

Ж 53
А99

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

Атомная Энергия

Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ТРИНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 24 ■ Апрель ■ Вып. 4

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, Н. А. ВЛАСОВ (зам. главного редактора), И. Н. ГОЛОВИН, Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ (зам. главного редактора), А. К. КРАСИН, А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ (главный редактор), П. Н. ПАЛЕЙ, Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМИРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

- А. К. Красин, И. И. Саламатов, В. Б. Нестеренко, А. Н. Девойно. Развитие исследований в Институте ядерной энергетики АН БССР 307
- С. Т. Конобецкий, Б. М. Левитский, Л. Д. Пантелеев. К вопросу о механизме радиационного роста урана при малых дозах облучения 312
- В. И. Векслер, В. П. Саранцев, А. Г. Бонч-Осмоловский, Г. В. Долбильов, Г. А. Иванов, И. П. Иванов, М. Л. Иовнович, И. В. Кожухов, А. Б. Кузнецов, В. Г. Маханьков, Э. А. Перельштейн, В. П. Рашевский, К. А. Решетникова, Н. Б. Рубин, С. Б. Рубин, П. И. Рыльцев, О. И. Ярковой. Коллективное линейное ускорение ионов 317
- В. П. Дзельнов, В. П. Дмитриевский, Б. И. Замолотчиков, В. В. Кольга. Кольцевой циклотрон с жесткой фокусировкой для многозарядных ионов 323
- В. В. Арсенин, В. А. Чуянов. О возможности подавления дрейфовой неустойчивости неоднородной плазмы с помощью системы обратных связей . . 327
- В. М. Вондаренко, Г. Г. Викторов, А. Г. Тархов. Об использовании космического излучения для оценки эффективности биологических защит 330
- С. Н. Барков. Многогрупповой аналитический метод расчета гетерогенного ядерного реактора 335
- П. Т. Потапенко. Предельная оценка качества внутриреакторного контроля нейтронного потока 340
- Д. М. Каминкер, К. А. Коноплев, Ю. П. Семенов, В. Д. Тренин. Поведение продуктов радиолиза при работе реактора ВВР-М без системы дегазации 343
- В. А. Жарков, В. П. Терентьев, Г. М. Фрадкин. Получение топлива изотопных электрогенераторов методами нейтронного облучения 348
- Ю. В. Рябов, Со Дон Сик, Н. Чиков, Н. Янева. Измерение отношения сечений радиационного захвата и деления для U^{235} и Pu^{239} в резонансной области энергий нейтронов 351

- В. А. Афанасьев, Б. В. Кебадзе, Г. А. Санковский, В. И. Грицков, П. Н. Соколов, Л. А. Адамовский, С. А. Маркин. Экспериментальное исследование устойчивости корпусного кипящего реактора ВК-50 363

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

- Д. П. Осанов, В. П. Панова, Г. Б. Радзиевский. Измерение дозовых факторов накопления для точечных изотропных источников γ -излучения низкой энергии в воде 368
- В. А. Жарков, Т. П. Зорина, Г. М. Фрадкин. Самоэкранирование тепловых нейтронов в конечных цилиндрах и телах других геометрий 369
- И. Н. Бриккер, В. П. Астафьев, А. Р. Мирзаин. Обращенное решение тепловых уравнений двухкомпонентного ядерного реактора 370
- С. Ф. Дегтярев, А. П. Суворов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Пространственные, угловые и энергетические распределения быстрых нейтронов в гидриде лития, воде, вольфраме и карбиде бора 370
- С. Ф. Дегтярев, В. Б. Староверов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Экспоненциальные угловые коэффициенты нейтронов для неводородосодержащих сред 372
- В. К. Даруга, С. Ф. Дегтярев, В. И. Кухтевич, А. Н. Николаев, В. П. Поливанский, Б. И. Синицын, А. П. Суворов, В. В. Тарасов, В. К. Тихонов, С. Г. Цыпин. Пространственно-энергетические и угловые распределения нейтронов в литии 372
- С. М. Рубанов, В. И. Титов, Л. С. Шкорбатова. Расчет защиты контура с циркулирующим горючим . . . 373
- В. Д. Горяченко. Акустическая неустойчивость ядерного реактора 374
- В. Д. Горяченко, Е. Ф. Сабаев. Акустические колебания в реакторе с циркулирующим газообразным горючим 375
- В. Д. Горяченко, В. А. Денеев, Ю. Ф. Трунин. Влияние изменения плотности делящегося вещества на устойчивость реактора с циркулирующим веществом 376
- В. С. Шуленни. Применение асимптотического P_N -приближения для расчета ячейки 376

285607

225307/м



РГ

щения неустойчивы). Отметим также, что даже если δ не удовлетворяет условиям (15) и имеет место неустойчивость, ее инкремент может быть существенно меньше инкремента в отсутствие обратных связей.

Рассмотрим теперь случай, когда δ комплексно, т. е. радиотехническая система кроме усиления осуществляет также и сдвиг фазы. Пусть $\delta = \delta_0 \left(1 + \frac{i\omega}{\Omega}\right)$, где δ_0, Ω действительны и δ_0 не зависит от частоты (такому δ соответствует преобразование $\psi(b, \theta, t) = \delta_0 \left(1 - \frac{1}{\Omega} \frac{\partial}{\partial t}\right) \psi(a, \theta, t)$. При $\left|\frac{\omega}{\Omega}\right| \ll 1$ получаем

$$\text{Im } \omega \approx \frac{\sqrt{\pi} (\text{Re } \omega)^2}{2 |k_z| v_e} \left(2 - \frac{1 - \frac{2|k_z| v_e \rho}{\sqrt{\pi} \Omega a} \Lambda \delta_0}{1 - \frac{\rho}{a} \Lambda \delta_0}\right). \quad (16)$$

В зависимости от значения величины $\frac{|k_z| v_e}{\sqrt{\pi} \Omega} = \alpha$ условия устойчивости принимают вид

$$0 < 1 - \frac{\rho}{a} \Lambda \delta_0 < \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - 2\alpha}{1 - \alpha} \quad (17)$$

при $\alpha < \frac{1}{2}$;

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{2\alpha - 1}{1 - \alpha} < 1 - \frac{\rho}{a} \Lambda \delta_0 < 0 \quad (18)$$

при $\frac{1}{2} < \alpha < 1$;

$$\left|1 - \frac{\rho}{a} \Lambda \delta_0 - \frac{1}{4} \cdot \frac{2\alpha - 1}{\alpha - 1}\right| > \frac{1}{4} \cdot \frac{2\alpha - 1}{\alpha - 1}, \quad (19)$$

при $\alpha > 1$.

Поступила в Редакцию 24/XI 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. И. Рудаков, Р. З. Сагдеев. «Докл. АН СССР», 138, 581 (1961).
2. Б. Б. Кадомцев, А. В. Тимофеев. «Докл. АН СССР», 146, 581 (1961).
3. А. А. Галеев, В. Н. Ораевский, Р. З. Сагдеев. ЖЭТФ, 44, 903 (1963).
4. Я. Б. Файнберг, В. Д. Шапиро. Письма ЖЭТФ, 4, 32 (1966).
5. В. В. Арсенин, В. А. Чуюнов. «Докл. АН СССР» (в печати).
6. N. D'Angelo, R. Motley. Phys. Fluids, 6, 422 (1963).
7. Н. С. Бучельникова, А. М. Кудрявцев, Р. А. Салимов. ЖЭТФ, 35, 72 (1965); Н. С. Бучельникова. «Ядерный синтез», 4, 165 (1964).
8. M. Rosenbluth, A. Simon. Phys. Fluids, 8, 1300 (1965).
9. А. В. Тимофеев. «Ядерный синтез», 6, 93 (1965).

Об использовании космического излучения для оценки эффективности биологических защит

В. М. БОНДАРЕНКО, Г. Г. ВИКТОРОВ, А. Г. ТАРХОВ

УДК 537.591:621.384.612

В настоящей работе приводятся результаты исследований распределения массы и плотности земляной обваловки кольцевого здания синхрофазотрона, строящегося вблизи г. Серпухова.

Расчеты, выполненные при проектировании синхрофазотрона, показали, что слой грунта толщиной около 5 м и железобетонные перекрытия способны снизить плотность потока нейтронов до предельно допустимого уровня. К моменту проведения описываемых исследований обваловка была выполнена на большей части кольцевого здания. Однако в результате нивелировочных работ было установлено, что в некоторых местах высота обваловки значительно отличается от проектной. Это несоответствие между фактическими и проектными данными могло быть обусловлено недосыпкой или естественным уплотнением рыхлого грунта.

С целью выяснения действительной причины был использован метод подземной регистрации космического излучения, который успешно применялся для решения подобных задач, однако точность определения выходных данных не превышала 5—10% [1]. При изучении обваловки точность данных о массе и плотности должна составлять около 3%, что вызвало необходимость учета временных вариаций космических лучей, аппаратурно-статистических погрешностей и др.

Интенсивность мюонной компоненты космического излучения зависит от массы вещества, расположенного над регистрирующей аппаратурой [2]. Кроме того, интенсивность космического излучения зависит также от углового распределения, амплитуды временных вариаций, величины заряда атомных ядер вещества и других факторов. В работе [1] показано,

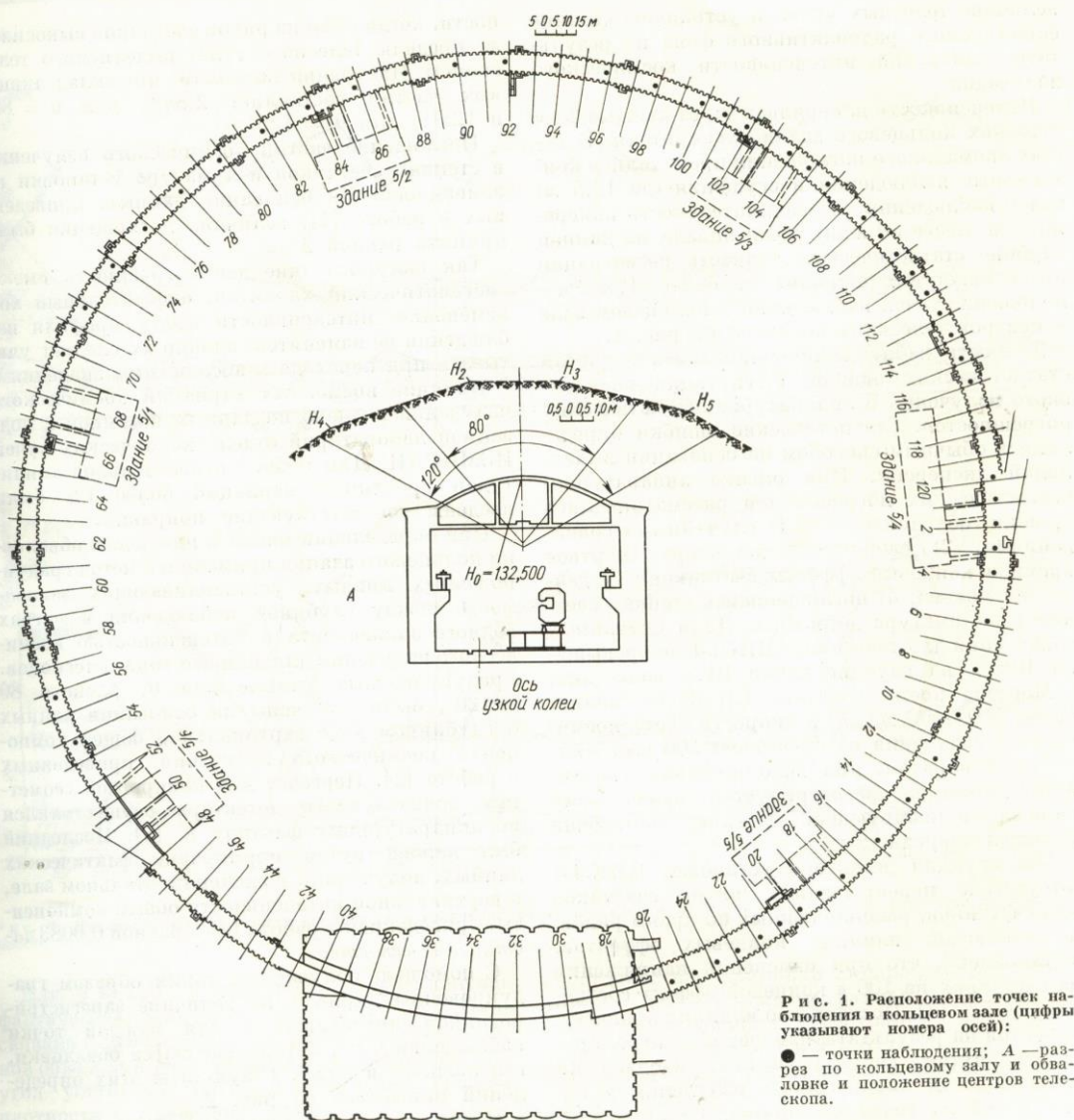


Рис. 4. Расположение точек наблюдения в кольцевом зале (цифры указывают номера осей):
 ● — точки наблюдения; А — разрез по кольцевому залу и обваловке и положение центров телескопа.

что величина искажений, связанная с суммарным влиянием всех перечисленных выше факторов, обычно не превышает 3—5% и может быть учтена достаточно простыми способами.

В настоящих исследованиях применялся телескоп ИИКЛ-1, предназначенный для регистрации интенсивности космического излучения.

В качестве детектора использовались газоразрядные счетчики СИ-5Г, собранные в касеты. Общая эффективная площадь детектора равна $0,25 \text{ м}^2$. Соответствующее расположение кассет и включение их в схемы четырехкратных совпадений обеспечивает одновременную регистрацию интенсивности в двух различных по

величине телесных углов и устраняет влияние естественного радиоактивного фона на результаты измерений интенсивности космического излучения

Интенсивность измерялась через каждые 25 м в точках кольцевого здания ускорителя. В местах аномального поглощения проводились контрольные наблюдения и сгущения (до 12,5 м) точек наблюдения. Продолжительность измерений (не менее 50 мин) обеспечивала на данной глубине статистическую точность регистрации интенсивности с ошибкой не более 1%. Расположение точек наблюдения в кольцевом зале и центров телескопа показано на рис. 1.

Точность наблюдений оценивалась с учетом статистических ошибок флуктуации космического излучения и аппаратно-статистических погрешностей. Статистические ошибки определялись обычным способом на основании вычислений дисперсии. При оценке аппаратно-статистических погрешностей рассматривались ошибки, обусловленные: 1) случайными совпадениями; 2) свойствами детектора (мертвое время и концевые эффекты счетчиков); 3) действием ливней; 4) поглощением в стенках счетчиков и арматуре детектора. Доля случайных совпадений для телескопа ИИКЛ-1 не превышала 10-7% на глубине около 10 м водн. экв.

Мертвое время счетчика СИ-5Г составляет около 300—400 мксек, а скорость счета космического излучения не превышает 500 имп/мин.

Таким образом, при использовании указанного детектора регистрируется практически каждая ионизирующая частица достаточно большой энергии.

Конструкция детектора установки ИИКЛ-1 (отсутствие перекрещенных рядов счетчиков или счетчиков, расположенных по краям рядов) не исключает влияния концевых эффектов. Установлено, что при изменении напряжения на счетчиках на 100 в концевой эффект составляет 3—5% [3]. Постоянство влияния концевых эффектов на результаты измерений контролировалось путем систематических наблюдений интенсивности космического излучения в одной и той же точке экспериментального зала, под которым отсутствует земляная обваловка, а также путем повторных измерений в некоторых точках кольцевого зала. Найдено, что ошибки, связанные с влиянием концевых эффектов, не превышали 1% для апертурного угла $\theta = 80^\circ$ и 3% для $\theta = 120^\circ$.

Величина погрешности, обусловленная вкладом ливневых частиц, оценивалась на точках кольцевого здания при регистрации интенсив-

ности, когда один из рядов счетчиков выносился за пределы телесного угла, выделяемого телескопом. Измерения показали, что вклад ливневых частиц составляет 2,84% для $\theta = 80^\circ$ и 1,20% для $\theta = 120^\circ$.

Поглощение частиц космического излучения в стенках счетчиков и арматуре установки не измерялось. На основании данных, приведенных в работе [4], величина поглощения была принята равной 2%.

Так как последние две погрешности имеют систематический характер, относительный ход изменения интенсивности вдоль профиля наблюдения не изменится, однако их следует учитывать при переходе к абсолютным значениям.

Влияние временных вариаций космического излучения оценено по данным наземной и подземной лабораторий отдела космических лучей ИЗМИРАН. Для точек с относительной амплитудой временных вариаций более 1% были введены соответствующие поправки.

При определении массы и плотности обваловки кольцевого здания применялся метод градуировочных кривых, устанавливающих зависимость между глубиной наблюдений в метрах водного эквивалента и интенсивностью космического излучения для данного типа телескопов. Градуировочные кривые для θ , равного 80° и 120° , были получены на основании данных о глубинном ходе вертикальной общей компоненты космического излучения, приведенных в работе [2]. Пересчет для конкретной геометрии используемого детектора осуществлялся по аппаратному фактору K [5]. Последний был найден путем нормировки фактических данных, полученных в экспериментальном зале, к вертикальной интенсивности общей компоненты, приведенной в работе [2] и равной $0,0083 \text{ частиц/см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{стер}$.

С помощью полученных таким образом градуировочных кривых по величине зарегистрированной интенсивности для каждой точки наблюдений была определена масса обваловки, выраженная в г/см^2 . Результаты этих определений приведены на рис. 2.

Величина средней плотности обваловки находилась как частное от деления глубины наблюдения, выраженной в м водн. экв. на фактическую мощность обваловки. Последняя для $\theta = 80^\circ$ была вычислена на основании данных нивелировки. Мощность обваловки находилась как среднее арифметическое из H_2 и H_3 (см. рис. 1), а нижняя абсолютная отметка обваловки с учетом бетонного перекрытия была принята равной 131,50 м.

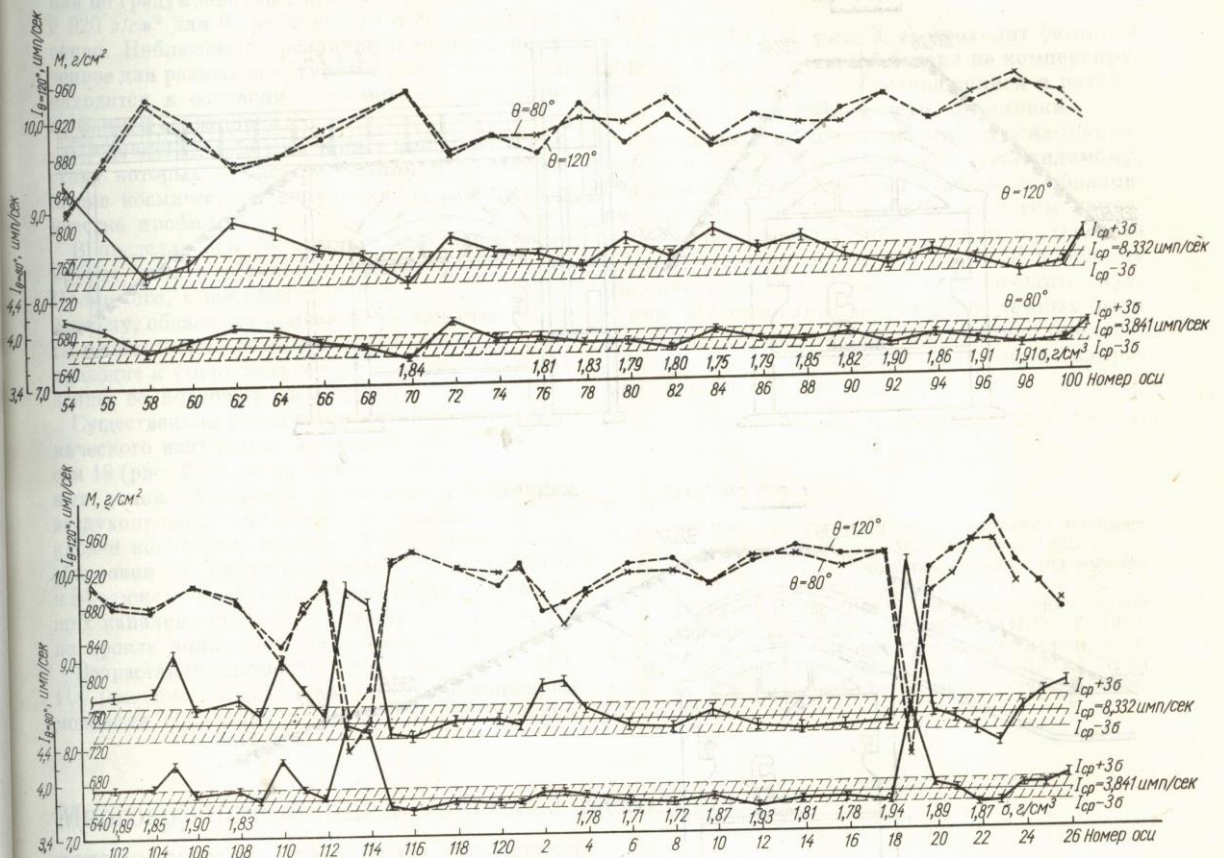


Рис. 2. Изменение интенсивности космического излучения вдоль кольцевого зала (—) и массы обваловки кольцевого здания (---).

Для $\theta = 120^\circ$ определялась эквивалентная фактическая мощность обваловки, что было связано с необходимостью учета влияния склонов обваловки, попадающих в большой телесный угол установки ИИКЛ-1. Значения средней плотности σ приведены на рис. 2. Точность определения массы и плотности оценивалась по формуле

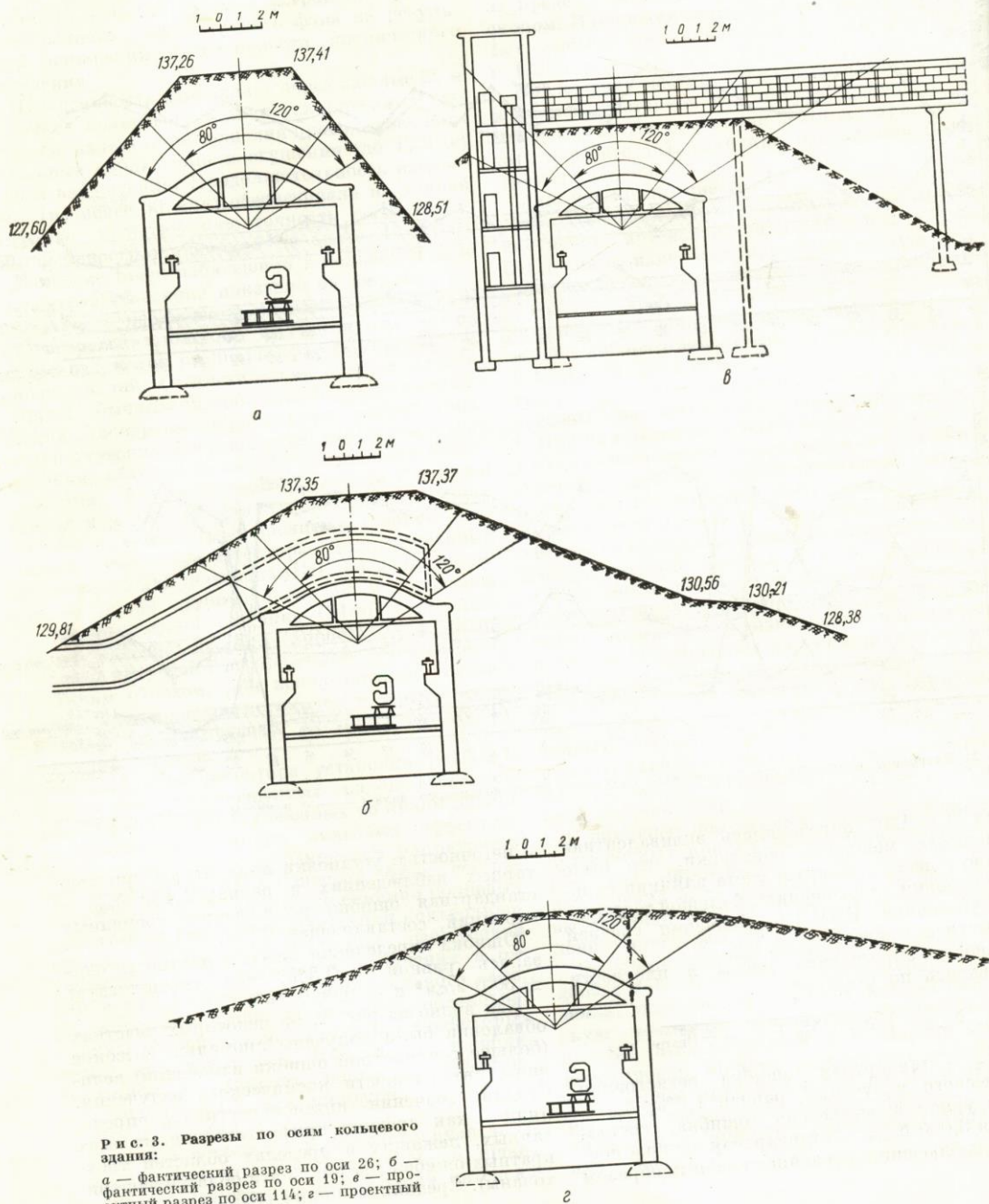
$$\delta_{м.п} = \sqrt{\delta_{ст}^2 + \delta_{ап}^2 + \delta_{повт}^2 + \delta_{вар}^2}$$

где $\delta_{ст}$ — стандартная ошибка регистрации космического излучения, равная 1,0%; $\delta_{ап}$ — аппаратно-статистическая ошибка, составляющая 3,0%; $\delta_{повт}$ — стандартная ошибка повторных наблюдений, связанная главным образом

с неточностью установки аппаратуры при повторных наблюдениях и равная 1,1%; $\delta_{вар}$ — стандартная ошибка регистрации временных вариаций, составляющая 0,8%.

Ошибка определения массы и плотности оказалась равной $\pm 3,5\%$, что соответствует $\pm 30,0 \text{ г}/\text{см}^2$ и $\pm 0,06 \text{ г}/\text{см}^3$.

Как видно из рис. 2, на некоторых участках обваловки были получены аномально высокие (больше трехкратной ошибки измерений) величины интенсивности космического излучения. Средние значения интенсивности I_{cp} определялись как средние арифметические из всех данных, лежащих в пределах областей трехкратных ошибок (на рис. 2 эти области заштрихованы). Средняя толщина обваловки, найден-



Р и с. 3. Разрезы по осям кольцевого здания:
 а — фактический разрез по оси 26; б — фактический разрез по оси 19; в — проектный разрез по оси 114; г — проектный разрез по оси 110.

ная по градуировочным кривым, равна 930 г/см^2 и 920 г/см^2 для θ , равного 120° и 80° соответственно. Наблюдаемое различие в массах, полученное для разных апертурных углов телескопа, находится в согласии с геометрией детектора и формой обваловки.

Ниже приводятся возможные причины, вследствие которых происходит аномальное поглощение космического излучения на конкретном участке профиля.

В пределах оси 26 крылья обваловки более крутые, чем в остальных частях (рис. 3, а). Кроме того, в направлении, перпендикулярном чертежу, обваловка кончается; в качестве защиты использовано бетонное перекрытие. Все это приводит к уменьшению массы защиты и ослаблению ее поглощающих свойств.

Существенное увеличение интенсивности космического излучения, наблюдающееся в районе оси 19 (рис. 3, б), получено для обоих апертурных углов. Аномалия объясняется наличием воздухопровода, идущего от здания 5/5 по кровле кольцевого здания. Уменьшение массы обваловки в пределах осей 2—3, 102—105 и 84 также связано с наличием воздухоподводящих каналов, идущих от зданий 5/4, 5/3 и 5/2 по кровле кольцевого зала (рис. 3, в).

Возрастание скорости счета на осях 113, 114 (см. рис. 3, в) обусловлено уменьшением мощности обваловки из-за кабельной галереи,

идущей от здания инжектора к кольцевому залу.

По оси 110 (см. рис. 3, г) проходит бетонная дорога. Уложенный слой бетона не компенсирует недостаток массы, образовавшийся в результате уменьшения мощности обваловки.

Аномалии, полученные на других осях (например, оси 72, 62—64, 54—56 и др.), по-видимому, связаны с недостатком массы земляной обваловки, так как для этих осей не известны какие-либо особенности в конструкции кольцевого здания, которые могли бы привести к общему увеличению интенсивности космического излучения. На основании полученных данных были выявлены также участки, где толщина биологической защиты превышает требуемую (например, оси 58, 70, 98 и др.)

Поступила в Редакцию 23/1 1967 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Бондаренко. Использование космических лучей в геологии. М., «Недра», 1965.
2. Е. Д ж о р д ж. В сб. «Физика космических лучей». Т. 1. М., Изд-во иностр. лит., 1954, стр. 328.
3. Л. И. Д о р м а н. Вариации космических лучей и исследование космоса. М., Изд-во АН СССР, 1963.
4. Г. Н е е р. В сб. «Физика космических лучей». Т. 1. М., Изд-во иностр. лит., 1954, стр. 199.
5. Н. А. Д о б р о т и н. Космические лучи. М., Гос-техтеориздат, 1954.

Многогрупповой аналитический метод расчета гетерогенного ядерного реактора

С. Н. БАКОВ

УДК 621.039.51.134

В настоящее время имеется несколько работ, посвященных методам расчета цилиндрических реакторов с эксцентрично расположенными группами поглощающих стержней или твэлов. Наряду с известным методом Галанина — Фейнберга [1, 2] в некоторых работах для расчета распределения нейтронов между поглощающими стержнями (или твэлами) реакторов с конечным радиальным отражателем используется малоизвестная система диффузионных уравнений, которую можно записать в матрично-векторной форме:

$$\Delta\Phi + \hat{\kappa}\Phi = 0, \quad (1)$$

где $\hat{\kappa}$ — матрица переходов n -го порядка (n — число групп), а на границах со стержнями ставятся эффективные граничные условия.

Решение уравнения (1) находится для каждой группы в виде суперпозиции волновых функций, после чего для получения уравнения критичности решение подставляется в граничные условия. Этот метод [3, 4], легко реализуемый для малого числа групп, становится затруднительным для многогруппового расчета из-за проблемы собственных значений матрицы $\hat{\kappa}$.

В настоящей работе в отличие от упомянутых выше методов радиальная часть решения для гетерогенного реактора получается в виде линейных комбинаций функций Бесселя первого и второго рода от матричного аргумента $\sqrt{\hat{\kappa}r}$. Аналогично тому, как это сделано в работе [5] применительно к многозонному гомогенному цилиндрическому реактору.