

Советско-французский семинар по физике, гидравлике и теплообмену водо-водяных реакторов

Во время посещения французской делегацией советских атомных центров в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова 7—10 октября 1974 г. был организован Советско-французский семинар «Физика», гидравлика, теплообмен водо-водяных реакторов».

Французская делегация состояла из 10 человек: восемь — из атомного центра Сакле, двое — из Гренобля.

Французские ученые представили 10 обзорных докладов по расчетным приемам водо-водяных реакторов. В докладах были рассмотрены нейтронно-физические и тепловые расчеты реакторов, экспериментальные исследования, проводимые на критических сборках, определения изотопного состава выгоревшего горючего, теплогидравлические расчеты топливных сборок методом ячеек, расчет параметров реакторов при так называемой «большой аварии» (разрыв циркуляционной трубы) и другие вопросы. В целом доклады давали

представление о совокупности расчетных средств, используемых во Франции.

Советские ученые представили 14 докладов. В них обсуждались уравнения термализации, программы расчета распределения тепловых нейтронов, экспериментальное исследование некоторых нейтронно-физических параметров, экспериментально полученные теплогидравлические характеристики топливных сборок, переходные режимы многоканальных систем, кризис теплообмена и способы повышения критических нагрузок и другие вопросы. Советская программа докладов была менее систематичной, но зато она содержала более новые материалы.

В конце семинара развернулись оживленные прения. В последний день французские гости осмотрели экспериментальные установки ИАЭ, которые были использованы при разработках водо-водяных энергетических реакторов.

СКВОРЦОВ С. А.

Зимнее заседание Американского ядерного общества 1974 г.

27—31 октября 1974 г. в Вашингтоне состоялось очередное заседание Американского ядерного общества, на которое впервые были приглашены ученые Советского Союза.

Американское ядерное общество было организовано в декабре 1954 г. как научная и учебная организация. Основные задачи Общества — популяризация и стимулирование науки в области ядерных исследований и смежных областях. Общество способствует изданию трудов своих членов, организует конференции и симпозиумы. Его отделы возглавляют видные ученые из университетов и научно-исследовательских институтов (лабораторий). В настоящее время Общество насчитывает более 11 тыс. членов, в том числе около 900 иностранных ученых из 40 стран. Общество пользуется большим влиянием и авторитетом среди научно-исследовательских учреждений и промышленных корпораций. Оно поддерживает тесную связь с КАЭ США и более чем с 1500 корпорациями, научно-исследовательскими и учебными заведениями.

О размахе деятельности Общества можно судить хотя бы по данному заседанию, которое было посвящено проблеме быстрых реакторов. Заседания проводились по секциям. Работало 14 секций с общим количеством участников не менее 1000 человек. Представлено было около 450 докладов. Помимо американских ученых и представителей КАЭ США в заседании участвовали ученые из Франции, ФРГ, Бельгии, СССР и др. стран.

На заседании были изложены американская, французская и немецкая (ФРГ) программы работ по усовершенствованному горючему, конструкции твэлов, радиационным испытаниям горючего и твэлов в целом для быстрых реакторов. Характерным для всех программ является повышенный интерес ко времени удвоения, на что раньше западные ученые обращали значительно меньшее внимание, и к наиболее перспективному горючему для быстрых реакторов — смешанным карбидам и нитридам, хотя значительное место отводится и дальнейшему усовершенствованию и окисленного горючего.

Ключевыми вопросами, интересующими сейчас зарубежных ученых с точки зрения оптимального решения конструкции твэлов для быстрых реакторов, являются: 1) допустимые температуры в сердечнике, 2) эффективная плотность сердечника, 3) теплопередающая среда в твэле — натрий или гелий, 4) геометрические параметры твэла — толщина оболочки, диаметр сердечника, величина теплопередающего зазора, 5) допустимые линейные мощности твэла, 6) пути снижения силового взаимодействия сердечника с оболочкой твэла, 7) пути предупреждения карбидизации оболочки.

Американская программа всестороннего изучения карбидного и нитридного горючего составлена таким образом, чтобы к 1979—1980 гг. сделать выбор между этими двумя видами горючего и в дальнейшем продолжить отработку и промышленное освоение одного из них. Предполагается, что к 1985 г. будет накоплен достаточный опыт по свойствам усовершенствованного горючего, его надежности и экономическим характеристикам.

Недостатком нитридного горючего, как известно, является то обстоятельство, что азот-14, содержание которого в природном азоте составляет 99,62%, обладает большим сечением захвата нейтронов. Однако, по мнению ряда американских ученых, это обстоятельство не должно ослаблять интерес к нитриднему горючему, которое обладает рядом преимуществ. Они считают вполне реальной и, по-видимому, экономически оправданной задачу разделения изотопов азота. В связи с этим интересно заметить, что в Институте прикладных наук Бэттела (г. Коламбус, шт. Огайо), который мы посетили, в настоящее время занимаются изучением только нитридного смешанного горючего.

Французская и немецкая (ФРГ) программы основное внимание уделяют изучению карбидного горючего как наиболее перспективного, признавая в то же время, что для первых быстрых реакторов основным видом горючего остается окисное.

Западные ученые едины в оценке достижимого времени удвоения при использовании карбидного горючего:

8—10 лет. Ими уже проведен значительный комплекс исследований карбидного горючего, включая радиационные испытания с ведением линейной нагрузки твэлов до 1000—1300 *вт/см*, а во Франции изучалось внутриреакторное поведение карбидных твэлов при нагрузке 3200 *вт/см* с достижением выгорания 140 тыс. *Мвт·сутки/т*.

В представленных докладах большое внимание уделено получению смешанных карбидов и нитридов. Подавляющее большинство ранее опубликованных работ было посвящено получению карбидов и нитридов из окислов. На данном же форуме, как никогда раньше, был сделан акцент на получении этих соединений урана и плутония с использованием в качестве исходных материалов не окислов, а металлов. В частности, в Институте Бэттла изучают технологию получения смешанных нитридов с использованием только металлических урана и плутония. Объясняется это тем, что в этом случае можно получить горючее заданного состава с минимальным содержанием примесей кислорода и углерода, что существенно отражается на поведении сердечника и работоспособности твэлов. В частности, отмечается, что содержание в нитриде кислорода более 0,1% уже заметно ухудшает радиационную стойкость твэлов с нитридным сердечником.

В общей проблеме смешанного уран-плутониевого горючего, в том числе карбидного и нитридного, есть еще очень важный вопрос, от которого зависит технология его получения: какой должна быть степень равномерности распределения урана и плутония? К окисному смешанному горючему предъявляются весьма высокие требования по равномерности смешения, вследствие чего в некоторых странах смешанные окислы получают методом сосаждения из растворов. Это дорогой и трудоемкий процесс. Аналогичные требования предъявляются также к карбидному и нитриднему горючему. Получение их в виде твердых растворов тоже дорогой процесс. Между тем американские ученые считают

возможным использовать механическую смесь уранового и плутониевого горючего с крупностью порошка до 100 *мкм*. Этот вопрос изучают и ученые ФРГ (Карlsruhe). Ими получены хорошие результаты при облучении механически смешанных карбидов до выгорания 8 ат.% при линейной мощности 990—1300 *вт/см*. Аналогичные результаты были получены при облучении в реакторе ЕВРИ смешанного окисного горючего, приготовленного сосаждением и механическим смешением.

С технологической точки зрения преимущества получения смешанного горючего в виде механической смеси соединений урана и плутония очевидны. Этим и объясняется интерес к этому варианту технологии.

По окисному горючему для твэлов быстрых реакторов требования были сформулированы ранее. В новых программах рассматриваются пути усовершенствования этого вида горючего, повышения работоспособности твэлов и обеспечения времени удвоения менее чем за 15 лет.

Большое внимание в программе США уделено исследованиям по переработке горючего с минимальной продолжительностью внешнего цикла — менее 100 суток, что в значительной степени определяет экономику атомной энергетики. Для достижения этого условия рассматривается вопрос о создании «ядерных парков», где осуществляется весь топливный цикл. Это предложение находит поддержку также с точки зрения безопасности населения и удобства контроля по Программе гарантий на делящиеся материалы.

Изложенное позволяет составить представление, сколь широка и многообразна была программа зимней сессии Американского ядерного общества 1974 г. Расширенные аннотации всех докладов опубликованы в специальном номере *Transaction of the American Nuclear Society*, 1974, v. 19, № 1.

РЕШЕТНИКОВ Ф. Г., ГОЛОВНИН И. С.

Вторая международная школа по технологии термоядерных реакторов

11—22 сентября 1974 г. в Италии проходила Вторая международная школа, посвященная импульсным термоядерным реакторам. В работе школы принимали участие около 45 физиков и инженеров из стран Европы, США, Японии.

Первая неделя работы школы была посвящена обсуждению состояния исследований и достижений в области импульсных систем. Х. Бодин и Р. Каразерс (Калмская лаборатория, Англия) дали подробный анализ тороидальных пинчей с большим $\beta = 8\pi T/B^2$ стеллараторов с большим β и так называемых пинчей с обратным магнитным полем. Следует отметить направленность лекций и выступлений физиков из Калэма, которые подчеркивали принципиальные преимущества систем с большим β в сравнении с токамаками. Во-первых, относительно низкое значение магнитных полей при одинаковых значениях давления плазмы. В таких системах можно использовать магниты, охлаждаемые азотом, вместо сверхпроводящих магнитов. Во-вторых, принципиальная возможность достичь зажигания D—T-смеси с помощью лишь омического нагрева.

Большой интерес вызвали лекции К. Бракнера, посвященные применению мощных лазеров для обжа-

тия и поджига D—T-смеси, где он изложил вопрос об использовании лазеров для инициирования реакции в D—T-смеси в США, привел теоретическое описание процесса обжатию, обсудил основные проблемы и трудности такого подхода и сообщил о результатах двухлетних экспериментальных исследований в фирме RMS по обжатию D—T-смеси стеклянной оболочкой, разогнаемой лазерным импульсом. Об этих результатах будет сказано ниже.

Вторая неделя работы школы была посвящена обсуждению также технологических и инженерных вопросов, связанных с импульсными системами. Ф. Рибби (США) представил проект термоядерного реактора на основе тороидального Θ -пинча. По-видимому, в настоящее время это наиболее проработанный проект импульсного термоядерного реактора. Реактор представляет тороидальный пинч радиусом 50 м и радиусом первой стенки камеры 50 см, термозолированный и удерживаемый в течение 100 *мсек* продольным магнитным полем 110 *кэс*. Полная магнитная энергия такой системы 10^{11} *дж*. Основные технические и технологические трудности при осуществлении такой системы будут связаны с быстрой фазой нагрева ударными волнами, когда