

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. Технично-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



Экономические аспекты ядерного горючего

В мае 1968 г. в Готвальдове (ЧССР) проходил организованный МАГАТЭ Симпозиум по экономическим аспектам ядерного горючего, на который прибыли 174 делегата из 29 стран и от шести международных организаций. Было представлено 35 докладов. Работало пять секций.

В приветствии председатель КАЭ ЧССР проф. Я. Нойман отметил, что после заключения Московского договора о запрещении испытаний ядерного оружия в трех средах ядерное горючее все больше используется в мирных целях. Важность исследований экономических аспектов ядерного горючего обуславливается, в частности, тем обстоятельством, что затраты на ядерное горючее за срок службы АЭС (20—30 лет) намного превышают затраты на все остальные статьи расхода АЭС. Выступивший затем д-р Спиррад подчеркнул, что за последние три года АЭС в США достигли уровня экономичности электростанций на органическом топливе. Заказы на строительство АЭС превысили заказы на строительство электростанций на органическом топливе и достигли объема, соответствующего мощности 50 млн. кВт. Ожидается, что к 1980 г. суммарная электрическая мощность всех АЭС в мире составит 150—200 млн. кВт.

На секции обзоров и прогнозов было представлено пять докладов. Дж. Ф. Хогертон (США) и К. Нагашима (Япония) посвятили доклады перспективам развития ядерной энергетики в их странах и оценке потребности в природном уране. Большое внимание было уделено как краткосрочному, так и долгосрочному прогнозированию потребности в природном уране. В 1985—1990 гг. ожидается строительство быстрых реакторов. Оценено влияние различных факторов на потребности в природном уране, в частности длительности задержки горючего в топливном цикле. В докладе С. М. Фейнберга (СССР) рассмотрены ближайшие перспективы ториевого цикла в тепловых реакторах. Показано, что использование тория в уран-графитовом реакторе с трубами под давлением при глубинах выгорания ~ 10 Мвт·сутки/кг Th уменьшает потребность в природном уране примерно на порядок. Экономичность ториевого цикла по сравнению с урановым становится выше, начиная с удельной мощности горючего 30 Мвт/м³ Th (U). Делается вывод об экономической целесообразности использования тория в тепловых реакторах уже в ближайшее время.

Доклады М. Бонанни и др. (США) и И. Хага и др. (Швеция) посвящены перспективам изменения составляющих затрат топливного цикла с реакторами типа LWR и BNWR. Отмечено, что за прошедшее десятилетие величина топливной составляющей стоимости электроэнергии АЭС снизилась в 4 раза за счет улучшения технологии производства горючего и эксплуатации, однако в будущем следует ожидать меньшего успеха. Дальнейшее снижение стоимостей переделов горючего произойдет в результате укрупнения производств и технического прогресса, но рост цен (1,5—4%/год) на сырье и изделия машиностроительной промышленности сведет на нет эти улучшения. Особенно чувствительной к масштабу производства оказалась стоимость регенерации облученного горючего.

На секции по методам исследований и оценок было представлено 11 докладов. Теоретические и методические вопросы экономики ядерной энергетики наиболее трудны для международного обсуждения и выработки

единых методических подходов. Экономическая наука стран с различным общественно-экономическим укладом оперирует разными категориями, понятиями и критериями, и ее выводы относительно экономичности того или иного технического решения могут иметь различное значение в разных странах. В этом смысле ознакомление с методическими подходами к определению степени экономичности технических решений имело известный познавательный характер. В докладе В. Батова и Ю. Корякина (СССР) была изложена методика определения топливной составляющей себестоимости электроэнергии и эффективности использования ядерного горючего, основанная на широко применяемом в СССР методе «приведенных затрат» и представлении ядерной энергетики как единого комплекса предприятий топливного цикла с централизованным управлением и известной хозяйственной самостоятельностью отдельных предприятий топливного цикла. Методика иллюстрирована некоторыми примерами частичной оптимизации использования ядерного горючего реактора традиционного типа (уран-графитового с трубами под давлением).

В докладе Л. Геллара (США) сделана попытка уточнения широко применяемого в капиталистических странах метода «приведенной стоимости» («Present Worth Method») с учетом возможных изменений затрат топливного цикла в будущем вследствие роста цен, технического прогресса и увеличения масштабов производства. С учетом этих поправок на нескольких конкретных примерах определена средняя за время жизни АЭС топливная составляющая и полная стоимость электроэнергии.

Интересные доклады представили С. Е. Айлиф и Г. Стил (Великобритания). В первом сообщении для расчета экономических показателей ядерной энергетики в масштабах национальной программы ее развития применен метод приведенной стоимости, причем плутоний, производимый в системе, потреблялся в этой же системе; кроме того, отпала необходимость определения стоимости плутония. Во втором докладе для оптимизации топливного цикла в целом разработаны математические модели каждого звена топливного цикла и всего внешнего топливного цикла. В докладах М. Яmano и др., М. Таки (Япония), И. Гулка (ЧССР), П. Воланта и др. (Италия), Д. Гупта и др. (ФРГ), Б. Флуда и др. и Дж. Макартура (Великобритания) рассматривались различные аспекты оценок затрат топливного цикла.

На секции по общим исследованиям компонентов стоимости топливного цикла было представлено шесть докладов. М. Мартенссон (Швеция) представил интересный доклад по оптимизации газодиффузионного производства, причем предварительно им были получены аналитические зависимости стоимостей отдельных узлов газодиффузионной установки от основных физико-технических параметров. В Веселы (ЧССР) и Д. Гупта и др. (ФРГ) представили доклады по экономике заводов по изготовлению твэлов. Доклады Дж. Эссея и др. (Бельгия), Дж. Меммеля и др. и Б. Кочет-Мачи и др. (Франция) посвящены технико-экономическим вопросам различных способов регенерации облученного горючего. Из последних докладов следует, в частности, что по технико-экономическому уровню европейская радиохимическая промышленность превзошла американскую.

На секции по стоимости горючего для реакторов на тепловых нейтронах было представлено восемь докладов. О практике обращения с ядерным горючим компании «Гидроэлектрик Пауэр Комишн оф Онтарио» доложил Г. Фанджой (Канада). Детально рассмотрены вопросы покупки горючего, его использования и извлечения, методика исчисления топливной составляющей стоимости электроэнергии, системы контрактов на поставку сырья и изготовление твэлов. Компания развивает собственные методы определения режима прохождения горючего по топливному циклу, начиная с определения технических и конструктивных особенностей при проектировании. До пуска в эксплуатацию завода по химической переработке облученного горючего стоимость этого горючего принимается равной нулю. Осуществление регенерации облученного горючего и возврат в топливный цикл накопленного плутония и оставшегося урана приведет к снижению топливной составляющей стоимости электроэнергии для тяжеловодных реакторов с 0,063 до 0,038 *цент/квт.ч.* А. Джонсон (Великобритания) большое внимание уделил различным гарантиям на ядерное горючее. Эти вопросы вследствие различных интересов поставщиков горючего и его покупателей имеют важное значение, поскольку при частом владении, как правило, нет третьей стороны, способной разрешить спор. При разработке гарантий УАЭ Великобритании ориентируется на интересы покупателей. А. Джонсон рассмотрел металлургические и другие виды разрушений и отметил, что гарантии должны учитывать интересы как поставщиков горючего, так и тех, кто использует его. Центральное энергетическое управление Великобритании еще не приняло решения о приемлемости разработанных УАЭ гарантий по горючему для практики.

В докладах Р. Коэна и др. (Канада), К. Ринальдини и др. и П. Луизо (Италия) были рассмотрены технико-

экономические вопросы использования плутония в тепловых реакторах. Цена плутония определялась через его энергетическую ценность по сравнению с U^{235} с учетом затрат на изготовление твэлов и химическую переработку облученного горючего. Экономике использования тория, урана и плутония в тепловых высокотемпературных газоохлаждаемых реакторах были посвящены доклады Дж. Шлессера и С. Брандеса (ФРГ), а в тяжеловодных реакторах типа CIRENE — доклад П. Вендитти и Г. Кардози (Италия).

На секции по стоимости горючего для быстрых реакторов было представлено пять докладов. Л. Герман и М. Эглем (Бельгия) провели сравнительную оценку энергетической и экономической ценности различных изотопов урана и плутония в реакторах на быстрых нейтронах. В докладе М. Эглема и др. (Бельгия) была показана важность короткого топливного цикла для быстрых размножителей. Д. Гуита и П. Зелк и др. (ФРГ) провели исследования влияния времени выдержки и условий транспортировки облученного горючего быстрых размножителей на стоимость электроэнергии. Х. Лартикью (Мексика) представил доклад о влиянии времени переработки и полного интеграла облучения горючего на экономику быстрых размножителей.

На симпозиуме были затронуты все теоретические, методические и практические вопросы экономики ядерного горючего. Наиболее трудными и интересными вопросами, вызвавшими оживленную дискуссию, оказались вопросы учета фактора времени в экономических исследованиях, вопросы оптимизации характеристик реактора и топливного цикла в целом, вопросы гарантий ядерного горючего. Второй (после Лондонского 1967 г.) симпозиум по экономике ядерной энергетики способствовал более углубленным технико-экономическим исследованиям и оптимизации в этой области.

В. В. БАТОВ

Исследования в области переработки облученного топлива

В конце февраля 1968 г. по инициативе ЧССР в Карловых Варах был проведен симпозиум по переработке облученного топлива. В симпозиуме приняли участие представители стран — членов СЭВ: НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, ЧССР, а также представители СФРЮ, не являющейся членом СЭВ; всего более 70 человек.

На пленарном заседании были заслушаны обзорные доклады о современном состоянии переработки ядерного горючего как водными, так и неводными методами, о состоянии работ по удалению высокоактивных отходов и доклад по вопросам экономики переработки облученного топлива.

Затем состоялись секционные заседания по водным и неводным методам (30 докладов). Обзорный доклад по водным методам был сделан В. Шраером (ЧССР), который уделил особое внимание перспективам использования реакторов на быстрых нейтронах и связанным с этим проблемам переработки топлива.

Экономика процессов переработки была освещена в докладе М. Корсовой (ЧССР). По ее мнению, для экономического сопоставления водных и неводных процессов в настоящее время нет еще достаточных данных. Разработанные водные процессы могут быть применены и для переработки горючего быстрых реакторов.

В докладе В. Б. Шевченко (СССР) был дан обстоятельный анализ особенностей, которые возникают при

разработке и применении методов регенерации топлива быстрых реакторов. Эти особенности связаны главным образом с очень высоким уровнем активности и необходимостью быстрого возвращения плутония в цикл. По данным, приведенным в докладе М. Ф. Пупленкова (СССР), посвященном обзору состояния и перспективам экстракционной технологии, следует, что уже в настоящее время возможно использование аппаратов с малым временем контакта фаз для переработки высокоактивных растворов.

Чехословацкий ученый И. Пека осветил современный мировой уровень в области переработки облученного ядерного горючего неводными методами.

Двадцать докладов было посвящено вопросам, связанным с химией водных процессов облученного топлива. В частности, в докладах В. М. Вдовенко с сотрудниками и В. С. Шмидта с сотрудниками (СССР) были освещены вопросы состояния солей аминов, применяемых для экстракции урана и плутония, и показано влияние специфических взаимодействий в органической фазе на экстракционную способность солей аминов. В докладе Б. Н. Ласкорина (СССР) приведены основные закономерности экстракции урана фосфиноксидами.

Некоторые доклады были посвящены применению неорганических ионообменников для очистки водных растворов, например фосфата циркония (В. Пекарек и В. Весель, ЧССР) и магнетита (А. Руварац, СФРЮ).