

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР

Атомная  
Энергия

Ежемесячный журнал  
год издания двенадцатый

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 25 ■ Октябрь ■ Вып. 4

Главный редактор  
М. Д. МИЛЛИОНЩИКОВ

Заместители главного  
редактора:

Н. А. ВЛАСОВ, Н. А. КОЛОКОЛЬЦОВ

Редакционная коллегия:

А. И. АЛИХАНОВ, А. А. БОЧВАР, А. П. ВИНОГРАДОВ, И. Н. ГОЛОВИН,  
Н. А. ДОЛЛЕЖАЛЬ, А. П. ЗЕФИРОВ, В. Ф. КАЛИНИН, А. К. КРАСИН,  
А. И. ЛЕЙПУНСКИЙ, В. В. МАТВЕЕВ, М. Г. МЕЩЕРЯКОВ, П. Н. ПАЛЕЙ,  
Д. Л. СИМОНЕНКО, В. И. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. В. ШЕВЧЕНКО.

## СОДЕРЖАНИЕ

### СТАТЬИ

- В. Б. Осипов, Р. В. Джагацания, А. С. Штань,  
В. М. Симонов, С. В. Мамикоян, Л. Д. Солодихина,  
Д. П. Бодров, С. В. Голубков, Ю. Г. Ляскин.  
Радиационный сульфохлоратор РС-2,5 . . . . . 271
- Г. Н. Баласанов, Д. Я. Суражский, Б. А. Чумаченко,  
А. А. Дерягин, Е. П. Власов. Использование мате-  
матических методов при поисках месторождений  
урана . . . . . 274
- А. А. Шолохов, В. Е. Минашин. Теплообмен при про-  
дольном течении жидкости в пучках стержней . . . . . 280
- Б. Н. Селиверстов, А. И. Ефанов, Ю. М. Быков,  
П. А. Гаврилов, Л. В. Константинов. Некоторые  
вопросы приложения статистических методов  
к задачам оперативного исследования кинети-  
ческих характеристик реакторов . . . . . 287
- В. И. Голубев, Н. Д. Голяев, А. В. Звонарев, М. Н. Зи-  
нин, Ю. Ф. Колеганов, М. Н. Николаев, М. Ю. Ор-  
лов. Распространение нейтронов в двуокиси  
урана . . . . . 292
- Часть I. Пространственно-энергетические распре-  
деления . . . . . 292
- Л. П. Абагян, В. И. Голубев, Н. Д. Голяев, А. В. Зво-  
нарев, Ю. Ф. Колеганов, М. Н. Николаев,  
М. Ю. Орлов. Распространение нейтронов в дву-  
окиси урана . . . . . 297
- Часть II. Допплер-эффект на  $U^{235}$  . . . . . 297
- А. И. Громова, И. К. Морозова, В. В. Герасимов. Влия-  
ние облучения на электрохимическое поведение  
конструкционных материалов . . . . . 302
- Р. А. Беляев, Ю. И. Данилов, С. А. Фураев. Корро-  
зия длинномерных изделий из окиси бериллия в  
газовых влагосодержащих потоках . . . . . 305
- А. Ф. Настоящий. О функции распределения электро-  
нов в неоднородной слабоионизованной плазме . . . . . 308

### АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

- Р. В. Джагацания, В. Б. Осипов, Л. Д. Солодихина,  
Ю. Г. Ляскин, А. И. Гершенович. Опыт эксплуа-  
тации радиационно-химического сульфохлорато-  
ра РС-2,5 . . . . . 314
- В. Б. Осипов, Л. Д. Солодихина, Д. П. Бодров,  
В. М. Симонов, Р. В. Джагацания. Применение  
кассет сферической формы для создания протяж-  
енных облучателей опытно-промышленных и промыш-  
ленных радиационно-химических установок . . . . . 315
- Э. И. Кузнецов. Время жизни заряженных частиц в  
плазме на установке «Токамак ТМ-3» . . . . . 315
- Н. С. Мартынова, И. В. Василькова, М. П. Сусарев,  
С. С. Толкачев. Термографическое и рентгено-  
структурное изучение системы  $UCl_4 - KCl - NaCl$  . . . . . 316
- В. Ф. Баранов, О. А. Павловский. О прохождении  
электронов через вещество . . . . . 317
- П. П. Зольников, Е. Г. Голиков, К. А. Суханова,  
Б. Л. Двинянинов. Отражение тормозного излу-  
чения бетатрона барьерами из различных матери-  
алов . . . . . 318
- П. А. Фефелов. Исследование влияния излучений  
на прочность стеклопластиков . . . . . 318
- ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ
- В. Б. Осипов, В. П. Гутеев, Р. В. Джагацания,  
А. И. Гершенович, С. В. Голубков. Техничко-эконо-  
мические аспекты радиационного способа произ-  
водства сульфоната . . . . . 320
- Н. Т. Чеботарев, А. В. Безносикова. Исследование  
структуры соединения  $CaUF_6$  . . . . . 321
- Б. П. Пritchett. К динамике выделение накопленного  
радиона при нагревании горной породы . . . . . 324

235307





## Радиационный сульфохлоратор РС-2,5

В. Б. ОСИПОВ, Р. В. ДЖАГАЦАНЯН, А. С. ШТАНЬ, В. М. СИМОНОВ, С. В. МАМИКОНЯН,  
Л. Д. СОЛОДИХИНА, Д. П. БОДРОВ, С. В. ГОЛУБКОВ, Ю. Г. ЛЯСКИН

УДК 541.15

Исследованиями [1] показано, что процесс сульфохлорирования предельных углеводородов в длинной цепи  $C_{10} - C_{18}$ , инициируемый  $\gamma$ -излучением  $SO^{60}$ , протекает с большим радиационно-химическим выходом ( $G = 10^5 \div 10^6$  молекул/100 эв). Энергетические затраты на инициирование процесса  $\gamma$ -излучением  $Co^{60}$  в промышленном масштабе составляют всего  $\sim (0,01 - 0,0215)$  кет·ч на тонну 30%-ного сульфохлорида, в то время как при фотохимическом инициировании они составляют  $\sim 14$  кет·ч на тонну того же продукта.

При фотохимическом инициировании встречается ряд трудностей в аппаратурном оформлении процесса, особенно в отводе тепла, которое образуется в результате экзотермической реакции сульфохлорирования и превращения электрической энергии, потребляемой источниками ультрафиолетового излучения, в тепловую. Вследствие этого создаются зоны локального перегрева в реакционном объеме и образуются смолистые вещества на поверхности кварцевых колпаков ламп. Другим недостатком фотохимического метода, приводящим к большим технологическим трудностям, является малая проникающая способность ультрафиолетового излучения, в результате чего реакция сульфохлорирования протекает неравномерно по объему.

На основе имеющегося опыта и результатов научных исследований мы приступили к созданию промышленного радиационно-химического сульфохлоратора, минуя принятую в практике стадию разработки промежуточных «пилотных» установок [2], что позволило значительно ускорить и удешевить конструирование промышленной установки.

### Основные параметры и конструкция РС-2,5

Радиационный сульфохлоратор РС-2,5 имеет цилиндрическую форму. Высота его рабочей

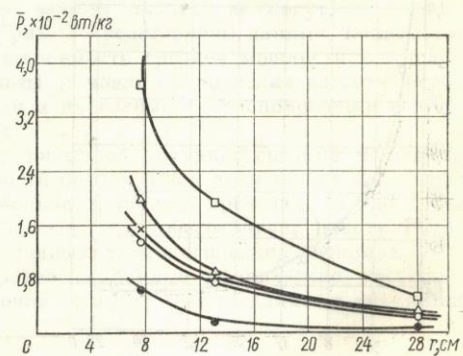
части 4 м, радиус 0,4 м, объем  $2 \text{ м}^3$ . В центре РС-2,5 расположен линейный облучатель, набирающийся из источников  $Co^{60}$ , заключенных в сферические кассеты. Между источниками в облучателе располагается переменное число неактивных шаров.

При расчетах поля мощностей поглощенных доз протяженный облучатель рассматривался как совокупность точечных источников.

Общая активность загруженного  $Co^{60}$ , составляющая 1530 кюри, распределена равномерно в 50 источниках.

Поле мощностей поглощенных доз рассчитывалось с учетом суммарного объема газов, которые находятся в рабочем объеме радиационного сульфохлоратора.

На рис. 1 приведены расчетные значения средних мощностей поглощенных доз  $P$  в точках, расположенных на расстоянии  $r$  от облучателя, состоящего из различного числа источников и имеющего линейную протяженность



Р и с. 1. Распределение мощности дозы в радиальном направлении от линейного облучателя ( $H = 4 \text{ м}$ ) для различного числа  $n$  источников:

● — 10; ○ — 21; × — 23; △ — 33; □ — 50.



4 м. Это распределение можно описать зависимостью

$$\bar{P} = ar^{-b}, \quad (1)$$

где  $r$  — расстояние от точки, в которой рассчитывается мощность поглощенной дозы, до облучателя;  $a, b$  — некоторые постоянные.

Знание распределения поля мощностей поглощенных доз в рабочем объеме  $V$  по радиусу (при фиксированной высоте  $H$ ) позволяет оценить среднюю мощность поглощенной дозы  $\bar{P}_{\text{ап}}$  по рабочему объему РС-2,5:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{\text{ап}} &= \frac{1}{V} \int_{R_1}^{R_2} P dV = \frac{1}{V} \int_{R_1}^{R_2} ar^{-b} 2\pi H r dr = \\ &= \frac{2a (R_2^{2-b} - R_1^{2-b})}{(2-b) (R_2^2 - R_1^2)}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $R_1$  — радиус рубашки, окружающей облучатель РС-2,5, см;  $R_2$  — радиус рабочего объема РС-2,5, см.

На рис. 2 приведена зависимость средней мощности поглощенной дозы по аппарату от расстояния  $\Delta L$  между источниками по оси облучателя или от числа неактивных шаров  $n$ , расположенных между источниками.

Распределение мощностей поглощенных доз в радиационном сульфохлораторе РС-2,5 было определено также экспериментально методом химической (ферросульфатной) дозиметрии. Для этого в рабочий объем РС-2,5, заполненный углеводородом, через который продувался воз-

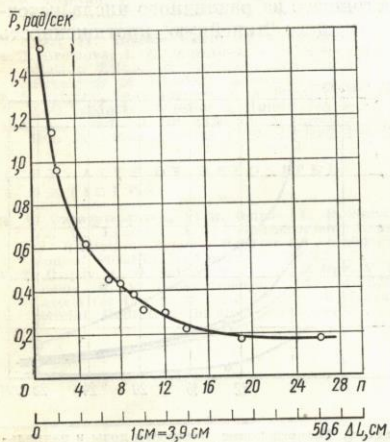


Рис. 2. Зависимость средней мощности поглощенной дозы от числа  $n$  неактивных шаров между источниками.

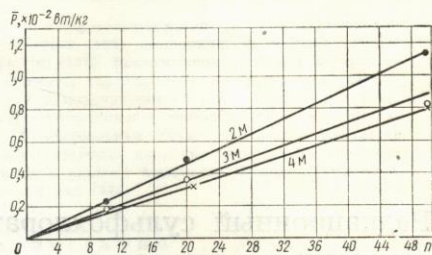


Рис. 3. Зависимость средней мощности поглощенной дозы по рабочему объему РС-2,5 от числа источников  $n$  при высоте облучателя 2, 3, 4 м (экспериментальные данные).

дух с расходом 35—50 м<sup>3</sup>/ч, были опущены дозиметрические стойки, на которых крепились дозиметрические ячейки с ферросульфатным раствором. Штанги размещались в рабочем объеме вокруг облучателя на расстояниях от него, равных 9, 13 и 28 см.

На каждой штанге помещалось по 16, 11 и 8 ячеек при высоте облучателя 4, 3 и 2 м соответственно. Дозиметрические штанги жестко закреплялись в верхней крышке РС-2,5. Полученные данные о распределении полей мощностей поглощенных доз в рабочем объеме РС-2,5 представлены на рис. 3.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показало, что они согласуются с точностью до 20%.

Расчеты радиационных полей в рабочем объеме РС-2,5 показали, что коэффициент использования энергии  $\gamma$ -излучения облучателя  $\eta$ , который зависит от радиуса аппарата, для РС-2,5 равен 0,5 и очень медленно возрастает с увеличением радиуса.

Общий вид радиационного сульфохлоратора РС-2,5\* показан на рис. 4. По принятой схеме противотока жидкие углеводороды подаются в бак по верхним трубопроводам 1, а газообразные реагенты Cl<sub>2</sub> и SO<sub>2</sub> подаются снизу.

В баке газ растворяется в потоке жидких углеводородов и под действием  $\gamma$ -излучения, создаваемого источниками 2, инициируется цепная радикальная реакция, в результате которой образуются сульфохлорид и хлористый водород. 30%-ная смесь сульфохлорида и непрореагировавших углеводородов через ниж-

\* Численный индекс указывает на величину максимального суммарного  $\gamma$ -эквивалента источников, равного 2,5 кг экв Ra.



ние трубопроводы отводятся из бака на дальнейшую переработку, а отходящие газы выводятся в линию абсорбции. На внешней поверхности бака расположена рубашка 3, по которой циркулирует вода, отводящая тепло реакции. Биологическая защита 4, представляющая собой сложный комплекс устройств (цилиндрический экран вокруг бака, состоящий из отдельных чугунных колец, стальные карманы с засыпкой чугунной дробью 7 для вывода коммуникаций, бетонный фундамент реактора), обеспечивает безопасные условия работы обслуживающего персонала на всех стадиях, начиная с момента первоначальной загрузки источников в РС-2,5.

Бак и биологическая защита установлены на чугунных опорах, проемы между которыми использованы для вывода технологических коммуникаций. В одном из проемов расположено распределительное устройство 5. Чугунные опоры установлены на хранилище 6.

Хранилище представляет собой бетонное сооружение, в центре которого имеется углубление с расположенными в нем спиральными каналами 8, 9, 10. В нижней части хранилища сделано окно для вывода каналов. Углубление заполнено чугунной дробью.

Спиральные каналы 8 и 9 служат для хранения и перемещения неактивных тел (шаров) и сферических кассет с источниками соответственно. В случае возникновения аварийной ситуации находящаяся в облучателе комбинация из сферических кассет с источниками и неактивных шаров сбрасывается в спиральный канал 10.

Передвижение сферических кассет с источниками и неактивных шаров по спиральным каналам и распределительному устройству производится механизмами перемещения, роль которых выполняют шнеки 11 с приводом от электродвигателей.

Распределительное устройство позволяет набирать в облучатель различное число сферических кассет с источниками и «разбавлять» их необходимым числом неактивных шаров, т. е. дает возможность формировать необходимые варианты облучателей и маневрировать дозным полем. Кроме того, распределительное устройство выполняет функции механизма, осуществляющего аварийный сброс источников в хранилище. Органы управления распределительным устройством выведены наружу. Вследствие разницы в диаметрах сферических кассет с источниками и неактивных шаров, а также спиральных каналов и каналов, выхо-

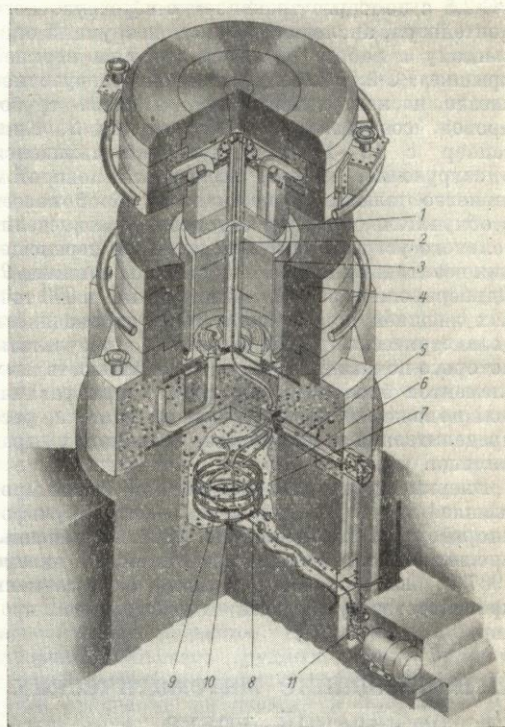


Рис. 4. Общий вид сульфохлоратора РС-2,5.

дящих за биологическую защиту РС-2,5, сферические кассеты с источниками за биологическую защиту попасть не могут.

На рис. 3 представлены данные, показывающие зависимость средней мощности поглощенной дозы от числа сферических кассет с источниками и их взаимного расположения в облучателе.

Как видно из рисунка, средняя по объему мощность поглощенной дозы может изменяться в довольно широких пределах от 0,0019 до 0,0116 *вт/кг*, что обеспечивает работу РС-2,5 в различных технологических режимах.

Заранее собранные сферические кассеты с источниками  $\text{Co}^{60}$  \* загружались в хранилище

\* Сборка сферических кассет с источниками  $\text{Co}^{60}$  проводилась в камере, оборудованной манипулятором М-20, по заранее отработанной методике с применением дополнительных устройств для дистанционного закрытия крышек кассет.



РС-2,5 с помощью транспортно-перегрузочного контейнера, аналогичного по конструкции описанному в работе [3]. Для этого на верхней крышке РС-2,5 было установлено загрузочное гнездо, в центре которого находится трубопровод, соединенный с облучателем 2. Контейнер с 16—17 кассетами устанавливался в загрузочное гнездо, после чего поворотом нижнего шлюза осуществлялся сброс кассет в облучатель, а оттуда с помощью распределительного устройства 5 и механизмов перемещения неактивных шаров — в канал хранилища 9. Одновременно с загрузкой источников в 670 точках внешней поверхности РС-2,5 проводилось дозиметрическое обследование, результаты которого показали высокую эффективность всех элементов биологической защиты при различных положениях источников в облучателе, распределительном устройстве и каналах хранилища.

Впервые созданный в Советском Союзе промышленный радиационно-химический сульфохлоратор РС-2,5 в ноябре 1966 г. успешно прошел технологические испытания, а в январе 1967 г. был включен в технологическую цепь производства сульфоната на действующем про-

изводстве. РС-2,5 дает высококачественную промышленную продукцию, максимальная производительность его составляет 500 кг/ч по готовому продукту, что почти вдвое превышает производительность фотохимического сульфохлоратора с таким же рабочим объемом. Экономия, получаемая в результате применения сульфохлоратора РС-2,5, на один аппарат составляет ~200 тыс. руб. в год.

Авторы приносят глубокую благодарность сотрудникам Института химической физики АН СССР А. Н. Пономареву и Ю. Б. Барвинскому за любезно предоставленную камеру и оборудование для работы с источниками  $Co^{60}$ .

Поступила в Редакцию 4/VIII 1967 г.  
В окончательной редакции 20/II 1968 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Р. В. Джагацпаян и др. Доклад на Втором симпозиуме по радиационной химии. Венгрия, 1966.
2. А. Х. Брегер, В. Б. Осипов, В. А. Гольдин. «Труды Всесоюзного совещания по радиоактивным изотопам и ядерным излучениям в народном хозяйстве СССР (Рига, 1960 г.)». Т. 1. Рига, Гостехиздат, 1961, стр. 227.
3. Р. В. Джагацпаян и др. Там же, стр. 204.

## Использование математических методов при поисках месторождений урана

Г. Н. БАЛАСАНОВ, Д. Я. СУРАЖСКИЙ, Б. А. ЧУМАЧЕНКО, А. А. ДЕРЯГИН, Е. П. ВЛАСОВ

УДК 550.8:553.495

За последние годы в геологической литературе появились работы, посвященные применению современных математических методов, в частности многомерного статистического анализа, алгоритмов распознавания образцов и методов дискретного анализа, для решения некоторых задач прикладной геологии, таких как определение размеров рудных залежей по химическому составу руд [1], исследование механизма слоеобразования [2], диагностика нефтеносных и водоносных пластов [3, 4], оценка перспективных площадей [5], типизация месторождений полезных ископаемых [6, 7] и др.

Настоящая статья представляет попытку найти общий подход к математической постановке поисково-оценочных задач и разработке рациональных алгоритмов их решения на примере некоторых месторождений уран-молибденовой формации.

**Постановка задачи.** Как известно, методика поисково-разведочных работ в отдельно взятом районе находится в зависимости от положения

верхней границы рудных тел. По этому признаку месторождения металлических руд можно разбить на две группы: 1) месторождения, вскрытые эрозией и залегающие на обнаженных участках; 2) месторождения, не выходящие на эрозионную поверхность рудовмещающих пород («слепые» месторождения) или же погребенные под мощным покровом рыхлых отложений («перекрытые» месторождения).

Для поисков месторождений первой группы успешно используются относительно простые и хорошо разработанные методы — различные модификации  $\gamma$ -съемки в сочетании с визуальным геологическим изучением. Доступность представительного горизонта и обусловленная этим низкая стоимость поисковых работ обеспечивают возможность наблюдений по весьма плотной сети без существенных экономических потерь. Доза  $\gamma$ -излучения, связанного с рудными выходами, как правило, значительно превышает окружающий фон. Число геологических параметров, учитываемых при оценке резуль-