II} = 10^{-3}$ с соотносится с T_{II1} и T_{II2} .

При условии, что у человека активизированы «молчащие клетки» и он попадает в схему управления ЯР, расширение пространства для нейронов с длинными аксонами уменьшает длительность импульса до $0,33 \cdot 10^{-5}$ с. Если клетки мозга индивидуума способны функционировать на частоте $3 \cdot 10^5$ Гц, то мозг является идеальным ретранслятором энергии.

Приведенные выше рассуждения не претендуют на точность, но они отражают главную проблему электромагнитного управления ЯР – необходимость разработки средств защиты человеческого мозга от недопустимых высокочастотных излучений. Другой проблемой является реализация ретранслятора, используя особенности физических процессов ультразвуковых излучателей. Кроме того, необходимо создание исследовательской установки для проведения экспериментов на предложенной модели управления ЯР.

Предложенная модель управления ЯР предоставляет следующие возможности:

- 1) повышение мощности реактора в десятки (сотни) раз при той же массе ядерного топлива;
- 2) защита существующих ЯР от внешнего не предусмотренного проектом электромагнитного воздействия;
- 3) упрощение существующих или создание нового типа систем управления и защиты ЯР за счет регулирования реактивности электромагнитным излучением;
- 4) повышение радиационной безопасности при эксплуатации ЯР;
- 5) снижение опасности радиационного за-

ражения при авариях, связанных с нарушением теплообмена ЯР.

Выводы

1. Предложен принципиально новый подход к управлению ЯР. В его основе лежит использование эффекта искривления пространства при воздействии на ЯР, находящийся в состоянии мгновенной критичности, высокочастотным электромагнитным излучением. В этом случае для стабильного функционирования ЯР необходимо наличие низкочастотного и высокочастотного излучателей и ретранслятора, преобразующего энергию за счет изменения собственного пространства.

2. В качестве реализации разработанного подхода представлена модель электромагнитного управления ЯР, включающая описание структуры, параметров и элементов (излучателей и ретранслятора). Модель дает возможность повысить радиационную безопасность при увеличении в десяти (сотни) раз мощности ЯР по сравнению с существующими.

3. Дальнейшая детализация модели связана с разработкой схем излучателей и ретранслятора, а также с созданием исследовательского стенда для изучения предложенной модели.

4. Исследование и применение электромагнитного управления ЯР предполагают наличие сред защиты персонала от нежелательного электромагнитного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Емельянов И.Я., Ефанов А.И., Константинов Л.В.* Научно-технические основы управления ядерными реакторами. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.

2. *Бахметьев А.М., Самойлов О.Б., Усынов А.М.* Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ. – М.: Энергоиздат, 1988. – 136 с.

3. *Крамер Э.У.* Ядерные реакторы с кипящей водой. – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1960. – 509 с.

4. *Черепашук А.М., Чернин А.Д.* Вселенная, жизнь, черные дыры. – Фрязино: «Век2», 2007. – 320 с.

5. *Бутиков Е.И., Быков А.А., Кондратьев А.С.* Физика. – М.: Наука, 1979. – 608 с.

6. *Бергман Л.* Ультразвук и его применение в науке и технике. – М.: Из-во иностр. лит-ры, 1957. – 726 с.

7. *Майер В.В.* Простые опыты с ультразвуком. – М.: Наука, 1978. – 160 с.

8. *Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л.* Мозг, разум и поведение. – М.: Мир, 1988. – 248 с.

Получено 21.02.2012 г.