

55-летию Государственного научного центра Российской Федерации-Физико-энергетического института им. академика А.И. Лейпунского и 50-летию пуска первого жидкометаллического стэнда посвящается

ОТ ВЫБОРА ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ЯЭУ К АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ XXI ВЕКА

А. Д. Ефанов, Ф. А. Козлов

В конце сороковых - в начале пятидесятих годов А.И. Лейпунский, предлагая использовать жидкие металлы в качестве теплоносителей для атомной энергетики, писал, что "наиболее вероятным является применение двух теплоносителей: 1 - эвтектический сплав свинец-висмут (43,5 по весу свинца) с температурой плавления 125°C; 2 - сплав щелочных металлов натрия (40 по весу) и калия с температурой плавления около 0°C". В работах, выполненных в лаборатории "В" под его руководством, было показано, что "охлаждение жидкими металлами в таких системах вполне применимо, т.к. поглощение быстрых нейтронов натрием, калием, свинцом, висмутом, железом, хромом, никелем незначительно".

В эти годы институтом был выдвинут ряд предложений по созданию

- ядерной энергетической установки для атомной подводной лодки;
- опытных реакторов прототипов будущих АЭС как на быстрых, так и на тепловых нейтронах;
- ядерной энергетической установки для космических аппаратов.

Теплоносителями для них были определены следующие в АПЛ - эвтектический сплав свинец-висмут, в ЯЭУ для космоса - эвтектический сплав натрия-калий, а в обоих вариантах прототипов будущих АЭС - щелочные металлы.

Дальнейшие работы по ЯЭУ для АПЛ сконцентрировались на установке 27/ВТ, для космоса - на установках БУК и ТОПОЛЬ, а для аппарата БР-5 - первого прототипа будущих АЭС - теплоносителем первого контура был выбран натрий, а для второго контура - эвтектический сплав натрия-калий. Такое решение имело целевую установку - получение практического опыта и принятие на его основе решения о теплоносителе для будущих АЭС с реакторами на быстрых нейтронах. Работы по реакторам на тепловых нейтронах с натриевым теплоносителем были прекращены.

При выдвижении предложений по созданию ЯЭУ, охлаждаемых жидкими металлами, не только институт (лаборатория "В"), но и страна практически не имели экспериментальной базы для исследования жидких металлов как теплоносителей. Не было и конструкторских бюро, имевших опыт работы в этой области, а тем более - соответствующей промышленной инфраструктуры. Все это было необходимо создавать!

В этой связи понятно стремление А.И. Лейпунского и других руководителей института привлечь широкий круг организаций СССР к работам, связанным с освоением жидких металлов как теплоносителей. В этом направлении была проделана громадная работа: в эти годы было выпущено более 30 технических заданий и технических условий на исследование самого широкого круга вопросов, связанных с использованием жидкометаллических теплоносителей в ядерной энергетике. К сотрудничеству удалось привлечь ряд организаций: ЭНИН, ВИАМ, МЭИ. Интересна характеристика результатов работы двух первых организаций в тезисах отчетного доклада А.И. Лейпунского за 1950 г.:

«III. Работы по теплопередаче и гидравлике расплавленных металлов В ЭНИН (т. Михеев) были сделаны измерения теплопередачи в сплаве Pb-Bi при скоростях до 6 м/с.

Измерены гидравлические сопротивления для Pb- Bi. Результаты этих измерений дают возможность рассчитывать гидравлические сопротивления, т. к. показывают, что для жидких металлов можно считать так же, как и для других жидкостей.

IV. Подбор материалов стойких в расплавленных металлах

В ВИАМ работы велись настолько плохо, что мы вынуждены были сами поставить необходимые опыты, результаты которых показали, что в сплаве Pb-Bi стойкими оказываются хромистые стали типа ЭЖ и стали типа ЭЯ1Т.

В Na-K эти стали и ряд других ведут себя прилично...»

Можно констатировать, что хотя количество организаций, занимающихся жидкими металлами как теплоносителями ЯЭУ, увеличилось, приходилось работать над созданием собственной экспериментальной базы с жидкими металлами: в 1951 г. пускается первый стенд с жидкометаллическим теплоносителем, 24 июля 1954 г. организован теплофизический отдел (В.И. Субботин) в составе трех лабораторий (Б.Н. Зенкевич, П.Л. Кириллов, Х.А. Хачатуров), в 1956 г. создана крупнейшая в СССР лаборатория по исследованию щелочных металлов как теплоносителей. Всего по проблемам теплофизики за эти годы было создано 23 лаборатории (последняя в 2001 г.).

Достаточно полное представление о масштабе работ, проданных за пять с небольшим лет, дают труды Всесоюзной научно-технической конференции по использованию металлов в качестве теплоносителей, состоявшейся в лаборатории "В" в период с 13 по 17 декабря 1955 г. В конференции приняло участие 109 человек из 22 внешних организаций. От лаборатории "В" было зачитано более 13 докладов. От теплофизиков с докладами выступили В.И. Субботин, П.Л. Кириллов, М.Х. Ибрагимов, П.А. Ушаков, В.Ф. Кузнецов, Г.И. Гущин.

В решении конференции отмечено, что в Советском Союзе заложены основы по изучению жидких металлов как теплоносителей, что в ЭНИН, ЦКТИ, лаборатории "В", ЦАГИ изучен ряд вопросов, представляющих практический интерес для реакторостроения. Из шести рекомендаций конференции здесь следует отметить две:

- по организации при МСМ совета по связи с институтами и координации работ по теплопередаче, подбору и изучению конструкционных материалов, приборам, арматуре и насосам в количестве 19 человек;
- по организации созыва один раз в два года межведомственных конференций с целью подведения итогов работы и обмена опытом.

Последняя рекомендация привела к традиции регулярного проведения подобных конференций, которые, начиная с 1976 г., стали практически ежегодными, а некоторые из них и международными. Они проводятся под девизом "ТЕПЛОФИЗИКА-NNNN" (эмблема конференций - ТФ-NN).

Из трудов конференций и многих других документов следует, что в эти годы основное внимание уделялось вопросам теплогидравлики жидких металлов, коррозии материалов в них. Обсуждались вопросы химического анализа ЖМТ. Однако вопросы физической химии и технологии ЖМТ в эти годы не ставились и не обсуждались.

Эти вопросы для щелочных металлов были поставлены практикой освоения экспериментальных стендов с натрием и сплавом натрия-калий в 1956 г., а для свинца-висмута - неудачей вторых кампаний стенда 27/ВТ и аварийного перегрева активной зоны на атомной подводной лодке проекта 645 с теплоносителем свинец-висмут в 1968 г. Стало очевидным, что теплофизика жидкометаллических теплоносителей, кроме теплогидравлики, должна включать в себя еще один важный раздел - физическую химию процессов в циркулирующих теплоносителях и технологию работы с теплоносителями.

В результате более чем пятидесятилетнего опыта освоения жидких металлов - натрия, эвтектических сплавов натрий-калий и свинец-висмут, литья - был выполнен комплекс исследований, заложивших научные основы теплогидравлики, физической химии и технологии применения жидких металлов как теплоносителей ЯЭУ. Это позволило научно обосновать и практически реализовать высокоэффективные технологические процессы и создать совместно с конструкторскими организациями и отечественной промышленностью аппараты и системы, обеспечившие успешную эксплуатацию принципиально новых ядерных энергетических установок с оригинальными научно-техническими решениями, не имевшими аналога в мировой практике

- промышленная АЭС БН-600 с реактором на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, которая успешно эксплуатируется уже более 21 года;
- энергетические установки БУК и ТОПОЛЬ с теплоносителем натрий-калий для космоса;
- энергетические установки для подводной лодки с теплоносителем свинец-висмут.

Получен уникальный опыт эксплуатации установок данного типа. О высокой оценке вклада теплофизиков в эти работы свидетельствует факт присуждения Ленинской и двух Государственных премий сотрудникам, награждения многих из них орденами и медалями.

Научно-технические основы применения жидкометаллических теплоносителей и опыт эксплуатации установок с ЖМТ обобщен в 22 монографиях, написанных сотрудниками ФЭИ, 19 из них сотрудниками теплофизического отделения.

Результаты выполненной работы убедили нас, что для повышения безопасности ЯЭУ с жидкометаллическими теплоносителями, улучшения их экономических и экологических характеристик необходимо более глубокое понимание фундаментальных закономерностей, определяющих теплогидравлические, физико-химические и массообменные процессы. Исследования этих процессов явились основой для написания и успешной защиты 24 докторских диссертаций. Мы убеждены, что получение новых фундаментальных знаний позволит создать новые технологические процессы как для ЯЭУ нового поколения, так и для неядерных отраслей промышленности.

Успешное проведение этих работ возможно, т.к. сохранились уникальная экспериментальная база и высококвалифицированный кадровый потенциал.

Наш институт в настоящее время обладает экспериментальной базой для исследования вопросов теплогидравлики, физической химии, технологии и коррозии конструкционных материалов в жидкометаллических теплоносителях в различных режимах работы ЯЭУ, включая возможные аварийные ситуации. По своим масштабам и возможностям она является единственной в мире и включает в себя

- семь натриевых стендов для исследования теплофизики активных зон и парогенераторов, четыре стенда для исследования по технологии и физической химии натриевого теплоносителя;
- четыре стенда (два с воздухом и два с водой) для исследования вопросов гидродинамики;
- четыре стенда для исследования коррозии конструкционных материалов в натрии и сплаве натрий-калий;
- семь стендов с теплоносителем свинец-висмут эвтектического состава и три стенда со свинцовым теплоносителем;
- экспериментальные установки для исследования характеристик натриевых пожаров, систем и средств пожаротушения, поведения аэрозолей и разработки систем очистки воздуха от них.

Сохранился и кадровый потенциал: работают четырнадцать докторов наук, более пятидесяти кандидатов наук и более двухсот инженерно-технических работников. Ве-

дущие сотрудники ГНЦ РФ-ФЭИ являются участниками различных комитетов МАГАТЭ, программных комитетов, отраслевых, российских и международных конференций. Ими ежегодно представляются десятки докладов на конференции различного уровня и статей в научные журналы.

Институт имеет устойчивые связи с большим количеством предприятий и организаций в России и СНГ, специализирующихся по проблемам получения и использования ВЧЛМ.

Над проблемами создания АЭС с реакторами на быстрых нейтронах следующего поколения институт работает совместно с ОКБМ, ОКБ "Гидропресс", ГНЦ РФ НИИАР, НИ-КИЭТ, обладающими большим опытом работы в этой области и высококвалифицированными специалистами. Ведутся работы по ускорительно управляемым системам. Продолжается эксплуатация АЭС БН-600, экспериментального быстрого реактора БР-10 в г. Обнинске и прототипа промышленной АЭС БОР-60 в г. Димитровграде.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАБОТ С ЖМТ

В настоящее время экспериментальная база и научные кадры вследствие ограниченного финансирования, отсутствия перспективных долгосрочных программ и планов их реализации используются недостаточно эффективно. Исключение из этого в последние годы составляют, пожалуй, работы по новому теплоносителю, СВИНЦУ для установки БРЕСТ-ОД-300.

Тем не менее, благодаря поддержке Минатома и Миннауки, а также за счет прямых контактов с конструкторскими, проектными и эксплуатирующими организациями и контрактов с иностранными атомными центрами и фирмами в последние годы велись систематические исследования, направленные на получение новых фундаментальных знаний в области теплогидравлики, физической химии ЖМТ для перспективных ЯЭУ и применение разработанных ЖМТ технологий в неядерных отраслях промышленности (металлургия, солнечная энергетика, переработка нефти и газа, энергосберегающие технологии, получение особочистых металлов и аэрогелей).

По многим перспективным ЯЭУ и по применению разработанных технологий ЖМТ в неядерных отраслях промышленности ведется сотрудничество как в рамках МАГАТЭ, так и с конкретными странами: Франция, США, Германия, Япония, Италия, Южная Корея, Китай, Индия и др.

Поступила в редакцию 9.06.2001