последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад. – Мн.: – 2001. 6. Лукашов, К. И., Комракова, С. Г. Ландшафтно-геохимические исследования в Белорусской ССР в связи с эндемическим зобом // Известия ВГО. – 1986. – Вып. 1. – С. 75–83. 7. Чарнобыль. Погляд праз дзесяцігоддзе : Даведнік. Мн.: БелЭн, 2010. – 318 с. 8. Елиашевич, Н. В., Мацко, Ц. П. Верховые болота как радионуклидные миграционные аномалии. – Прыроднае асяроддзе Палесся : сучасны стан і яго змены. – Брэст, 2015. – С. 326–328. 9. Ливенский, В. М., Судас, А. С. Программно-целевое управление природно-антропогенными системами загрязненных радионуклидами территорий. – Брест, 2017. – С. 466–468.

УДК 94(47).084.8
РАДКОВЕЦ И.И., студент 5 курса факультета ветеринарной медицины
Научный руководитель − **Толкач А.Н.**, старший преподаватель
УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», г. Витебск, Республика Беларусь

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РАДИОЛОГИИ. КИНЕТИКА ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

Введение. Задача изучения реальных объектов или процессов состоит в выявлении их свойств с целью прогнозирования поведения и управления ими для достижения практически важных условий их поведения. Решение этой задачи существенно упрощается, если вместо самих объектов или процессов изучать их модели.

Математические модели, вследствие их относительной простоты, прежде всего, помогают понять процесс, дают возможность устанавливать качественные и количественные характеристики состояния процесса и на основе этих характеристик предсказать дальнейшее его развитие, т.е. поведение интересующих, «ведущих» в данном процессе без проведения натуральных экспериментальных исследований, в сложных случаях слишком дорогостоящих, а иногда и просто невозможных на данном уровне развития техники. В последних случаях оказывается весьма перспективным проведение вычислительного эксперимента над математической моделью. Он состоит в том, что по одним параметрам модели вычисляются другие ее параметры и на этой основе делаются выводы о свойствах исследуемого явления [5].

Материал и методы исследования. Материалом исследования послужили научные работы зарубежных и отечественных специалистов, связанные с моделирование процессов в ядерной физике. Применяли следующие методы: анализ, сравнение, обобщение и интерпретация представленных результатов.

Результаты исследований. Основная характеристика энергетического ядерного реактора — его выходная мощность. Мощность в 1 МВт соответствует цепной реакции, при которой происходит $3 \cdot 10^{16}$ делений в 1 сек. Активная

зона ядерного реактора — пространство, в котором происходит контролируемая цепная реакция деления ядер тяжёлых изотопов урана или плутония. В ходе цепной реакции выделяется энергия в виде нейтронного и γ-излучения, β-распада, кинетической энергии осколков деления [1].

Поскольку каждая новая цепь начинается одной частицей, то размножение цепей есть размножение частиц. Величина коэффициента размножения показывает - увеличивается, убывает или остается неизменным полное число нейтронов в реагирующем объёме по прошествии среднего времени цикла обращения нейтрона. Каждый нейтрон, участвующий в цепном процессе, претерпевает цикл обращения: рождается в реакции деления, некоторое время существует в свободном состоянии, затем либо теряется, либо порождает новый акт деления и даёт нейтроны следующего поколения. Сменяющиеся поколения нейтронов разделены актами деления.

Критическое состояние характеризуется условием $k=1$. При $k<1$ состояние вещества называется подкритическим и цепная реакция быстро затухает, если в начальный момент в среде существовало какое-то число нейтронов. Если в начальный момент нейтронов не было, то цепная реакция вообще невозможна. В надкритическом состоянии $k>1$ и цепная реакция лавинообразно нарастает до тех пор, пока в силу каких-либо причин не станет $k<1$. Поскольку тяжёлые ядра могут делиться самопроизвольно, то какое-то малое число нейтронов всегда присутствует в активной зоне реактора, включающей тяжёлые нуклиды, а значит, всегда находится первый нейтрон, начинающий цепной процесс. Достижение критического состояния представляет наибольший интерес с точки зрения получения контролируемого источника энергии.

Изменение числа нейтронов в некритическом реакторе определяется отличием k от единицы и временем нейтронного цикла τ . Если в некоторый момент времени в реакторе имеется n нейтронов, то по определению коэффициента размножения, их число, по прошествии одного цикла, обращения станет равным $k \cdot n$, а приращение за время цикла, составит:

$$(kn - n) = n(k - 1)$$

Следовательно, изменение числа нейтронов в единицу времени равно:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{n(k-1)}{\tau}$$

Решение этого уравнения даёт зависимость числа нейтронов от времени в виде:

$$n(t) = n_0 \cdot e^{\frac{k-1}{\tau t}},$$

где n_0 — число нейтронов в момент $t = 0$. Наибольшее время цикла характерно для реакторов на тепловых нейтронах, где оно достигает $\tau=10^{-3}$ сек. Если предположить, что $k = 1.01$, то через каждую секунду число нейтронов возрастает в $\frac{n(1)}{n_0} = e^{\frac{0,01}{0,001}} = e^{10} \approx 20000$ раз, и в такое же число раз возрастает число делений, т. е. энерговыделение в реакторе. Следовательно, в контролируемой установке превышение k над единицей всего на 0.01 уже недопустимо. Правда, приведённая оценка не учитывает запаздывающих нейтронов и поэтому является завышенной.

В средах из чистых делящихся материалов времена нейтронных циклов имеют порядок 10^{-8} сек. При $k = 1,1$ один начальный нейтрон через 6 мкс порождает 10^{26} нейтронов, или одно деление -10^{26} делений, что эквивалентно делению около 40 кг урана [2; 3; 4].

Заключение. Приведенные в рассмотренной математической модели оценки показывают, что скорость нарастания цепной реакции деления может быть необычайно высока, что требует наличия в энергетическом ядерном реакторе эффективной системы регулирования его реактивности.

Литература.

1. Основы теории и методы расчета ядерных реакторов: Учеб. пособие для вузов / Г.Г.Бартоломей, Г.А. Бать, В.Д. Байбаков, М.С. Алтухов.- 2-е изд., перераб. и доп.- М. : Энергоатомиздат, 1989.-512с.: ил. 2. Кошелев Ф.П. Нейтронно-физический и теплогидравлический расчет реактора на тепловых нейтронах : учебное пособие / Ф. П. Кошелев, И. В. Шаманин ; Под ред. В. И. Бойко. — Томск: Издво ТПУ, 1996. — 80 с. 3. Алтухов Д. Е. Расчет нестационарных и переходных нейтроннофизических процессов в реакторе на тепловых нейтронах: учебное пособие / Д. Е. Алтухов, Ф. П. Кошелев, И. В. Шаманин ; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во ТПУ, 1998. — 126 с. 4. Климов А. Н. Ядерная физика и ядерные реакторы: учебник / А. Н. Климов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 2002. — 464 с. 5. Потабенко Н. А. Численные методы. Решение задач линейной алгебры и уравнения в частных производных: Тексты лекций / Н. А. Потабенко. — М.: Изд-во МАИ, 1997. — 88 с.