

в г. Монбар длиной 340 м и шириной 25 м оборудован устройствами для подачи очищенного воздуха и его кондиционирования, позволяющими контролировать температуру и влажность, имеет особую изоляцию стенок помещения и специальный пол, что обеспечивает исключительную чистоту в процессе изготовления. Производительность цеха ~1 млн. м в год с возможностью ее повышения до 1,5 млн. м. Здесь выпускаются прямые и гнутые трубы диаметром от 12 до 25 мм, толщиной стенки 0,8—3 мм, радиус гiba от 2 диаметров трубы до 1,5 м. Допуск на толщину стенки холоднокатаных труб $\pm 8\%$.

Имеется специальная автоматическая линия, по которой труба движется без вращения и проходит последовательно три измерительные головки. Эти устройства дают возможность осуществлять контроль токами Фуко и определять дефекты и толщину стенки ультразвуком. Датчики ультразвукового контроля настроены на дефект 0,1 мм; браковочным признаком является дефект на наружной или внешней поверхности выше 0,7 мм. Измерение толщины дает 50 результатов на один оборот головки, т. е. около 250 тыс. измерений для одной трубы. Данные регистрируются на диаграммной ленте, а также с использованием ЭВМ, которая управляет устройствами для автоматической маркировки зон, где обнаружены отклонения, для разделения годных и забракованных труб. Результаты измерений

и контроля хранятся, что позволяет проверить историю в любой момент. Число забракованных труб в процессе изготовления и контроля не превышает 8%.

Фирма «Валлурек» выпускает трубы из аустенитной стали 304 и 316, циркониевых сплавов (диркалой-2, 4) для оболочек твэлов водо-водяных и быстрых реакторов диаметром 5—28 мм, длиной 500—4500 мм (максимально до 6000 мм) и толщиной стенки 0,25—1 мм. Производятся также кожуховые трубы для топливных сборок. Для дистанционирования твэлов в пакете используют проволоку, навиваемую с определенным натягом по поверхности трубы и привариваемую к обеим ее концам. С целью уменьшения распухания оболочечных материалов под действием нейтронного потока в быстрых реакторах проводят нагартовку с 10—20%-ной деформацией. Вследствие ограничений, связанных с распуханием оболочечных материалов, выгорание топлива в реакторе «Супер-Феникс» привито равным 70 000 МВт·сут/т. В настоящее время фирма приступила к изготовлению различного сортамента труб для «Супер-Феникса».

Симпозиум оказался полезным, так как позволил получить информацию о производственных возможностях одной из ведущих фирм Франции по выпуску труб для АЭС.

КИСЕЛЕВ Г. В.

11 конференция по преобразованию энергии и работы по термоэмиссии в США

В соответствии с соглашением между ГКАЭ СССР и ERDA (США) группа советских специалистов участвовала в работе 11 межведомственной конференции по инженерным проблемам преобразования энергии, проходившей с 13 по 16 сентября в г. Стейт-Лейн (шт. Невада). По окончании ее советские специалисты посетили ряд научно-исследовательских центров и фирм, в которых ведутся работы по термоэмиссионному способу преобразования энергии.

11 Конференция по преобразованию энергии. В работе конференции помимо американских специалистов участвовали ученые из 18 стран мира. Общее количество участников превышало 800 чел. На 48 заседаниях было заслушано около 250 докладов. Из общего числа заседаний на 22 рассматривались первичные источники энергии и способы производства энергии, на семи — проблемы аккумуляирования и хранения энергии, на десяти — проблемы потребления энергии на транспорте, на шести — использование энергии в космосе, в военных и связанных с ними областях техники. На специальном заседании обсуждались доклады советских специалистов: «Состояние и направление исследований по термоэмиссионным преобразователям в СССР» (В. А. Кузнецов) и «Некоторые результаты исследований газоплазменных реакторов» (В. М. Иевлев). Основное внимание на конференции было обращено на наиболее эффективное использование энергии угля и Солнца в различных отраслях человеческой деятельности. Рассматривались методы подземной газификации углей, получения искусственных газообразных и жидкого топлива. Интересно отметить, что к решению этой проблемы подключились также традиционные ядерные центры, как Ок-Риджская национальная лаборатория. С другой стороны, большое внимание уделялось способам более эффективного ис-

пользования высокого температурного потенциала, получаемого при сгорании угля или концентрации солнечной энергии. В частности, в США ведутся большие работы, связанные с созданием так называемых высокотемпературных термодинамических «надставок» к электростанциям с паротурбинным циклом. В качестве надставок рассматривается главным образом циклы прямого преобразования тепловой энергии в электрическую с помощью МГД-генераторов или термоэмиссионных преобразователей. На конференции сообщалось о намерении американских специалистов создать к 1989 г. работающую на угле промышленную комбинированную энергоустановку МГД — паротурбинный цикл.

Не менее важное значение на конференции придавалось методам превращения солнечной энергии в тепловую и электрическую не только на космических объектах, но и для удовлетворения наземных нужд — отопление и освещение жилищ, системы кондиционирования воздуха, орошение земель и т.д. Просматривается тенденция создания сравнительно небольших (по мощности) солнечных энергоустановок для снабжения энергией преимущественно отдельных зданий или микрорайонов. Наряду с этим был предложен проект солнечной электростанции мощностью 100 МВт (эл.) с концентратором, расположенным на вершине башни высотой 275 м. Натриевый контур отводит тепло с концентратора и передает его парогенераторам, размещенным в нижней части башни. Для солнечных электростанций небольшой мощности (несколько сот киловатт электрической мощности) предусматриваются концентраторы в сочетании с термоэмиссионными преобразователями энергии.

Из других научно-технических проблем, рассматривавшихся на конференции, следует отметить методы

получения, хранения и использования водорода — перспективного энергоносителя.

Вызывает интерес аккумулятирование энергии, заключенной в водороде, в гидридах металлов и особенно в гидриде кальция. По мнению авторов докладов, наиболее перспективным представляется применение водорода в авиации, в промышленности и быту, для генерации и хранения энергии, в сельском хозяйстве (производство удобрений), на городском транспорте.

Значительное внимание на конференции было уделено проблемам использования геотермального тепла. Большое количество докладов касалось оптимизации бинарных циклов для геотермальных систем.

На конференции были представлены также работы по электрохимической, ветровой, ядерной и термоядерной энергетике, тепловым трубам и т.д. Несколько заседаний посвящалось космической энергетике.

В целом 11 конференция (подбор докладов и состав участников) отражала существующую в настоящее время в энергетике США тенденцию: использование угля и ядерной энергии в ближайшем будущем, солнечной, геотермальной и термоядерной энергии — в перспективе.

Исследования по термоэмиссии. Как известно, в США существовала государственная программа исследований в области термоэмиссионного преобразования энергии (ТЭП), направленная на создание реактора-преобразователя с электрогенерирующими каналами (ЭГК), встроенными в активную зону. Эта программа была доведена до стадии групповых испытаний натурных пятиэлементных электрогенерирующих каналов, созданных фирмой «Галф дженерал атомик». Испытания показали работоспособность каналов в реакторных условиях в течение 9000 ч при энергонапряженности 2,5—3 Вт/см². Отдельные элементы вне реактора работали более 46 000 ч с КПД, равным 15 %.

На базе ЭГК разработаны проекты реакторов-преобразователей мощностью от 5 до 120 кВт (эл.) для различного применения в космосе. На выполнение программы затрачено ~ 80 млн. долл. В 1972 г. в связи с переориентацией космической программы работы по термоэмиссионному реактору-преобразователю космического назначения были прекращены. В 1975 г. исследования вновь возобновились по объединенной программе ERDA — НАСА, целью которой являлось: 1. Создание в 90-е годы термоэмиссионной ядерно-энергетической установки с высокой удельной мощностью для космического аппарата с электрореактивными двигателями. Ориентировочная мощность ~ 500 кВт (эл.) со сроком службы 75 000 ч. 2. Разработка высокотемпературных надстроек главным образом для обычных электростанций с паротурбинным циклом для повышения КПД с 40 до 50 % и выше без значительного увеличения капитальных затрат и стоимости электроэнергии. На первом этапе планируется разработка научно-технических предпосылок создания усовершенствованных ТЭП. Предполагается, что первый этап будет реализован к 1980—1982 гг. и потребует около 20 млн. долл. Основные научно-технические проблемы, подлежащие решению, — изготовление коллектора с работой выхода электронов около 1 эВ с ресурсом в десятки тысяч часов и снижение энергетических потерь в межэлектродном зазоре с доведением в результате решения этих двух проблем барьерного индекса до ~ 1,5 эВ против существующего в ТЭП первого поколения ~ 2 эВ. В результате предполагается создание высокоэффективного ТЭП, имеющего при температуре эмиттера 1 400—1 700 К КПД 20—30 % соответственно. В настоящее время лучшее достигнутое значение барьерного индекса ~ 1,9 эВ, что обеспечивает КПД 9—16,5 % при 1 400—1 700 К.

К выполнению этой программы привлечено свыше 15 организаций. Основные работы ведутся в «Термо электрон корп.», «Резор ассоциэйтс» и Лаборатории ракетных и реактивных двигателей. По оценкам, над выполнением научно-исследовательской программы по физике ТЭП в США в настоящее время работает свыше 70 научных работников. На эти работы в 1976 г. было израсходовано 2,5 млн. долл., на 1977 г. планируется 3,5 млн. долл.

Поскольку для космической термоэмиссионной ЯЭУ затребован ресурс 75 000 ч и предполагается создание ТЭП с существенно пониженной температурой эмиттера, в качестве основного варианта рассматривается реакторная энергетическая установка с выносными ТЭП, тепло к которым из реактора транспортируется тепловыми трубами. По оценкам американских специалистов, при достигнутых параметрах может быть получен удельный вес ТЭП 23—26 кг/кВт (эл.); при прогнозируемых на 1980 г. (КПД ТЭП ~ 19 %) предполагается его снижение до ~ 17 кг/кВт (эл.).

Термоэмиссионная надстройка к паротурбинному циклу рассматривается в двух вариантах: 1) размещение ТЭП непосредственно в топочной камере парового котла («Термо электрон корп.»); 2) создание модулей, совмещающих в себе ТЭП и парогенератор, так называемые термоэмиссионные теплообменники («Резор ассоциэйтс»).

Большая работа ведется в США по оценке перспективности различных материалов для коллекторов усовершенствованных ТЭП. Оценка ведется по следующим параметрам: работа выходов электронов, термическая стойкость, электропроводность, технология изготовления и экономичность. За последние годы исследовано около 60 различных материалов, большая группа которых в среде цезия и кислорода имеет работу выхода электронов 1—1,2 эВ при ~ 450 К. В настоящее время специалисты США считают перспективными гексабориды лантана и церия; окись цинка; смесь окислов бария, стронция и кальция; металлические Re, Pt, W. Работа выхода электронов LaB₆ и CeB₆ в парах цезия в присутствии кислорода равна ~ 1 эВ при 600 К. На образцах ZnO в парах цезия ($p_{Cs} \sim 10^{-3}$ мм рт. ст.) без добавки кислорода получена работа выхода ~ 1,18 эВ при 550 К и ~ 1,38 эВ при 700 К. Это самый низкий показатель, полученный в парах цезия без добавки кислорода. Окись цинка устойчива на воздухе, имеет высокую теплопроводность, однако при 700 К в парах цезия начинает разлагаться.

Для снижения стоимости ТЭП с температурой эмиттера ~ 1 400 К для электродов (эмиттера и коллектора) рассматриваются жаропрочные стали и высокотемпературные сплавы типа инконелей и хастеллоев. Начаты исследования с новым классом соединений — дибориды переходных металлов (Ta, Zr, Ti).

Следует упомянуть работы Нью-Йоркского университета по ТЭП, работающим в импульсном режиме с ионизацией цезия электрическим разрядом, СВЧ-излучением и возбужденными молекулами азота. Исследовался импульсный режим трехэлектродного ТЭП — электрические импульсы длительностью 0,1 мкс и напряжением 100 В обеспечивали прохождение через ТЭП тока в течение 300 мкс. Представляют интерес исследования ТЭП с развитой поверхностью электродов. Эти исследования в значительной степени инициированы работами советских ученых, доложенными в 1975 г. на Эйндховенской конференции специалистов по термоэмиссии. Специалисты рассчитывают за счет развития

поверхности электродов и применения различных покрытий на выступах и впадинах получить ТЭП с барьерным индексом 1,7 эВ. В настоящее время удалось достичь барьерного индекса 1,93 эВ. Ожидается, что главный эффект будет получен за счет снижения энергетических потерь в плазме.

Один из радикальных путей ликвидации энергетических потерь в межэлектродном пространстве рассматривается в виде перехода к работающему в вакуумном режиме ТЭП с гибким коллектором и очень малым межэлектродным зазором (~ 1 мкм).

Исследования в области термоэмиссии привели американских специалистов к убеждению, что второе поколение ТЭП (с барьерным индексом 1,5 эВ) может быть создано в довольно короткие сроки. Перспективы достижения параметров третьего поколения (с барьерным индексом ~ 1 эВ) не ясны из-за отсутствия кардинальных путей борьбы с транспортными энергетическими потерями в межэлектродном зазоре (кроме снижения его размеров).

КУЗНЕЦОВ В. А.

Международное совещание по синтезу и поиску трансурановых элементов

Все возрастающий интерес к физике тяжелых ионов определяется уникальными их возможностями для синтеза и изучения ядер в необычных, экстремальных состояниях по нуклонному составу, энергии возбуждения и угловому моменту. В последнее время также широко обсуждаются возможности синтеза ядер с аномальной плотностью в реакциях с тяжелыми ионами.

Перспективам развития физики тяжелых ионов был посвящен вступительный доклад Г. Н. Флерова на Международном совещании, состоявшемся в Дубне 9—13 декабря 1976 г.

Целью Совещания было обсуждение существующей ситуации в одной из фундаментальных проблем ядерной физики — возможности существования острова стабильности для сверхтяжелых элементов (СТЭ) с $Z \geq 110$ и $N \sim 184$.

Поиск СТЭ в природе является направлением, которое уже в течение ряда лет интенсивно развивается в Дубне. Здесь были разработаны исключительно чувствительные и избирательные методы, позволяющие проводить поиск в природных материалах, если их концентрация $\sim 10^{-14}$ — 10^{-16} г/г при периодах полураспада $T_{1/2}$ 10^8 — 10^{10} лет. Наиболее обнадеживающие результаты получены при анализе метеоритов типа углестых хондритов Алленде и Ефремовка (Г. М. Тер-Акопьян, ОИЯИ). Длительными измерениями зарегистрировано около 50 событий спонтанного деления, которые не могут быть объяснены делением урана (его содержание в образцах $3 \cdot 10^{-8}$ г/г) или фоном космического излучения. Не исключено, что в этих экспериментах наблюдается новый природный спонтанно делящийся излучатель, второй после урана.

Сенсационная работа группы американских ученых, в 1976 г. опубликовавших сообщение об открытии сразу трех природных СТЭ с $Z = 116, 124, 126$, при экспериментальной проверке на протонном ускорителе Технического университета Цюриха (доклад В. Волфли, Швейцария) и по методике, использованной совместной франко-польской группой (М. Эфер, Франция), не подтвердилась: сверхтяжелые ядра не были обнаружены. Опыты, проведенные в Дармштадте (ФРГ), в Ок-Ридже и Беркли (США), также дали отрицательный результат. Вместе с тем интерес к поискам СТЭ в природе значительно возрос. В различных центрах мира созданы высокочувствительные и эффективные методы анализа.

Химическим свойствам СТЭ был посвящен доклад И. Звара (ОИЯИ). Существующая неопределенность

их оценки затрудняет выбор оптимального метода концентрации. Метод химического выделения СТЭ из природных материалов или из мишеней, облученных на ускорителе, разработан в Дубне и Росендорфе и использовался в экспериментах по синтезу СТЭ (Б. Айхлер, ГДР).

Искусственный синтез новых трансурановых и сверхтяжелых ядер. Ожидаемые свойства новых ядер. К этому основному разделу совещания относятся семь докладов. Большой экспериментальный материал был представлен в обзорном докладе Ю. Ц. Оганесяна (ОИЯИ), где приводились последние результаты синтеза новых элементов в Дубне.

Проведен цикл экспериментов, нацеленный на синтез СТЭ с Z от 110 до 116 и N от 163 до 178 в реакциях с ионами ^{48}Ca . В качестве мишеней использовались изотопы ^{232}Ta , ^{231}Pa , $^{233-235}\text{U}$, ^{243}Am и $^{244, 246, 248}\text{Cm}$. Для легких изотопов СТЭ ввиду отсутствия фона спонтанного деления ядер мишени и соседних по Z и N продуктов ядерных реакций применялся метод с быстродействием $\geq 0,01$ с. В реакциях с кюриевой мишенью разработан специальный метод химического отделения СТЭ от громадного фона спонтанного деления кюрия и фермия, который занимал несколько часов. В обоих случаях по спонтанному делению достигнут предел чувствительности на уровне $5 \cdot 10^{-35}$ см². Кроме того, феноменологические оценки энергии связи нуклонов и α -частиц в тяжелых ядрах дают сравнительно большое время жизни изотопов СТЭ с $N > 170$ относительно α -распада (Н. Н. Колесников, МГУ). Поэтому наряду со спонтанным делением для ряда реакций изучался также α -распад. Верхний предел сечения соответствовал $\sigma \leq 10^{-34}$ см². Сравнивая данные с результатами контрольных экспериментов по получению 102 элемента, где в реакции $^{208}\text{Pb} + ^{48}\text{Ca}$ сечение составляло $\sim 5 \cdot 10^{-30}$ см², можно предполагать, что столь резкое его падение обусловлено меньшим периодом полураспада СТЭ, чем доступный интервал времени: для $Z = 110$ —115 и N от 163—173 менее 0,01 с, для изотопов 116 элемента с $N \sim 174$ —178 менее 10^4 с. Для дальнейших экспериментов создается значительно более экспрессная методика, позволяющая измерять время жизни сверхтяжелых элементов вплоть до 10^{-6} с.

Анализ полученных результатов позволил сузить круг параметров, используемых в расчетах, и, по мнению докладчика, указал на более резкое падение времени жизни СТЭ при отходе от $N = 184$.