

«Дыхание» Солнца

В Крымской астрофизической обсерватории академик А. Б. Северный с сотрудниками сделал очень интересное открытие: поверхность Солнца совершает колебания с периодом $160 \pm 0,5$ мин [1]. Наблюдаемое широко пачно в области центра солнечного диска то поднимается, то опускается. Скорость движения поверхности до 2 м/с, амплитуда смещений около 10 км. Заметить и измерить столь малые колебания удалось чувствительным методом, разработанным для измерения очень малых смещений спектральных линий. Большая доля поверхности Солнца (может быть, вся поверхность) совершает периодические радиальные колебания, то сжимаясь, то расширяясь. Солнце «дышит». В толще Солнца распространяются упругие волны, одна из которых и вызывает дыхание с периодом 160 мин. Для физики Солнца это открытие обещает приблизительно те же возможности, что дает сейсмометрия для физики Земли.

Упругие волны могут «показать» недра Солнца. Такая возможность до сих пор ожидалась только от нейтрино, но наблюдения за ними дали пока непонятный, почти отрицательный результат [2].

Период 160 мин относится к самому заметному колебанию поверхности, возможны колебания и с другими периодами, но с меньшей амплитудой. Стандартные теоретические модели Солнца предсказывают радиальные колебания с периодом меньше часа. Наблюдаемый период согласуется с теоретическим периодом квадрупольных колебаний. Квадрупольные колебания с наибольшей амплитудой были бы довольно-таки удивительны. Но если наблюдения подтвердят глобально-радиальный характер колебаний, то еще более удивительно расхождение периода с теоретическим. Исследование «солнцетрясений» в настоящее время представляет одну из интереснейших и новых областей физики Солнца и привлекает внимание многих астрофизиков [3].

ВЛАСОВ Н. А.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Severny A. e. a. «Nature», 1976, v. 259, p. 87.
2. Власов Н. А. «Атомная энергия», 1976, т. 41, вып. 4, с. 251.
3. Christensen-Dalsgaard J., Gough D. «Nature», 1976, v. 259, p. 89.

Конференции и совещания

Французско-советский семинар «Концепция АЭС, технология и эксплуатация водо-водяных реакторов»

Семинар состоялся 8—10 декабря 1976 г. в Центре ядерных исследований в Сакле. На нем было прочитано 15 докладов об общих концепциях и перспективах развития АЭС с водо-водяными реакторами, опыте эксплуатации ВВЭР в СССР, изготовлении оборудования для АЭС, нормах и методиках расчета прочности, контроле за состоянием оборудования перед пуском и в процессе эксплуатации, очистке теплоносителя первого контура от продуктов коррозии.

Программе строительства во Франции АЭС с водо-водяными реакторами и их характеристикам был посвящен доклад М. Комеза.

Дальнейшее сооружение для производства электроэнергии газогрифовых реакторов, несмотря на положительный опыт их эксплуатации, по экономическим соображениям признано нецелесообразным. По программе в стране предусматривается строительство

до 1984 г. 30 блоков водо-водяных реакторов мощностью по 900 МВт(эл.) и четырех — по 1300 МВт(эл.). В результате уже в начале 80-х годов большая часть электроэнергии будет производиться АЭС, о чем свидетельствуют данные таблицы.

Производство электроэнергии во Франции, %

Год	ТЭС	ГЭС	АЭС
1975	56,5	33,5	10
1985	12,0	18,0	70
2000	10,0	9,0	81

В первом контуре АЭС мощностью 900 МВт три циркуляционные петли без задвижек, главные циркуляционные насосы и вертикальные парогенераторы. Для обеспечения безопасности населения и защиты окружающей среды оборудование размещается в цилиндрической защитной оболочке (высота 56, диаметр 37 м), рассчитанной на давление 5 бар, возможное при максимальной проектной аварии, связанной с потерей теплоносителя. Для аварийного залива активной зоны предусмотрены три гидроемкости, подключенные к холодным ниткам петель, три насоса аварийного ввода борной кислоты высокого и два низкого давления, подключаемые к холодным и горячим ниткам петель. Активные системы безопасности и надежного электропитания имеют двойное резервирование.

АЭС защищаются от наводнений, землетрясений и других природных явлений, а помещения с радиоактивными средами — от летящих предметов, как внешних (падения самолетов, частей собственной турбины), так и внутренних, возникающих при течах трубопроводов первого контура. Специальные меры принимаются против проникновения радиоактивных и химических веществ в почвенные воды.

О планах создания, технологии и характеристиках основного оборудования первых контуров АЭС с водо-водяными реакторами сообщалось в докладе Л. Жандри и Б. Моро. Первый корпус для АЭС в Шузе изготовлен в 1964 г. До конца 1976 г. произведено 19 корпусов для Франции, США, Швейцарии, Бельгии. Заводы Фраматома (10 000 работающих) могут выпускать восемь корпусов реакторов и компенсаторов объема и 18—24 парогенератора в год. Имеется возможность производить водо-водяные реакторы мощностью до 2000 МВт. Основными этапами изготовления корпуса реактора являются: производство отдельных частей корпуса и крышки (фланцев, обечаек, днищ, патрубков), приварка нержавеющей наплавки на отдельные части и последующая сварка. Днища выполняют штамповкой, остальные части — ковкой. Материалом корпуса является углеродистая сталь, легированная молибденом, марганцем, никелем. Наплавка осуществляется в два слоя, каждый по 4 мм; первый — сталью X24H12, второй — X20H10. Большое внимание уделяется контролю качества.

Проблемы учета в проектах АЭС сейсмических воздействий обсуждались в докладе М. Ливолана. Сооружение АЭС в стране осуществляется в районах с сейсмичностью до 7 баллов. При расчете систем и помещений, содержащих радиоактивные среды, принимается во внимание увеличенная сила подземного толчка. Интенсивности землетрясения ставится в соответствие спектр колебаний грунта. Рассматривались различные методы расчета для нахождения перемещений и напряжений в конструкциях АЭС при известном спектре грунта. В тех случаях, когда сейсмостойкость конструкции определить трудно, проводятся испытания на вибростенде. Представляет интерес способ снижения сейсмических воздействий на весь комплекс помещений реакторного отделения путем установки их общего основания на специальных скользящих пластинах из бронзы или свинца, опирающихся через пакеты с искусственным каучуком на фундамент. В этом случае в районах с высокой сейсмичностью можно использовать оборудование, разработанное для обычных АЭС.

Во Франции разработаны специальные правила, обязательные при проектировании, изготовлении и эксплуатации сосудов под давлением АЭС (доклад Р. Роша). Основное внимание здесь уделено определению оборудования, на которое распространяются пра-

вила; ответственности изготовителя и эксплуатирующей организации; выбору материалов; программе качества, а также документам, предоставляемым контролирующим органам. Прочность оценивается по отношению к чрезмерной деформации, пластической и упруго-пластической неустойчивости, прогрессирующей деформации и малоциклового усталости.

Нормальные и аварийные режимы эксплуатации АЭС разделяются на четыре категории, для каждой из которых установлены различные коэффициенты запаса при обосновании прочности по различным предельным состояниям. Прочность анализируется разными методами, в частности методом конечных элементов рассчитывается одна из наиболее сложных по конфигурации частей первого контура — улитка главного циркуляционного насоса (доклад Ж. Бейляка).

Вопросы контроля за качеством изготовления и состоянием оборудования первого контура при монтаже, пуске и эксплуатации АЭС рассматривались в докладах Р. Саглио и П. Бернара. Так, для обнаружения дефектов и контроля за их развитием с максимальной эффективностью КАЭ Франции разработала новые неразрушающие методы: фокусированный ультразвуковой контроль металла корпуса реактора во время периодических инспекций, регистрация акустической эмиссии во время гидравлических испытаний и проверка трубок парогенератора токами Фуко. Создана специальная машина, которая устанавливается на фланец корпуса и позволяет проводить ультразвуковой и телевизионный осмотр корпуса изнутри. В 1976 г. машина была успешно использована на реакторах АЭС «Фессенхейм» и в Шузе. При контроле трубок парогенератора токами Фуко датчик перемещается по всей длине. Характеристики сигнала, соответствующие различным повреждениям, определяются с помощью эталонов с заранее известными дефектами.

В результате проведенного теоретического изучения считается возможным создание эффективных систем контроля за состоянием оборудования на основании анализа шумов различных параметров. Например, путем обработки сигналов ионизационных камер предлагается определять перемещения внутрикорпусных устройств.

Для очистки теплоносителя первого контура от радиоактивных продуктов коррозии разработаны высокотемпературные фильтры (доклад Л. Долле). Два прототипа таких фильтров (электромагнитный и графитовый) испытаны в работе на петлях. В перспективе планируется создание фильтров на расход теплоносителя до 100 т/ч.

При посещении Центров ядерных исследований в Гренобле и Кадараше советские специалисты познакомились с установками и программой исследований по безопасности водо-водяных реакторов.

Экспериментальные теплотехнические стенды в Гренобле позволяют изучать как стационарный теплообмен и гидродинамику в пучках электрообогреваемых стержней, так и процессы, связанные с возникновением больших течей. Программа работ на петле «Омега» (давление 170 бар, мощность до 9 МВт) предусматривает исследования кризиса теплообмена при стационарных режимах для пучков из 25 стержней диаметром 9,5 мм шагом квадратной решетки 12,6 мм и длиной 2,12; 3,65 и 4,2 м (с равномерным и косинусоидальным распределением мощности), а также проведение экспериментов, связанных с потерей теплоносителя. В последнем случае на первом этапе была использована трубка внутренним диаметром 12 мм и длиной обогреваемого участка 3,65 м. В дальнейшем предполагается

применять сборку из 36 стержней длиной 3,65 м. На других петлях (водяных и фреоновых), кроме кризиса теплообмена, исследуется распределение расхода и перемешивание между отдельными ячейками пучков, планируется изучение теплоотдачи в закризисной области. Специальные установки предусмотрены для изучения теплоотдачи при повторном после большой течи заливе активной зоны, критических расходов, конденсации пара под защитной оболочкой, реактивных сил при течах.

В Кадараше советские специалисты осмотрели находящиеся в стадии завершения монтажа стенд «Аквитен-2» и петлю «Фебус». Стенд (давление 170 бар, температура 340 °C) представляет две емкости, соединяемые трубопроводами различного диаметра, длины, конфигурации, конструкции опор и т. д. Он предназначен для изучения деформаций и усилий, возникающих в элементах трубопроводов, при разных видах разрыва и эффектов воздействия струй на бетон и другие части установки. Впоследствии предполагается реконструкция стенда для исследования усилий на внутрикорпусные устройства.

В центре активной зоны реактора мощностью 50 МВт(тепл.) размещается петля высокого дав-

ления для исследования поведения твэлов в условиях большой течи. Течи организуются в специальной емкости. В числе параметров, роль которых намечено выяснить, находятся размер и положение течи; линейная мощность и внутреннее давление твэлов; давление, расход, температура и место подвода впрыскиваемого теплоносителя. Будут использованы два типа сборок: из одного и 25 твэлов с активной длиной 800 мм диаметром и шагом, соответствующим кассетам, применяемым на АЭС. Сейчас планируется провести около 10 опытов с отдельным и 40 со сборкой из 25 твэлов. Для проверки применимости результатов, полученных на свежих топливных элементах, несколько испытаний будет выполнено на облученных твэлах. Предусматривается исследование сборок на месте оптическими средствами, методами α - и γ -сканирования, после чего они будут направляться в горячую лабораторию.

Проведенный франко-советский семинар позволил провести достаточно широкий обмен информацией по многим вопросам создания и эксплуатации водородных реакторов и способствовал дальнейшему укреплению научно-технических связей между СССР и Францией.

ВОЗНЕСЕНСКИЙ В. А.

Советско-французский симпозиум по производству и применению стальных труб в промышленности

Симпозиум состоялся 11—13 января 1977 г. в Москве. Доклады с французской стороны были представлены фирмой «Валлурек», специализирующейся на выпуске широкого ассортимента трубопроводов для различных целей, в том числе для тепловых и атомных электростанций. Фирма имеет отделение, которое выпускает трубы, рассчитанные на работу в коррозионно-агрессивных средах, при низкой и высокой температуре, под облучением и т. д. Материалом для их изготовления являются нержавеющая и перлитная сталь, никелевые, титановые и циркониевые сплавы.

Обращает на себя внимание возможность изготовления длинномерных (до 36 м) труб без сварных швов,

предназначенных для теплообменного оборудования АЭС. Для этого используются два прессы со стеклянной смазкой, развивающие усилия 1500 и 3000 тс. Холоднокатаные трубы малых и средних размеров изготавливаются на двух- или трехроликовых станах советского производства. Сварные швы на трубопроводах выполняются плазменной сваркой.

Фирма «Валлурек» изготавливает широкий ассортимент труб «ядерного» назначения — для оболочек твэлов теплообменников и парогенераторов АЭС (см. таблицу).

Представляют интерес особенности производства. Так, цех по выпуску труб для парогенераторов АЭС

Химический состав сталей

Марка			C	Cr	Ni	Mo	Ti	Nb
AFNOR	AISI	DIN						
Z6CN18.10	304	1.4301	≤ 0,07	17/20	8/11	—	—	—
Z2CN18.10	304L	1.4306	≤ 0,035	17/20	8/13	—	—	—
					9/12	—	—	—
Z6CNT18.10	321	1.4541	≤ 0,08	17/19	10/12	—	> 5C < 0,6 > 5C	—
Z6CNNb18.10	347	1.4550	≤ 0,08	17/19	10/13	—	—	≥ 10C
Z6CND17.11	316	1.4401	≤ 0,08	16/18	11/13	2,0/3,0	—	—
Z2CND17.12	316L	1.4404	≤ 0,035	16/18	11/14	2,0/3,0	—	—
Z6CNDT17.12	316Ti	1.4571	≤ 0,10	16/18	12/14	2,0/3,0	> 4C	—
				16/19,5	10,5/14	2,0/2,5	< 0,6 > 5C	—
	Инконель 600 *		≤ 0,10	14/17	72/79	—	—	—
	Инкалой 800 **		≤ 0,10	19/22	30/35	—	—	—

* Fe 6/9

** Fe остальное