

Ж 53
А92

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ СССР



Ежемесячный журнал
ГОД ИЗДАНИЯ ДВЕНАДЦАТЫЙ

АТОМИЗДАТ ■ МОСКВА ■ 1968

Том 24 ■ Май ■ Вып. 5

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. СМЕРНОВ, В. С. ФУРСОВ, В. Б. ШЕВЧЕНКО.

СОДЕРЖАНИЕ

СТАТЬИ

| | |
|--|-----|
| В. И. Баранов. Развитие радиогеологии в СССР . . . | 419 |
| Я. Богач, П. Квитнер, Э. Сабо. Определение некоторых примесей в кремнии высокой чистоты методом активационного анализа без разрушения образцов | 421 |
| Я. Божик, Е. Кубовский, С. Лятэк. Измерение материального параметра критической сборки «Анна» | 425 |
| Н. Г. Баданина, Ю. П. Сайков. Критерий сравнения состояния твэлов активной зоны реактора | 429 |
| Ю. В. Чухкин, Е. Ф. Давыдов, В. Н. Сюзёв, Т. М. Гусева, В. В. Колесов, М. Д. Дерибизов. Радиационная стойкость пластинчатых твэлов реактора СМ-2 | 432 |
| Б. Г. Егнзаров, В. А. Зюбко, А. И. Новиков. Выбор оптимальной аналитической методики при инструментальном активационном анализе | 435 |
| В. И. Субботин, Д. М. Овечкин, Д. Н. Сорокин, А. П. Кудрявцев. Теплоотдача при кипении натрия в условиях свободной конвекции | 437 |
| В. П. Бобков, М. Х. Ибрагимов, В. И. Субботин. Расчет коэффициента турбулентного переноса тепла при течении жидкости в трубе | 442 |
| В. Я. Кудяков, М. В. Смирнов, Н. Я. Чукреев, Ю. В. Поеохин. Образование двухвалентного тория в среде расплавленного хлористого калия | 448 |
| Н. М. Зуева, Л. С. Соловьев. Равновесие и устойчивость плазмы в аксиально симметричных тороидальных системах | 453 |

ПЕРСОНАЛИЯ

Исаак Константинович Кизкин (к 60-летию со дня рождения) 460

АННОТАЦИИ ДЕПОНИРОВАННЫХ СТАТЕЙ

Н. Е. Брежнева, Ю. И. Капшанинов, С. Н. Озипранер. Изучение кинетики электролитического выделения гидроокисных осадков редкоземельных элементов

| | |
|--|-----|
| А. С. Тшечкин. Вычислительное устройство для обработки γ -спектров | 462 |
| В. Е. Дроздов, Ю. С. Рябухин. К расчету мощностей поглощенных доз полоого цилиндрического облучателя с неравномерным распределением активности | 463 |
| М. Задубан, Л. Медвидь. Определение суммарной β -активности долгоживущих продуктов деления при помощи K^{40} | 464 |
| Г. П. Березина, Я. Б. Файнберг, А. К. Березин. Экспериментальное исследование потоков быстрых ионов, образующихся в системе пучок — плазма | 465 |

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

| | |
|---|-----|
| М. А. Сарычев, Ю. Н. Алексенко, Н. В. Звонков, В. И. Буйницкая, И. В. Рогожкин, А. А. Баталов, Ю. В. Александров. Распределение потока тепловых нейтронов в различных отражателях с каналами | 467 |
| Т. М. Гусева, Е. Ф. Давыдов, В. Н. Сюзёв, Ю. В. Чухкин. О возможном характере изменения объема тепловыделяющих композиций при твердом распухании | 469 |
| Е. М. Лобанов, Н. В. Зиновьев. Определение необходимой статистики при бескорреляционной расшифровке данных активационного анализа | 471 |
| С. Н. Вотинин, Т. М. Гусева, В. И. Клименков. О радиационной стойкости сплава циркония с 1% ниобия в условиях работы реактора СМ-2 | 473 |
| А. Э. Шеми-заде. О сухих выпадениях продуктов ядерных испытаний | 474 |
| К. П. Захарова, Г. М. Иванов, В. В. Куличенко, Н. В. Крылова, Ю. В. Сорокин, М. И. Федорова. Об использовании тепла химических реакций для термической переработки жидких радиоактивных отходов | 475 |

225381/м



п

страдные газонефтепроводы и т. п. О новой портовой ксерорадиографической установке для промышленной дефектоскопии сообщил В. И. Горбачев.

Исследуя свойства радиографических пленок, находящихся в контакте с люминесцентными экранами на основе активированного серебром сернистого цинка в смеси с бором и облучаемых потоками медленных нейтронов, авторы доклада «Эффект Шварцшильда в нейтронной радиографии» (В. А. Букарев и др., ВНИИРТ) показали, что применение экранов с природным бором дает усиление, в несколько раз большее по сравнению с металлическими экранами, а при использовании в люминесцентных экранах бора, обогащенного до 86% изотопом B^{10} , усиление возрастает в несколько десятков раз. Было установлено, что отступление от закона взаимозаместимости (определяемое показателем степени Шварцшильда) мало отличается от обычно наблюдаемого в рентгенографии. Данные, полученные в результате этих исследований, позволяют приступить к разработке промышленных методов нейтронной радиографии.

О разработке защитно-замедлительного устройства с использованием малогабаритного генератора нейтронов типа НГИ-1, генератора типа НГ-160 и изотопных нейтронных источников сообщил В. С. Яскевич в докладе «Устройство для замедления быстрых нейтронов с выводом направленных нейтронных потоков» (авторы А. С. Штань и др., ВНИИРТ). Вопросы применения нейтронов в дефектоскопии коснулись также в обзорном докладе В. И. Горбунов (Томский политехнический институт).

Отдельным проблемам рентгенографии и рентгеноаппаростроения были посвящены доклады: «Проект нормального ряда рентгеновских аппаратов» (С. В. Чернобровов), «Механизация и автоматизация некоторых процессов рентгеновского контроля» (Г. Г. Орлова и др.) — об опыте механизации процессов фотообработки радиографической пленки, «Применение рентгеновских лучей для контроля материалов и сварных изделий из неметаллов» (Г. В. Балабина, МВТУ им. Баумана) и др.

Доклады, свидетельствующие об успешном развитии радиационных методов дефектоскопии с использованием созданных авторами бетатронов, представила группа научных работников Томского политехнического института. Их доклады касались широкого круга методических вопросов использования бетатронов для контроля толстостенных сварных сосудов, изделий из бетона и железобетона, дефектоскопии

тонких изделий с применением электронного пучка бетатрона и др.

Особое внимание на заседании секции «Радиационная дефектоскопия» было уделено методам визуализации контроля. Большой интерес присутствующих вызвал доклад П. В. Рабодзея с группой сотрудников «Развитие рентгенотелевизионных методов дефектоскопии и микроскопии», в котором показана возможность выявления внутренних дефектов весьма малых по размерам изделий при помощи созданных авторами аппаратов.

Об исследованиях с целью создания рентгеновского интроскопа с применением монокристаллов, усилителей и телевизионных систем, о разработке рентгеновских стробоскопа и стереоинтроскопа, а также сцинтилляционного гамма-оптического преобразователя для целей интроскопии сообщила группа научных работников НИИ Интроскопии.

С докладом на тему «Исследования плоскостной и стереоскопической рентгеновской интроскопии при контроле литьих деталей» выступили С. В. Румянцев и В. А. Добромислов.

С целью расширения возможностей контроля изделий больших толщин И. Я. Серебренников и др. (ВНИИРТ) предложили использовать для радиометрической дефектоскопии дифференциальные спектрометрические методы регистрации прошедшего через контролируемый объект γ -излучения с выделением так называемого приборного фактора накопления. И. И. Крейдлин и др. (ВНИИРТ) сообщили об исследованиях возможности использования β -источников для радиометрической дефектоскопии тонких изделий.

Данные, приведенные в докладе «Пространственно-угловое и спектральное распределение рассеянного γ -излучения при дефектоскопии» (Н. Ф. Андриусин и др., ВНИИРТ), позволяют охарактеризовать радиационную обстановку при работе с γ -дефектоскопом и обеспечить радиационную безопасность обслуживающего персонала и окружающих.

О методике определения экономической эффективности изотопной радиографии доложил В. С. Акопов (ВНИИРТ), предложивший критерием оценки эффективности принять суммарную эффективность изменения качества изделия в результате мероприятий по выявлению и устранению брака и его причин.

Обмену опытом использования радиационных методов контроля в промышленности были посвящены выступления Г. К. Гаринченко, А. В. Джабадари, Н. Д. Кремнева и др.

А. Г. СУЛЬКИН

Международная конференция по безопасности реакторов на быстрых нейтронах

В сентябре 1967 г. в г. Экс-эн-Провансе (Франция) состоялась Международная конференция по безопасности быстрых реакторов, в которой приняло участие около 330 представителей из 18 стран мира и от двух международных организаций. Конференцию организовали Комиссариат по атомной энергии Франции и научно-исследовательский центр Кадараш. Было обсуждено более 60 докладов.

На конференции нашли отражение два различных подхода к проблемам безопасности быстрых реакторов.

Представители первого направления предполагают возможность возникновения экстремальных аварийных ситуаций (разрыв первого контура, чрезвычайно быстрое и значительные изменения реактивности, приводящие к полному или частичному расплавлению активной зоны и т. д.). Работы представителей этого направления посвящены теоретическому и экспериментальному изучению кипения и перегрева натрия и условий расплавления твэлов в аварийном случае, оценке энергии взрыва, исследованию горения натрия и распределения осколков

ков деления, выбрасываемых вместе с натрием в производственные помещения или внешнюю среду. Заслуживают внимания вероятностные методы оценки надежности быстрых реакторов. В докладе Великобритании «Метод оценки безопасности быстрых реакторов» было показано, что для быстрого реактора вероятность крупной аварии за 20 лет эксплуатации составляет величину порядка 10^{-12} . Рассматриваются вероятности отказов отдельного оборудования, наложение двух и более аварий (например, выход из строя циркуляционных насосов и неисправность СУЗ). Исходя из предельно допустимой концентрации J^{131} , выбрасываемого в атмосферу, рассчитываются последствия аварийных ситуаций. Следует заметить, что для получения достоверных результатов в соответствии с предложенной методикой необходимо использовать практические статистические данные о надежности оборудования, которые можно получить только при изучении отказов во время эксплуатации быстрых реакторов. Поэтому в дальнейшем, по мере накопления этих данных, предложенный метод оценки вероятности аварийных ситуаций может оказаться весьма эффективным.

Теоретическому и экспериментальному изучению вопросов кипения натрия было посвящено около 30% всех докладов. В первую очередь рассмотрены два вопроса: структура пристеночного слоя (отмечена необходимость проведения работ с натрием высокой чистоты, в противном случае результаты будут искажены) и процессы образования пузырьков теплоносителя, что имеет теоретическое и практическое значение. В частности, обращено внимание на возможность регистрации начала закипания натрия в кассетах с помощью спектроскопии акустических шумов, что является перспективным способом контроля.

Представляют значительный интерес работы по экспериментальному исследованию процессов расплавления твэлов. В результате этих экспериментов было установлено, что при расплавлении твэлов не наблюдалось вытекания урана за пределы кассеты (установлено взвешиванием) и не зарегистрировано какого-либо заметного повышения реактивности. Однако этот результат может измениться в зависимости от конкретных особенностей аварийной ситуации. Подобные эксперименты по изучению процесса расплавления представляют большую ценность для конструкторов и ученых, ведущих разработку твэлов быстрых реакторов.

С целью изучения проблемы ошибок проектирования в США были проведены многолетние экспериментальные работы по исследованию горения натрия. Эти эксперименты осуществлены в специально сооруженных камерах с добавкой в натрий радиоактивного J^{131} в качестве индикатора. Для изучения разрыва первого контура была сооружена небольшая установка, на которой осуществили эксперимент, симулирующий эту аварию. Было установлено, что в случае подобной аварии значительная часть осколков деления (до 90%) будет распределена по внешней поверхности оборудования и стенкам помещения.

Представители второго направления считают, что теоретически экстремальные и аварийные ситуации могут иметь место только в результате возникновения, наложения и развития малых аварий отдельных систем и оборудования, вероятность которых значительно выше, чем крупных аварий. Поэтому основным в работах представителей этого направления является исследование малых аварий, оценка их последствий, разработка эффективных способов их идентификации и предотвращения, в первую очередь обеспечение надежного расхолаживания в аварийных случаях. Отсюда отме-

ченная многими авторами тенденция к применению максимально надежного оборудования и упрощению технологических систем.

В этой связи следует отметить один из аспектов безопасной эксплуатации быстрых реакторов — необходимость измерения температуры натрия на выходе из кассет. Обеспечение надежного температурного контроля быстрых реакторов является сложной технической задачей. Однако она была успешно решена в реакторах «Даунри», «Энрико Ферми» и «Рапсодия». Как известно, в октябре 1966 г. только по анализу показаний термопар, измеряющих температуру натрия на выходе из кассет, удалось обнаружить две поврежденные кассеты в реакторе «Энрико Ферми». Возражения о трудностях организации температурного контроля можно опровергнуть положительным опытом эксплуатации реактора «Рапсодия» с электронно-вычислительной машиной, служащей наряду с другими задачами для регистрации показаний термопар, измеряющих температуру натрия на выходе из 84 кассет.

Одним из важных вопросов безопасной эксплуатации быстрых реакторов является изучение эффектов взаимодействия воды и натрия при разуплотнении трубок парогенератора. На конференции были представлены два доклада (Франции и СССР) по экспериментальному изучению эффектов взаимодействия воды и натрия. Эксперименты на модели парогенератора реактора БН-350 с параметрами, максимально близкими к проектному образцу, показали, что момент разрушения трубки при попадании воды в натрий сопровождается ударной нагрузкой, амплитуда которой в месте измерения составила $40-50 \text{ кг/см}^2$. При этом температура кратковременно возрастала до $700-800^\circ \text{C}$. Разрушений соседних трубок, заполненных водой под давлением $50-60 \text{ кг/см}^2$, не обнаружено. Детальные исследования по взаимодействию натрия и воды были проведены в Кадраше на экспериментальном стенде с объемом натрия $\sim 100 \text{ л}$ и вводом за 2 сек 30 л воды. В отличие от советских экспериментов разницы в наблюдаемых эффектах для циркулирующего и неподвижного натрия не обнаружено, что, вероятно, объясняется небольшой скоростью натрия ($\sim 1 \text{ м/сек}$). В месте впрыска воды иногда наблюдалась деформация соседних трубок.

Во время общей дискуссии выяснилось, что большинство участников конференции придерживается второго, более умеренного подхода к проблемам безопасности быстрых реакторов.

Участникам конференции было очень интересно узнать о причинах и способах ликвидации аварии на реакторе «Энрико Ферми». В докладе США указывается, что причиной аварии послужила металлическая пластинка размерами $250 \times 100 \text{ мм}$, оставшаяся, видимо, от монтажа. Эта пластинка прижималась потоком натрия к нижней решетке и частично перекрывала дроссельные отверстия не менее чем двух кассет, что привело к соответствующему снижению расхода натрия и повышению температуры, т. е. авария не носит какого-либо специфического характера, присущего быстрым реакторам с натриевым теплоносителем.

Сообщение инженеров Великобритании касалось существующего положения на реакторе в Даунри, где наблюдается некоторое увеличение утечек теплоносителя из корпуса реактора. При остановке реактора течь прекращается, что вызывает трудности в ее отыскании.

На конференцию были представлены интересные доклады по режимам аварийного расхолаживания, физике аварийных нестационарных процессов, определению доплер-коэффициента для различных актив-

ных зон быстрых реакторов, вопросам безопасности, рассмотренным в новых проектах быстрых реакторов, и т. д.

В результате обсуждения было высказано мнение о том, что безопасность АЭС с быстрыми реакторами, хотя и имеет свои особенности, в принципе не отличается от безопасности АЭС с тепловыми реакторами.

Конференция представила большой интерес для ученых и инженеров, принимающих участие в разработке проектов и эксплуатации быстрых реакторов, так как позволила ее участникам обменяться мнениями по различным проблемам эксплуатации и проектирования быстрых реакторов.

В. Г. КИСЕЛЕВ, Е. П. КАРЕЛИН

Симпозиум по применению радиоактивных изотопов в технике сельского хозяйства

В октябре 1967 г. в Потсдам-Борнуме (ГДР) Немецкая академия сельскохозяйственных наук и Институт механизации сельского хозяйства провели симпозиум по применению радиоактивных изотопов в технике сельского хозяйства. В симпозиуме приняли участие около 50 человек — представители из ГДР, СССР, ВНР, Австрии, БНР, ПНР, ЧССР и ФНРЮ. Было заслушано и обсуждено 20 докладов.

Унгер в своем обзоре осветил состояние и перспективы применения изотопов в сельском хозяйстве ГДР.

М. Беер, В. Гельбиг и Г. Реттиг (ГДР) представили несколько сообщений об итогах работы изотопного отдела Института механизации сельского хозяйства в Потсдам-Борнуме. Первое сообщение касается исследования с помощью Au^{198} однородности комбикормов дования с промышленным производством. Определение при их промышленном производстве. Определение однородности комбикормов существующими химическими методами требует больших затрат труда на приготовление проб и проведение анализов. С помощью Au^{198} удалось проследить за процессами смешивания и разделения комбикормов в больших установках вместимостью 400 т. При этом стоимость затрат на проведение исследований составила около 1% затрат на химические методы анализа. Второе сообщение было посвящено определению плотности рыхлого и прессованного сена, силосного материала (на транспортерах и разных силосных сооружениях) по поглощению γ -излучения в исследуемом веществе. Разработанные γ -зонды с источниками из Cs^{137} активностью 2 мк позволили измерять плотности в пределах 40—1200 кг/м³. Результаты исследования движения потока жидкой почвы около плуга, воздушного потока и частиц корма по длинным трубопроводам и других сред при скорости перемещения от нескольких сантиметров в день до 20 м/сек, полученные с помощью радиоактивных изотопов, были приведены в третьем сообщении.

Доклад об исследовании работы установок для протравливания семян сделали Е. Беккер и М. Беер (ГДР). Метка влажного протравливающего препарата производилась Na^{24} , а сухого — Au^{198} . Детальное исследование позволило установить необходимую степень и равномерность обработки зерна, внести требуемые коррективы в конструкции машин и рекомендовать концентрации протравителей.

В докладе В. Гельбига и др. «Измерение распределения химических препаратов, меченных радиоактивными изотопами на сельскохозяйственных растениях при помощи разбрызгивающих и распыливающих установок» излагается методика измерения распределения

химических препаратов на листьях растений с помощью Au^{198} . Для отбора проб применялись бумажные и пленочные ленты, предварительно натянута на листья.

Дешевым и достаточно точным оказался метод измерения коэффициента обмена воздуха в теплицах с помощью Kr^{85} , о чем доложили Гейснер и М. Беер (ГДР).

Е. Кун и М. Беер сообщили, как путем метки белка молока коллоидным Au^{198} или жира J^{131} можно проследить за протеканием процесса очистки молочных цистерн, являющегося функцией различных технических параметров. Полученные данные были использованы для составления соответствующих оптимальных программ очистки молочных цистерн вместимостью 0,6—3,2 м³.

Несколько докладов было посвящено методам измерения плотности и влажности почво-грунтов. В. А. Емельянов (СССР) сообщил о полевой радиометрии влажности и плотности почвы. Д. Сипос (Венгрия) коснулся нейтронного измерения влажности почвы. К. Рейхман (Австрия) посвятил свой доклад измерению плотности почвы в поперечном сечении колесной колеи. К. Баганц (ГДР) привел данные о применении зонда DS-2 при измерении плотности почвы. В. Гельбиг, М. Беер остановились на использовании вилочных зондов для измерения плотности почвы.

В нескольких сообщениях рассмотрены вопросы применения нейтронно-активационного анализа. В. А. Зуев, Р. А. Срапеняц и К. С. Цаголов (СССР) доложили об использовании этого метода для определения содержания отдельных макро- и микроэлементов в почвенных образцах и удобрениях. К. С. Цаголов и Р. А. Срапеняц осветили некоторые возможности применения нейтронно-активационного анализа для изучения долговечности деталей тракторов и сельскохозяйственных машин. С. Капор (Югославия) сообщил об обнаружении этим методом остатков ртути и брома на зернах пшеницы и кукурузы после обработки растений пестицидами. В результате исследований было установлено, что содержание ртути на некоторых зернах даже после трехкратной промывки превышает допустимые нормы.

Р. А. Срапеняц (СССР) и И. Гофман (ГДР) остановились на теоретических основах создания радиометрического разделительного устройства для картофелеуборочного комбайна и обсудили вопросы возможности применения Sr^{90} , Tl^{208} , Am^{241} , для отличия картофеля от камней и комков почвы.

С. В. Андреев (СССР) посвятил свой доклад методу борьбы с вредителями сельскохозяйственных рас-