

УДК 614.7:614.8.87:876

Сравнительная оценка радиационной опасности для населения от выбросов в атмосферу тепловых и атомных электростанций

КНИЖНИКОВ В. А., БАРХУДАРОВ Р. М.

Загрязнение атмосферы многих промышленно развитых городов обуславливает значительную часть хронических заболеваний населения вплоть до массовых острых поражений и гибели людей. Одним из основных источников загрязнения окружающей среды является в настоящее время и, по-видимому, будет оставаться в ближайшем будущем производство электрической и тепловой энергии. Уже ныне в США на душу населения в год потребляется энергия, эквивалентная сжиганию 13 т угля, а к 2000 г. согласно прогнозу потребление энергии в США удвоится [1]. Очевидно, что удовлетворение растущих энергетических потребностей чревато прогрессирующим загрязнением окружающей среды. Это является одним из существенных доводов в пользу поисков и развития источников энергии менее опасных для окружающей среды и человека, чем тепловые электростанции (ТЭС), работающие на органическом топливе. Но психологический фактор приводит к тому, что в некоторых странах, например в Швеции, явно неблагоприятное воздействие выбросов пыли и SO_2 с ТЭС признается общественным мнением менее опасным, чем воздействие понижающего излучения вблизи АЭС.

Выбросам естественных радиоактивных элементов (ЕРЭ) и создаваемым ими дозам облучения за счет работы ТЭС в последнее время уделяется большое внимание. Однако опубликованные работы [2—6], как правило, посвящены отдельным нуклидам и не содержат достаточно полной характеристики радиационного воздействия ТЭС на население.

В настоящей работе сделана попытка дать более полную картину облучения населения за счет выбросов ТЭС как непосредственно в районе расположения станции, так и для всей страны. Дана оценка относительной опасности ТЭС и АЭС по адекватным критериям — по эффекту канцерогенеза, который может сопровождать выброс естественных и искусственных радиоактивных нуклидов. Другие компоненты выбросов ТЭС, обладающие вредным воздействием, такие, как зола, CO_x , NO_x , бенз(а)пирен и т. п., требуют специального рассмотрения и в данной статье не обсуждаются.

Наряду с литературными данными в значительной степени использованы результаты, полученные в Институте биофизики (ИБФ) МЗ СССР. Материалы, представленные в статье, впервые позволяют дать ориентировочную, но достаточно полную оценку радиационной опасности ТЭС и АЭС для населения. В статье рассмотрены только ТЭС, работающие на угле.

Сопоставление дозовых нагрузок само по себе еще не позволяет сравнить опасность ТЭС и АЭС, поскольку естественные и искусственные радиоактивные элементы обуславливают облучение различных органов и тканей, отличающихся радиочувствительностью. Поэтому возникла необходимость, не ограничиваясь определением дозовых нагрузок, рассчитать риск для каждого из видов выбросов.

В основу оценки радиобиологического эффекта облучения положены данные по учащению смертности от рака на основе концепции беспороговости и линейной зависимости доза — эффект. Поскольку учащение смертности от рака под влиянием облучения — вероятностно-стохастическое явление, это позволило использовать средние характеристики облучения всего населения или отдельных групп, которые и являются мерой радиобиологических эффектов. При оценке облучения всего населения принималось, что ТЭС (АЭС) равномерно распределе-

Содержание ЕРЭ в угле и летящей золе, $\mu\text{Ки/г}$

Таблица 1

Нуклид	Уголь, донецкий, кузнецкий	Зола донецкого угля	Уголь, Польша	Зола, США
^{226}Ra	0,5—2,9	5,0	0,4—2,4	4,0
^{228}Ra	—	3,3	—	2,5
^{232}Th	—	2,3—8,7	—	2,6
^{40}K	—	46—60	—	—
^{222}Rn	0,3—2,0	—	—	—
^{210}Pb	0,2—14	12	—	—
Источник данных	Запорожская ОблЭС, ИБФ, 1976	ИБФ, 1976	[4]	[2,7]

Выбросы ЕРЭ, накопление на почве и содержание их в атмосфере в районе расположения КДТЭС, нормированные на 10^3 МВт(эл.)

Таблица 2

Параметр	^{226}Ra	^{228}Ra	$^{210}\text{Pb}^*$	^{210}Po	^{232}Th	^{40}K
Годовой выброс, Ки	0,53	0,3	2,2	2,0	0,53	5,3
Накопление на почве, Ки	10,5	2,5	31	19	—	105
Плотность выпадений, мКи/км ²	0,53	0,3	2,2	2,0	—	5,3
Плотность загрязнения территории, мКи/км ²	10,5	2,5	31	19	—	105
Содержание в атмосфере 10^{-18} Ки/л	1,7	1,1	4,0	3,9	1,7	—

* При расчете образования ^{210}Pb из ^{222}Rn принято, что весь радон, содержащийся в угле, поступает в атмосферу, хотя имеются данные [2], что улавливаемая зола удерживает 30% радона.

ны по всей сельскохозяйственной территории страны (5,42 млн. км²); при оценке облучения отдельных групп населения рассматривалась зона в пределах 1000 км² вблизи электростанции. Для сравнения выбраны две современные электростанции: Каменско-Днепровская ТЭС (КДТЭС) мощностью 1200 МВт(эл.) и Нововоронежская АЭС (НВАЭС) мощностью 1400 МВт(эл.). В расчетах принято, что станции проработали 20 лет с постоянной мощностью.

КДТЭС потребляет 3,4 млн. т угля и выбрасывает в атмосферу $1,3 \cdot 10^5$ т золы в год. Данные о содержании важнейших ЕРЭ в углях, наиболее широко используемых в стране, представлены в табл. 1 в сопоставлении с характеристиками зарубежных углей. Оценки выброса радиоактивных нуклидов КДТЭС и накопления их в почве за 20 лет даны в табл. 2.

Выпадающие ЕРЭ включаются в биологические цепи и поступают в организм человека с пищевыми продуктами, вдыхаемым воздухом и питьевой водой. Растворимость угольной золы, которая определяет биологическую доступность содержащихся в ней радионуклидов, достигает 40% в 1 N растворе HCl [4]. В расчете принята максимальная величина 100%.

Расчет загрязненности района выполнен по линейной модели [8]:

$$C(t) = p_n q_n(t) + p_v q_v(t), \quad (1)$$

где $C(t)$ — активность нуклида в рационе, пКи/рацион; $q_n(t)$, $q_v(t)$ — активность нуклида

в почве и выпадениях в момент t , мКи/км²; p_n , p_v — коэффициенты пропорциональности, пКи·км²/(мКи·рацион).

При отсутствии выпадений из атмосферы отношение активностей различных радионуклидов в рационе и почве характеризует коэффициент почвенного загрязнения [9—12]. Для оценки коэффициентов воздушного загрязнения использованы результаты, полученные в ИБФ для ^{90}Sr глобального происхождения, по которым воздушные коэффициенты в 10—20 раз больше почвенных. В расчетах использовано соотношение 10. Таким образом, по наблюдаемым в естественных условиях соотношениям между поступлением различных ЕРЭ и накоплением их в организме человека оценивалось содержание в организме в предположении, что 20-летний период загрязнения окружающей среды создает условия, близкие к естественным.

При оценке концентрации ЕРЭ в воздухе принято, что вся выбрасываемая зола оседает равномерно на рассматриваемой территории с постоянной скоростью 0,01 м/с [13]. При этом концентрация нуклида в воздухе

$$q_{\text{возд}} = A/V \text{ Ки/м}^3, \quad (2)$$

где A — выброс нуклида, Ки/с; V — объем воздуха, в котором разбавляется выброс, м³/с.

Калий-40 в природе всегда сопутствует стабильному калию, накопление которого в организме находится под контролем гомеостатических механизмов. Следовательно, и поступление ^{40}K ограничено физиологическими потребностями организма. Поэтому этот нуклид рассматривается только как источник внешнего облучения. Не учитывается также поступление ^{232}Th по пищевой цепи вследствие чрезвычайно низкой всасываемости его из желудочно-кишечного тракта [14]. Расчеты поглощенных доз выполнены по известным моделям [11].

Средние индивидуальные дозы облучения населения в районе расположения ТЭС, мбэр/год на 10^3 МВт(эл.)

Таблица 3

Облучаемый орган	^{226}Ra	^{228}Ra	^{210}Pb	^{210}Po	^{232}Th	^{40}K	Σ
Костная ткань	0,74	$1,7 \cdot 10^{-3}$	19,3	93	—	0,45	114
Костный мозг	0,05	$5,3 \cdot 10^{-4}$	1,9	12	—	0,45	14,5
Легкие	0,71	0,1	1,44	0,88	38	0,45	42
Все тело	—	—	—	—	—	0,53	0,53

При облучении внутренних органов внешними источниками коэффициент экранирования принимался равным 0,8 [15].

Результаты расчетов представлены в табл. 3. Видно, что основной вклад в облучение костной ткани и костного мозга дает ²¹⁰Po, а доза в легких практически полностью обусловлена ²³²Th. Средние дозы облучения населения всей страны за счет выбросов ТЭС с учетом различия в размерах загрязняемой территории будут приблизительно в 5500 раз меньше.

При нормальной работе АЭС влияние ее выбросов на формирование радиационной обстановки даже вокруг станции не обнаруживается на фоне глобальных выпадений продуктов ядерных взрывов и естественных уровней радиации. Так, по данным [16], мощность дозы γ -излучения на местности вокруг НВАЭС составляет порядка 10 мкР/ч, что соответствует уровню естественного фона, а при замерах по содержанию ¹³¹I и ¹³⁷Cs в организме людей, проживающих в 3—4 км от АЭС, влияние станции не обнаруживается. Поэтому оценка доз за счет выбросов НВАЭС выполнена не по измеренным концентрациям радионуклидов в различных объектах, а по их выбросам. Оценка выбросов НВАЭС, в том числе радиоактивных благородных газов (РБГ), и уровней загрязнения окружающей среды представлены в табл. 4. Концентрация долгоживущих нуклидов (см. табл. 4) в 10—100 раз ниже глобальной [18].

Поступление радионуклидов с рационом и внутреннее облучение соответствующих органов даны только для ¹³¹I, ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs как наиболее

важных биологически радионуклидов, по которым имеются численные значения параметров миграции. Расчеты загрязнения рациона выполнены по формуле (1). По материалам, полученным в результате изучения загрязнения районов глобальными выпадениями, лучшее согласие с фактическими данными для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs дает соотношение

$$C(t) = p_{\text{п}} q_{\text{п}}(t-1) + p_{\text{в}} [q_{\text{в}}(t) + q_{\text{в}}(t-1)], \quad (3)$$

где $q_{\text{п}}(t-1)$ — содержание нуклида в почве в момент времени t , мКи/км²; $q_{\text{в}}(t)$, $q_{\text{в}}(t-1)$ — годовые уровни выпадений в моменты времени $t-1$ и t , мКи/км².

Коэффициенты $p_{\text{п}}$ и $p_{\text{в}}$ по натурным наблюдениям составляют: для ⁹⁰Sr и ¹³⁷Cs $p_{\text{п}} = 0,2$ и $1,17$; $p_{\text{в}} = 3,6$ и $12,7$ пКи·км²/(мКи·рацион).

Проведенные в ИБФ исследования показали, что соотношение между суточным поступлением ¹³⁷Cs (пКи/рац) и содержанием его в организме в цезиевых единицах (ц. е.) составляет единицу. Это связано с тем, что для ¹³⁷Cs характерен небольшой период полувыведения из организма [$T_{\text{эф}} \approx 100$ сут (для взрослых)] и содержание его в организме обусловлено практически поступлением нуклида с рационом лишь в данном году. Поскольку для ⁹⁰Sr $T_{\text{эф}} = 17$ лет [11], его содержание в организме обусловлено многолетним поступлением нуклида с рационом. Для оценок накопления ⁹⁰Sr использована однокомпонентная экспоненциальная модель:

$$Q(t) = e^{-\lambda_{\text{эф}} t} k \int_0^t C(\tau) e^{\lambda_{\text{эф}} \tau} d\tau, \quad (4)$$

Выброс радионуклидов, накопление их в почве и содержание в атмосферном воздухе в районе расположения НВАЭС, на 10³ МВт(эл.) [16, 17]

Таблица 4

Параметр	¹³¹ I	⁹⁰ Sr *	¹³⁷ Cs **	⁹⁵ (Zr+Nb)	⁶⁰ Co	¹⁴⁴ Ce	РБГ ***
Годовой выброс, мКи	26	25	70	11	7,9	57	3·10 ⁷
Накопление на почве за 20 лет, мКи	—	400	4100	2,7	57	65	—
Плотность выпадений, мКи/км ²	2,6·10 ⁻²	2,5·10 ⁻²	7·10 ⁻²	—	—	—	—
Плотность загрязнения территории, мКи/км ²	—	0,4	1,1	2,7·10 ⁻³	5,7·10 ⁻²	6,5·10 ⁻²	—
Содержание в воздухе, 10 ⁻¹⁸ Ки/л	8,3·10 ⁻³	8·10 ⁻³	2,2·10 ⁻²	3,5·10 ⁻³	2,5·10 ⁻³	1,8·10 ⁻²	3400

* Принято, что выброс полностью состоит из ⁹⁰Sr.
 ** Принято, что выброс полностью состоит из ¹³⁷Cs.
 *** Принято, что ⁸⁵Kr равномерно распределен в атмосфере Северного полушария, ¹³³Xe — в атмосфере над территорией страны, остальные нуклиды — в районе станции.

Средние индивидуальные дозы облучения населения в районе расположения АЭС, мбэр/год на 10³ МВт(эл.)

Таблица 5

Облучаемый орган	¹³¹ I	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs	⁹⁵ (Zr+Nb)	⁶⁰ Co	¹⁴⁴ Ce	ИРГ	Внешнее	Σ
Костная ткань	—	0,4	—	—	—	—	—	7,6·10 ⁻²	48·10 ⁻²
Костный мозг	—	0,02	—	—	—	—	—	7,6·10 ⁻²	9,7·10 ⁻²
Щитовидная железа	2·10 ⁻³ (4·10 ⁻²)*	—	—	—	—	—	—	7,6·10 ⁻²	7,8·10 ⁻²
Легкие	4,3·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁴	7·10 ⁻⁵	3·10 ⁻⁶	1,3·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻⁴	—	—	—
Все тело (внешнее облучение)	—	—	3,5·10 ⁻² (4·10 ⁻²)**	8,9·10 ⁻⁴	2,3·10 ⁻²	1,3·10 ⁻⁴	3,7·10 ⁻²	—	13,5·10 ⁻²

* Доза на ЩЖ детей в возрасте до 1 года.
** Доза за счет инкорпорированного ¹³⁷Cs.

где $Q(t)$ и $C(\tau)$ — содержание в организме и в рационе в стронциевых единицах; k — коэффициент перехода из рациона в скелет; $\lambda_{эф}$ — эффективная постоянная выведения из организма, год⁻¹.

Принято, что убыль нуклида на почве происходит только за счет физического распада. Поэтому содержание в рационе (пКи/рацион) при постоянном уровне годовых выпадений представлено в виде

$$C(t) = \frac{p_{п}q_{в}}{\lambda_{р}} [1 - e^{-\lambda_{р}(t-1)}] + 2p_{в}q_{в}, \quad (5)$$

где $\lambda_{р}$ — постоянная физическая полураспада, год⁻¹.

Подставив формулу (5) в (4) и проинтегрировав, получим выражения для определения ⁹⁰Sr в скелете человека:

$$Q(t) = q_{в}k e^{-\lambda_{эф}t} \left[\frac{1}{\lambda_{эф}} (e^{\lambda_{эф}t} - 1) \times \left(\frac{p_{п}}{\lambda_{р}} - 2p_{в} \right) - \frac{p_{п}e^{\lambda_{р}t}}{\lambda_{р}\lambda_{б}} (e^{\lambda_{б}t} - 1) \right], \quad (6)$$

где $\lambda_{б}$ — постоянная биологического выведения из организма, год⁻¹. Для ¹³¹I с $T_{1/2} = 8$ сут содержание в организме обусловлено только свежими (1,5—2 мес) выпадениями. Параметры перехода ¹³¹I по цепи выпадения — молоко — щитовидная железа (ЩЖ) заимствованы из работы [19].

Из результатов оценки дозовых нагрузок за счет выбросов АЭС (табл. 5) следует, что ведущим фактором в формировании доз является внешнее облучение (за исключением костной ткани).

Сравнительные данные по облучению населения вблизи ТЭС и АЭС, а также по облучению всего населения СССР представлены в табл. 6. Оценка риска вследствие облучения населения проводится по расчету возможного количества дополнительных смертей от злокачественных новообразований, вызванных этим облучением. Количественные показатели зависимости доза — эффект взяты по данным работ [20—24]. Анализ результатов (табл. 7) позволяет прежде всего отметить общий незначительный риск от радиа-

Облучение населения СССР выбросами ТЭС и АЭС, мбэр/год на 10³ МВт(эл.)

Таблица 6

Облучаемый орган	Вблизи станций		Все население			
			ТЭС		АЭС	
	ТЭС	АЭС	Индивидуальная доза	Популяционная доза, чел·бэр/год	Индивидуальная доза	Популяционная доза, чел·бэр/год
Костная ткань	114	48·10 ⁻²	21·10 ⁻³	5250	11,7·10 ⁻⁵	29
Костный мозг	15	9,6·10 ⁻²	2,8·10 ⁻³	700	4,7·10 ⁻⁵	3,8
Щитовидная железа	—	7,8·10 ⁻²	—	—	4,3·10 ⁻⁵	3,4
Легкие	42	7,6·10 ⁻²	7,8·10 ⁻³	1950	4,2·10 ⁻⁵	3,4
Все тело	0,53	13,5·10 ⁻²	9,8·10 ⁻⁵	15	6,0·10 ⁻⁵	4,8

Дополнительное число смертей от злокачественных новообразований, случай/год на 10^3 МВт(эл.)

Таблица 7

Причина смерти	ТЭС		АЭС	
	Вблизи станций на 10^6 чел.	Все население	Вблизи станций на 10^6 чел.	Все население
Лейкозы	0,5	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$
Опухоли костей	0,1	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-5}$
Опухоли щитовидной железы	—	—	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Опухоли легких	1,7	$7,8 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
Различные опухоли при облучении всего тела	0,1	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Все причины	2,4	$10,9 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$

ционного воздействия электростанций обоих типов. Если учесть реальную мощность ТЭС и АЭС, то дополнительное число смертей в масштабах страны составит 7 и 0,014 случай/год соответственно (эти величины определены при условии 20-летней работы станций с постоянной мощностью, так что фактические значения будут ниже). Риск радиационного канцерогенеза для населения, проживающего в районе АЭС, в 70 раз ниже риска от ТЭС равной мощности, а для всего населения — в 30 раз ниже. Ведущим фактором радиационного канцерогенеза в районе вокруг ТЭС является облучение легких радиоактивными нуклидами, поступающими с золой. Относительно высок также риск заболевания лейкемией за счет облучения костного мозга. Для районов размещения АЭС ведущий фактор — внешнее облучение. Таким образом, приведенные оценки свидетельствуют о существенно меньшей радиационной опасности АЭС по сравнению с ТЭС.

Однако следует принять во внимание следующие обстоятельства. При оценке доз от АЭС не учтены дополнительные дозовые нагрузки за счет всего цикла производства ядерного топлива, транспортировки его и захоронения отходов.

Не учтено облучение за счет возможных аварийных выбросов. По существующим представлениям вероятность крупной аварии, могущей дать значительный выброс радиоактивных веществ в окружающую среду, чрезвычайно низка. Так, риск смертных случаев среди насе-

ления, проживающего в радиусе до 40 км от АЭС, за счет аварий на 100 реакторах составляет $3 \cdot 10^{-9}$ случай/год на человека [25], т. е. меньше, чем при нормальной работе АЭС.

Не рассмотрено формирование доз за счет удаления отходов АЭС в водоемы.

Оценка риска от ТЭС также не является исчерпывающей, поскольку в выбросах ТЭС присутствуют такие канцерогены, как полициклические углеводороды, мышьяк, никель, бериллий, хром и т. п. Кроме того, общеизвестно влияние пыли, SO_2 , NO_x и других вредных компонентов выбросов ТЭС на здоровье людей.

Следовательно, окончательная оценка сравнительной опасности ТЭС и АЭС требует более полного анализа возможных последствий. Тем не менее представленные в настоящей статье данные позволяют достаточно определенно говорить об АЭС как о менее опасных для здоровья человека источниках энергии по сравнению с ТЭС.

Поступила в Редакцию 19/X 1976 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. VI th Nat. Conf. on Radiation Control. San-Antonyo, Texas, 1974.
2. Eisenbud M., Petrov H. «Science», 1964, N 144, p. 228.
3. Martin I. In: Proc. Symp. IAEA «Compt. rend. Coll», Vienna, 1971, p. 325.
4. Javorowsky Z. In: Proc. IAEA Symp. «Environmental Surveillance around Nuclear Installation», Vienna, 1974, v. 1, p. 403.
5. Nishiwaki Y. e.a. In: Environmental Aspects of Nuclear Power Station, Vienna, 1971, p. 247.
6. Яворовский З. и др. В сб.: Труды симп. по естественной радиации окружающей среды. Хьюстон, США, 7—11 августа 1975, с. 404.
7. Hull A. «Nucl. Safety», 1971, v. 12, N 3, p. 185.
8. Доклад НКДАР ООН. A/AC 82/P. N.Y., 1964.
9. Ладинская Л. А. и др. «Arch. Environmental Health», 1973, v. 27, N 4, p. 254.
10. Доклад НКДАР ООН. Естественные источники радиации. I/AC 82/R, 297, N.Y., 1975.
11. Моисеев А. А., Иванов В. И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. М., Атомиздат, 1974.
12. Гусев Н. Г. О предельно допустимых уровнях ионизирующих излучений. М., Медгиз, 1961.
13. Артемова Н. Б., Теворовский Е. Н. «Атомная энергия», 1971, т. 31, вып. 6, с. 573.
14. Радиационная защита. Рекомендации МКРЗ. М., Атомиздат, 1961.
15. Доклад НКДАР ООН. Ионизирующая радиация: уровни и эффекты. Т. 1. N.Y., 1972.
16. Атомной энергетике XX лет. М., Атомиздат, 1974.
17. Гусев Н. Г. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 4, с. 254.
18. Зыкова А. С. и др. «Гигиена и санитария», 1972, № 9, с. 38.

19. Зыкова А. С. Рекомендации по контролю за состоянием внешней среды при поступлении мода-131 в атмосферный воздух с промышленными выбросами. М., изд. ИБФ МЗ СССР, 1970.
20. Книжников В. А., Бархударов Р. М. «Atomic Energy Review», 1975, v. 13, N 2, p. 171.
21. Москалев Ю. И. и др. Концепции биологического риска воздействия ионизирующей радиации. М., Атомиздат, 1973.
22. Сауров М. М., Книжников В. А., Туркин А. Д. В кн.: Оценка популяционных доз и нормативы для человека и окружающей среды. Вена, МАГАТЭ, 1974, с. 277.
23. Ильин Л. А. и др. Радиоактивный под в проблеме радиационной безопасности. М., Атомиздат, 1972.
24. Shleien B. «Health Phys.», 1975, v. 29, N 2, p. 307.
25. Боболович В. Н. Безопасность реакторов.—«Атомная техника за рубежом», 1976, № 6, с. 11.

Abstracts of Articles in This Issue

UDC 546.799

Druin V. A., Bochev B., Korotkin Yu. S., Kosyakov V. N., Lobanov Yu. V., Minin E. A., Poluboyarinov Yu. V., Rykov A. G., Sagaidak R. N., Tret'yakova S. P., Kharitonov Yu. P. The Synthesis of ^{260}Ku by Bombarding ^{249}Bk with ^{15}N Ions.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 155.

In the nuclear reaction $^{249}\text{Bk}(^{15}\text{N}, 4n)^{260}\text{Ku}$, there has been synthesized the isotope of Kurchatov (element 104) undergoing spontaneous fission with a half-life of about 80 ms, which is in close agreement with the results of previous work at the Joint Institute of Nuclear Research. The negative results of the Berkeley group (U.S.) in seeking spontaneous fission of ^{260}Ku is analyzed and the sources of error are indicated (5 figures, 13 references).

UDC 537.312.62

Gusarov M. S., Kutnj V. E., Nikulin A. D., Chernoplyokov N. A. Superconductors for Engineering Applications.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 164.

At present, there exist more than 90 standard, dimensional varieties of superconducting materials developed and produced in the USSR in accordance with technical specifications. Data on standard superconductors and their technical characteristics are of interest to research workers and designers of superconducting systems for various applications (4 tables, 2 references).

UDC 621.039.562:621.039.524.44

Yurova L. N., Smolin V. N., Shpanski S. V., Esikov T. S. I., Smirnov V. E., Shishov V. P. A Method of Determining Steam Content in a Medium by Registering Neutrons Moderated by the Medium.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 164.

There are presented results of investigated model samples of steam-content probes based on the measurement of neutrons moderated by the medium-being-investigated when it is irradiated with fast neutrons.

The effect of probe design on the error in determining the mean density (and, accordingly, steam content) of the medium is discussed.

The question of the effect of axial non-uniformity in the density distribution of the medium-being-investigated on the effect measured by means of the probe is considered. A procedure for introducing a correction that takes this phenomenon into account is proposed. (8 figures, 12 references).

UDC 621.039.562:621.039.524.44

Emelyanov I. Ya., Yurova L. N., Smolin V. N., Emelyanenko V. D., Esikov V. I., Smirnov V. H., Shishov V. P. The Application of a Neutron Sensor for Steam Volume Fraction Determination.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 42, p. 171.

A description of the design of a neutron sensor and the results of evaluating the error in determining the density of a steamwater mixture by means of this sensor in a nuclear reactor boiling channel model with 7-tube cluster heater are presented.

The patterns of steam volume fraction distributions along the boiling channel are presented for various methods of including the channel in the loop. Such distributions are also presented both for boiling crisis conditions and for boiling pre-crisis conditions. The evaluation of the error in determining the steam massflow ratio by means of the neutron sensor was carried out for constant value of the slip ratio.

UDC 539.125.5.17

Biryukov N. S., Zhuravlyov B. V., Kornilov N. V., Popov V. I., Rudenko A. P., Salnikov O. A., Trykova V. I. The Scattering of 9.1 ± 0.2 MeV Neutrons by ^7Li Nuclei.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 176.

The spectra of 9.1 ± 0.2 MeV neutrons interacting with ^7Li have been measured at angles of 30, 60, 90, 120 and 150°. The measurements were made by the time-of-flight method on the 150-cm PEI cyclotron.

Differential cross sections of elastic scattering to the state of ^7Li at 0.478 MeV, cross sections for inelastic scattering to the 4.63 MeV excited state of ^7Li and a continuum cross section of neutrons with energy greater than 0.5 MeV have been determined. (6 figures, 1 table, 9 references).

Fursov B. I., Kupriyanov V. M., Maslennikov B. K. and Smirenkin G. N. The Measurement of ^{238}U Relative to ^{235}U Fission Cross Sections in the 1–7 MeV Neutron Energy Range.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 181.

^{238}U relative to ^{235}U fission cross section were measured for neutron energies from 1 to 7 MeV. The reactions $T(p, n)$ and $D(d, n)$ produced in electrostatic accelerators were used as neutron sources. A double ionization chamber was employed to detect the fission fragments. Total errors in the ratio values amount to 0.7–0.9% for the 2–5 MeV energy range. (4 figures, 4 tables, 14 references).

543.53:681.142.4

Yurayev V. Ya., Zlokazov V. B., Kulkina L. P., Maslov O. D. and Fefilov V. V. On the Use of Computers for Processing Spectrometric Information in Instrumental Neutron Activation Analysis.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 187.

A computer program is described for processing gamma spectra in the instrumental activation analysis of multicomponent objects. Structural diagrams of various variants of connection with the computer are presented. The possibility of using a mini-computer as an analyzer and for preliminary processing of gamma spectra is considered. (2 figures, 7 references).

UDC 614.7:614.8.87:876

Knizhnikov V. A., Barkhudarov R. M. A Comparative Evaluation of Radiation Danger to the Population from Fossil-Fuel and Nuclear Power Station Discharges into Atmosphere.—«Atomnaya energiya», 1977, v. 43, p. 191.

This paper presents a comparative evaluation of the danger from fossil-fuel and nuclear power stations on the basis of the most comparable indicator — the cancerogenic effect due to radiation exposure of the population to natural and artificial radionuclides discharged by these stations.

The situation is considered for the population living in the vicinity of a power station and for the population of the country as a whole. On the basis of calculated doses to various organs and tissues and the corresponding estimates of the number of deaths from malignant neoplasms, it is shown that for a 20-year period of operation of stations the effect per unit power from a fossil-fuel station is several tens of times greater than from a nuclear station. (7 tables, 25 references).