

2. Айваржи М. В. и др. — В кн.: Радиоактивность атмосферы и гидросферы. Радиоактивные трассеры. Вильнюс, Моклас, 1977, с. 201.
3. Стыро Д. Б. и др. — В кн.: Химические и радиоактивные загрязнения атмосферы и гидросферы. Вильнюс, Моклас, 1978, с. 131.
4. Стыро Д. Б. и др. — В кн.: Радиоактивные трассеры в исследовании атмосферы и гидросферы. Вильнюс, Моклас, 1979, с. 159.
5. Стыро Д. Б. и др. — Атомная энергия, 1978, т. 45, вып. 3, с. 201.
6. Стыро Д. Б. и др. — Там же, 1980, т. 49, вып. 1, с. 43.
7. Kautsky H. — Deutsche Hydrographische Zeitschrift, 1973, N 6, S. 241.
8. Kautsky H. — Ibid., 1977, N 7, p. 217.
9. Стыро Л. Б. и др. — [3], с. 138.
10. Стыро Б. И., Луянас В. Ю., Шонаускас К. К. Радиоактивность атмосферы и метеорология. Вильнюс, Минтис, 1975.

Поступила в Редакцию 18.11.80

УДК 612.015.3

Метод расчета периода полувыведения ^{137}Cs и ^{90}Sr на основе метаболизма К и Са

САБО А. Ш. (Институт по контролю пищевых продуктов, Дзьерж, ВНР)

Среди радионуклидов, загрязняющих биосферу и имеющих сравнительно большой период полураспада, самыми распространенными являются ^{137}Cs и ^{90}Sr . В настоящей работе предложен метод расчета периода полувыведения этих радионуклидов для человека, основанный на подобию метаболических свойств калия с цезием и кальция со стронцием. Щелочноземельный металл стронций по химическим свойствам очень близок к кальцию, оба в основном накапливаются в костях. Цезий, как и калий, относится к группе щелочных металлов, и эти металлы в основном содержатся в мышечных тканях. Таким образом, кальций является стабильным носителем ^{90}Sr , а калий — носителем ^{137}Cs .

Расчет периода полувыведения. Предположим, что a — общее количество рассматриваемого элемента (К, Са, Cs, Sr) в организме — постоянно. Если $n_1(t)$ — первоначальное количество данного элемента в системе, а $n_2(t)$ — его количество, попавшее из пищи в систему к определенному моменту времени t (сут), то сумма $n_1 + n_2$ постоянна. В начальный момент $n_2 = 0$ и $n_1 = a$. Пусть за единицу времени в систему вводится количество данного элемента b и выводится такое же количество смеси $n_1 + n_2$.

При этих условиях

$$dn_1 = -\frac{n_1}{a} b dt;$$

$$dn_2 = b dt - \frac{n_2}{a} b dt.$$

Решая уравнения

$$n_1(t) = n_1(0) \exp\left(-\frac{b}{a} t\right);$$

$$n_2(t) = a - n_1(t) = n_2(0) + n_1(0) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{b}{a} t\right)\right],$$

рассчитываем период полувыведения $t_{1/2} = (a/b) \ln 2$, который зависит не от абсолютных значений a и b , а только от их отношения.

Определение периода полувыведения ^{137}Cs . По опубликованным данным содержание калия в человеческом организме равно 1,5–2,3 г/кг массы для мужчин и 1,3–1,8 г/кг массы для женщин [1, 2], ежедневная потребность в этом элементе для взрослых людей в среднем составляет 1,0–1,5 г [3, 4]. Обычно количество калия, попадающего в человеческий организм с пищей (например 1,2–4,1 г [5], ~5 г [3], 2,0 г [6]), превышает потребность организма приблизительно в 2 раза. Это избыточное количество калия организмом не усваивается и не влияет на период полувыведения.

Если для условного человека принять $a = 140$ г, $b = 1,2$ г калия, то период полувыведения этого радионуклида составит 80,9 сут.

Уменьшение первоначального количества калия в организме выражается соотношением $y = 140 \exp(-0,00857t)$.

Количество калия в организме и ежедневная потребность в нем в зависимости от пола, массы и возраста человека могут колебаться в довольно большом интервале (табл. 1).

Количество цезия в организме в среднем составляет ~1,5 мг [7], а с пищей ежедневно поступает 0,02–0,03 мг [8]. Предположив, что, как и для калия, только половина цезия, попадающего в организм, действительно участвует в метаболизме, находим, что ежедневно накапливается ~0,01–0,015 мг цезия. Если принять среднее значение 0,012 мг, то период полувыведения цезия равен 86,6 сут. Отметим, что по опубликованным данным [9–12] период полувыведения ^{137}Cs для человека в среднем составляет 64–115 сут (табл. 2). Обмен веществ у мелких животных намного быстрее, поэтому период полувыведения у них может быть значительно меньшим: у крыс, например, ~23 сут [13].

Определение периода полувыведения ^{90}Sr . Основная часть стронция и кальция находится в костных тканях. Скорость обмена этих элементов значитель-

Таблица 1

Период полувыведения калия, сутки

Ежедневная потребность, г	Количество в организме, г									
	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
0,8	69	78	87	95	104	113	121	130	130	147
0,9	62	69	77	85	92	100	108	116	123	131
1,0	55	62	69	76	83	90	97	104	111	118
1,1	50	57	63	69	76	82	88	95	101	107
1,2	46	52	58	64	69	75	81	87	92	98
1,3	43	48	53	59	64	69	75	80	85	91
1,4	40	45	50	54	59	64	69	74	79	84
1,5	37	42	46	51	55	60	65	69	74	79
1,6	35	39	43	48	52	56	61	65	69	74

Таблица 2

Период полувыведения цезия, сут

Количество накапливающегося цезия, мг	Количество в организме, мг										
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
0,010	69	76	83	90	97	104	111	118	125	132	139
0,011	63	69	76	82	88	95	101	107	113	120	126
0,012	58	64	69	75	81	87	92	98	104	110	116
0,013	53	59	64	69	75	80	85	91	96	101	107
0,014	50	55	59	64	69	74	79	84	89	94	99
0,015	46	51	55	60	65	69	74	79	83	88	92

Таблица 3

Период полувыведения кальция, сут

Ежедневная потребность, г	Количество в организме, г									
	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700
0,2	2273	3119	3466	3812	4159	4505	4852	5199	5545	5892
0,3	1848	2079	2310	2542	2773	3004	3235	3466	3697	3928
0,4	1386	1560	1733	1906	2079	2253	2426	2599	2773	2946
0,5	1109	1248	1386	1525	1664	1802	1941	2079	2218	2357
0,6	924	1040	1155	1271	1386	1502	1617	1733	1848	1964
0,7	792	891	990	1089	1188	1287	1386	1485	1584	1683
0,8	693	780	866	953	1040	1126	1213	1300	1386	1473

но меньше, чем в системе $K - Cs$, и может достигать нескольких лет в зависимости от возраста человека [14, 15].

Общее количество кальция в организме ~ 1000 — 1500 г [3, 7, 14], а ежедневная потребность условного человека $0,3$ — $0,6$ г [16, 17]. Если принять средние значения равными 1200 г и $0,5$ г соответственно, то период полувыведения составит $1663,6$ сут (табл. 3). Уменьшение первоначального количества кальция в организме выражается соот-

ношением $y = 1200 \exp(-0,000417t)$. Следует отметить, что среднее количество кальция, ежедневно попадающего в человеческий организм с пищей, обычно значительно больше, чем ежедневная потребность. Так, по данным работы [7] оно составляет $\sim 1,1$ г, а по нашим измерениям [6] $\sim 0,9$ г.

Количество стронция в организме человека в среднем ~ 320 мг [7], в организм ежедневно попадает с пищей обычно $1,5$ — $2,0$ мг [7, 14], т. е. приблизительно в 2 раза превышает потреб-

Таблица 4

Период полувыведения стронция, сут

Количество накапливающегося стронция, мг	Количество в организме, мг						
	200	250	300	350	400	450	500
0,10	1386	1733	2079	2426	2773	3119	3466
0,15	924	1155	1386	1617	1848	2079	2310
0,20	693	866	1040	1213	1386	1560	1733
0,25	555	693	832	970	1109	1248	1386
0,30	462	578	693	809	924	1040	1155

ность организма. Как отмечалось ранее, кальций и стронций имеют общую систему выведения. Дискриминационный фактор Sr/Ca для человека равен ~0,25 [14]. Количество стронция, которое действительно накапливается в человеческих тканях, составляет 0,18—0,25 мг. Если принять среднее значение 0,2 мг, то период полувыведения составит 1109 сут (табл. 4). Как известно, дискриминационные факторы для стронция свидетельствуют о том, что отношение Sr/Ca в тканях значительно меньше (может быть даже на порядок), чем в пище человека или корме животных [18]. По опубликованным данным [14] и по нашим измерениям [6] дискриминационный фактор для цезия приблизительно равен 1,0.

В заключение отметим, что выражение $t_{1/2} = (a/b) \ln 2$ позволяет приблизительно определять общее количество элемента в организме, если известны его период полувыведения и количество, ежедневно удаляемое с мочой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Lloyd R. e.a. — Rad. Res., 1973, v. 54 (3), p. 463.
- Боголюбов В. М. Радиоизотопная диагностика заболеваний сердца и легких. М., Медицина, 1975.
- Ketz H. Die Ernährung des gesunden Menschen. Berlin, VEB Verlag, 1975.
- Recommended Daily Nutrient Intakes. Health and Welfare Canada. Committee for Revision of the Canadian Dietary Standard, Bureau of Nutritional Sciences, 1974.
- Schelenz R. — J. Radioanal. Chem., 1977, v. 37, p. 539.
- Szabó A., Bende E. — Magyar Radiológia, 1976, v. 28, p. 118.
- Человек. Медико-биологические данные. М., Медицина, 1977.
- Clemente G. — J. Radioanal. Chem., 1976, v. 32 (1), p. 25
- Lindbom G. Experiment with a controlled intake of ¹³⁷Cs in man. AEC Accession, N 3393, Rep. N CONF-747-4. Avail. ORAU, 12, 1964.
- Andrási A., Bozóky L., Fehér I. — Fizikai Szemle, 1968, v. 18, p. 299.
- Hasanen E., Rahola T. — Ann. Clin. Res., 1971, v. 3, p. 236.
- Рамзаев П. В. и др. — Атомная энергия, 1969, т. 26, вып. 1, с. 62.
- Селецкая Л. П. и др. — Гигиена и санитария, 1976, т. 8, с. 106.
- Nedelkovits J. Elelmiszerek és mezőgazdasági termékek radioaktivitásának kialakulása és a szennyezettség vizsgálati módszerei. Budapest, MEM, 1968.
- Неветруева М. А., Шубик В. М., Токин И. Б. Влияние инкорпорированных радиоизотопов на иммунологические процессы. М., Атомиздат, 1972.
- Tarján R., Lindner K. Tápanyagtáblázat. Budapest, Medicina, 1978.
- Empfehlungen für die Nährstoffzufuhr der Deutschen Gesellschaft für Ernährung. Ernährungsumschau, 1975, Bd 22, S. 132.
- Сабо А., Мезей И. — Гигиена и санитария, 1978, т. 8, с. 81.

Поступила в Редакцию 21.07.80

Рефераты статей

УДК 621.039.577

Головин А. И., Абрамов В. М., Коваленко К. И., Мерзлякин Г. В., Сергеев Ю. А., Сосенко Г. А., Суворов А. П., Сухорученков П. В., Шамаков В. М., Шмарев А. Т. **Использование плавучих АЭС в районах Севера.** — Атомная энергия, 1981, т. 51, вып. 2, с. 83.

В статье проанализирована возможность создания плавучей АЭС малой мощности (~6000 кВт) для обеспечения электроэнергией геологоразведочных работ в труднодоступных районах Севера и Северо-Востока СССР. Приведены основные характеристики АЭС, рассмотрены специфические вопросы, связанные с ее эксплуатацией в условиях низкой температуры. Даны результаты сопоставления экономических показателей бурения с использованием плавучих АЭС и дизельных приводов буровых установок (рис. 3, список лит. 5 назв.).

УДК 621.039.003:621.039.516.4:621.039.52.44

Матвеев А. А., Игнатенко Е. И., Волкова А. П., Трофимов Б. А. **Организация использования топлива на Кольской АЭС.** — Атомная энергия, 1981, т. 51, вып. 2, с. 87.

Рассмотрены способы формирования топливной загрузки ВВЭР в зависимости от энергетической системы, в которой эксплуатируется атомная станция, форсированной мощности реактора, объемов и сроков планово-предупредительных ремонтов основного оборудования. Приведены оптимальные пути формирования топливных загрузок ВВЭР-440. Результаты иллюстрируются на примере эксплуатации первой очереди Кольской АЭС с ВВЭР-440 в Кольской энергетической системе (табл. 2, список лит. 4 назв.).

УДК 621.039.50

Боженков О. Л., Дунаев В. Г., Кузнецов Н. А., Лукьянец И. А., Мальцев В. В., Потапенко П. Т., Сарылов В. Н., Снитко Э. И., Филиц

чук Е. В., Шейнкман А. Г. **Регулирование энергораспределения реактора второго блока Белоярской АЭС.** — Атомная энергия, 1981, т. 51, вып. 2, с. 91.

Рассмотрена задача управления энергораспределением реактора АМБ-200 БАЭС, которая формулируется как задача стабилизации в течение интервала работы между перегрузками ТК формы энергораспределения, однозначно определяемой заданным распределением коэффициента размножения нейтронов $k_{\infty}^0(r)$, при множестве технологических ограничений. Для решения задачи применяется алгоритм модифицированного симплекс-метода с мультипликативным представлением обратной матрицы. Приведены результаты расчетов, а также сведения по объему требуемой памяти ЭВМ и времени вычислений (табл. 2, список лит. 10 назв.).

УДК 621.039.58

Власов В. И., Мокрушин С. А., Радченко В. Р., Селин В. В., Артамонов А. А., Зырянов Б. А., Власов С. М., Петров А. С., Ратников Е. Ф. **Контроль параметров реактора по низкочастотным пульсациям давления.** — Атомная энергия, 1981, т. 50, вып. 2, с. 96.

В работе рассматривается метод определения коэффициента запаса до кипения по пульсациям давления теплоносителя за пределами активной зоны. Для анализа пульсаций давления и определения начала кипения в активной зоне используются методы распознавания образов. Выделены наиболее информативные признаки и с помощью потенциальных функций построены разделяющие функции для режимов «устойчивый» — «неустойчивый» (рис. 3, табл. 1, список лит. 9 назв.).

Продолжение см. на с. 142