

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЕЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ

**Е.Ф. Авдеев*, И.А. Чусов*, А.Я. Устюжанин*, В.В. Максимовский*,
Д.С. Лазибян*, В.А. Левченко**, С.В. Бородастов**, И.Н. Леонов**,
В.А. Белугин***, Ю.Д. Левченко***, Ю.С. Юрьев*****

** Обнинский государственный технический университет атомной энергетики,
г. Обнинск*

*** ЭНИМЦ «Моделирующие системы», г. Обнинск*

**** ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск*



В работе приводится описание основных конструктивных и гидравлических характеристик экспериментального стенда «МР» созданного на кафедре «Теплофизика» ИАТЭ, включая оборудование и контур циркуляции теплоносителя, гидромодель реактора с двухпетлевой компоновкой и измерительную систему. Указывается научно-учебное назначение стенда.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимым этапом, предшествующим проектированию и созданию промышленных или исследовательских ядерных энергетических установок, является проведение опытных испытаний на моделях, полностью или частично моделирующих натурные установки. Как правило, строгое выполнение условий моделирования натурной установки налагает трудновыполнимые условия по достижению необходимых параметров рабочего тела на модели. Иногда соблюдение геометрического подобия приводит к практически невыполнимым параметрам на модели. В таких случаях ведут приближенное моделирование как по параметрам, так и по переходу к геометрически искаженной модели. Основная задача гидравлического моделирования состоит почти всегда в установлении коэффициентов сопротивления установки в целом или отдельных ее элементов, которые в конечном счете необходимы для обоснования мощности энергетического оборудования натурной установки. Важной задачей при моделировании может быть и установление неравномерностей полей распределения параметров (скоростей, расходов, температуры).

Самостоятельное значение имеет контур циркуляции стенда и его энергетическое оборудование, особенности трассировки контура в помещениях здания. В контур стенда включена гидромодель реактора корпусного типа с возможностью четырехпетлевой компоновки.

В настоящее время гидромодель подключена на работу при двухпетлевой компоновке. В дальнейшем возможны конструктивные изменения ее элементов, переход на четырехпетлевое подключение, включение в контуре стенда гидромодели дру-

© **Е.Ф. Авдеев, И.А. Чусов, А.Я. Устюжанин, В.В. Максимовский, Д.С. Лазибян,
В.А. Левченко, С.В. Бородастов, И.Н. Леонов, В.А. Белугин, Ю.Д. Левченко,
Ю.С. Юрьев, 2004**

гих реакторов или оборудования АЭС. В этом смысле созданный стенд имеет универсальный характер.

В заключительной части статьи приведены также характеристики еще двух стендов, действующих в ИАТЭ, которые введены в эксплуатацию ранее [1, 2].

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА «МР»

Условно оборудование стенда можно разделить на две основные части: гидростенд (ГДС), обеспечивающий подачу и режимы гидромодели (ГДМ), и исследуемую гидромодель с подъемным устройством для установки и перекомпоновки ее элементов.

К вспомогательному оборудованию относятся:

- система электроснабжения и пульт управления с блоком управления задвижками;
- система контроля и измерения режимных параметров (КИПиА);
- автоматизированная система сбора и обработки экспериментальных данных (АРМ);
- система заливки и удаления теплоносителя;
- система подачи воды на торцевые уплотнения питательных насосов (далее ПН).

Принципиальная гидравлическая схема стенда приведена на рис. 1.

Описание и технические характеристики основного оборудования и контура циркуляции теплоносителя

Гидростенд имеет два питательных насоса, обеспечивающих одновременную подачу воды в гидромодель 250 м³/ч с напором 0,37 МПа. Во всасывающие патрубки насосов вода поступает из двух сообщающихся питательных баков (далее – бак хранения теплоносителя БХТ) объемом 1,6 м³ каждый. Насосы и БХТ установлены в подвальном помещении (далее насосной станции НС) на одной общей раме, сваренной из швеллера Ш24, на независимом от здания фундаменте. Вес установленных насосов и БХТ составляет 1,3 т, а после заполнения БХТ водой – 4,9 т.

Схема расположения насосов и БХТ представлена на рис. 2 и фотографии (рис. 3). На рис. 2 показана также межэтажная трассировка трубопроводов.

В баки хранения питательной воды установлены 6 ТЭНов общей электрической мощностью 45 кВт, предназначенных для ее нагрева рабочего тела.

На напорных и отводных трубопроводах подвального помещения смонтированы:

- семь запорных задвижек Ду100;
- две отсечных ручных задвижки на входе в ПН (между БХТ и ПН обеих петель);
- две задвижки с сервоприводами, установленные на напорных трубопроводах выхода из ПН;
- две задвижки с сервоприводами на петлевых байпасах, между напорными и отводными трубопроводами;
- одна ручная задвижка на байпасе между напорными трубопроводами (межпетлевой байпас).

Напорные линии трубопроводов имеют вертикальные участки, проложенные в закрытых нишах между 1 и 2-м этажами с выходом в помещение стендового зала (СЗ) на втором этаже, где установлена ГДМ. С ГДМ трубопроводы ГДС соединены фланцевыми соединениями. Общая длина трубопроводов контура ГДС составляет 65,3 м.

После прохождения внутрикорпусного устройства (далее ВКУ) ГДМ вода поступает в два выходных патрубка ГДМ и по трубопроводам двух отводных линий, проходящих параллельно напорным линиям, возвращается в БХТ.

Таким образом, ГДС представляет две независимые циркуляционные петли, сообщающиеся в корпусе ГДМ. Возможно обеспечение циркуляции по двум петлям от работающего одного насоса через межпетлевой байпас.

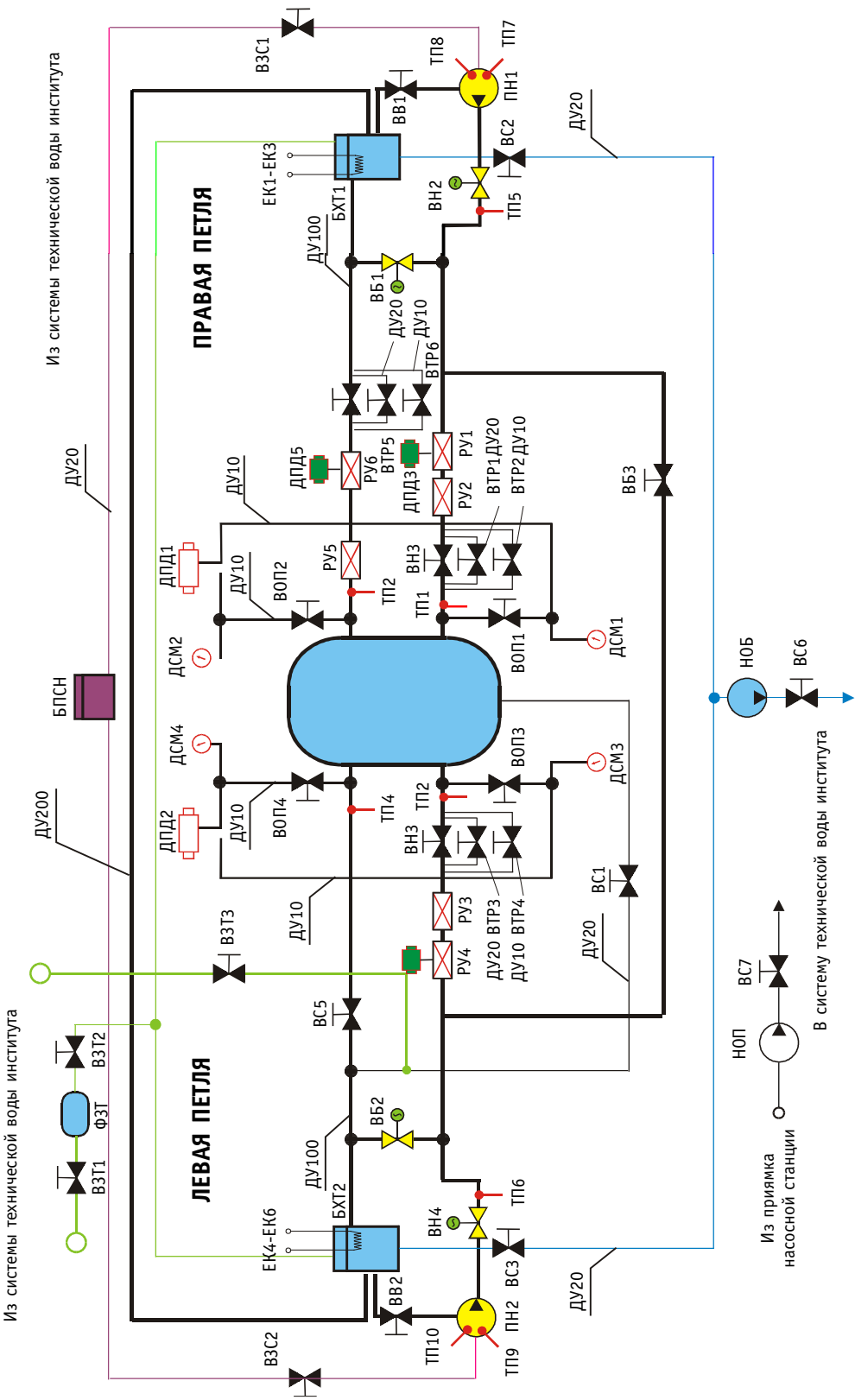


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема стенда «МР»

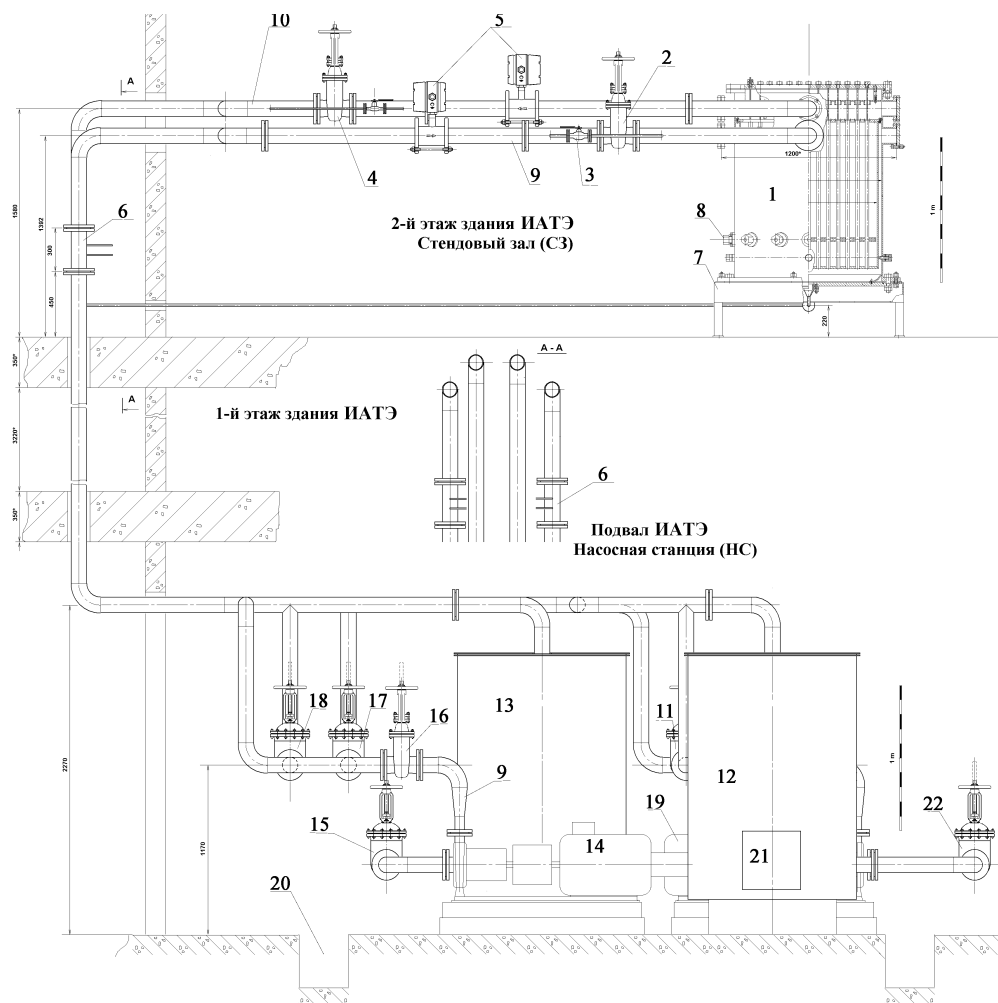


Рис. 2. Общий вид размещения оборудования стенда в здании ИАТЭ: 1 – ГДМ; 2 – напорная задвижка ВН1; 3 – напорный вентиль ВТР1; 4 – задвижка отвода теплоносителя ВС4; 5 – расходомеры электромагнитные РУ2, РУ6; 6 – расходомер ОГТУАЗ РУ1; 7 – рама ГДМ; 8 – штуцер ленточного зонда; 9 – напорная линия; 10 – отводная линия; 11 – вентиль ВТР6; 12 – бак хранения теплоносителя БХТ2; 13 – бак хранения теплоносителя БХТ1; 14 – питательный насос ПН1; 15 – ВВ1; 16 – задвижка ВН2; 17 – межпетлевой байпас ВБ3; 18 – петлевой байпас ВБ1; 19 – ПН2; 20 – прямик насосной станции; 21 – узел подключения ТЭНов

На вертикальных участках напорных трубопроводов в нише 2-го этажа установлены два расходомера, устройство которых разработано на кафедре «Теплофизика» ИАТЭ [3, 4]. Аналогичный расходомер установлен на одной сливной линии в СЗ. Кроме того на трубопроводах двух напорных и одной отводной линии в СЗ предусмотрена возможность установки дополнительных электромагнитных расходомеров ЭРСВ-022, участки для которых заменены имитирующими вставками. На двух напорных и двух отводных трубопроводах в СЗ установлены 4 регулировочные задвижки Ду100 с ручным приводом. В местах расположения задвижек параллельно трубопроводам выполнены дополнительные линии из труб малого диаметра Ду20 и Ду10 с установленными на них шаровыми вентилями Ду20 и Ду10. Последние предназначены для «тонкой» регулировки расходов в напорной и отводных линиях.

Общие технические характеристики ГДС приведены в табл. 1.

Все трубопроводы и запорная арматура выполнены из нержавеющей стали, включая стандартные повороты трубопроводов. Трубопроводы в насосной станции (да-



Рис. 3. Общий вид размещения силового оборудования стенда

Таблица 1

Общие характеристики гидродинамического стенда (ГДС)

Число петель	2
Длина подъемного участка правой петли	15.8 м
Длина опускного участка правой петли	16.5 м
Длина подъемного участка левой петли	17.3 м
Длина опускного участка левой петли	15.7 м
Диаметры трубопроводов правой и левой петель	(98 - 100) мм
Теплоноситель основного контура (правая и левая петли)	Вода
Количество поворотов на 90° на правой петле	14
Количество поворотов на 90° на левой петле	12
Масса теплоносителя в баках хранения теплоносителя (БХТ)	3600 кг
Рабочая температура рабочей среды	60 °С
Максимальное давление рабочей среды	0,3 МПа
Расход теплоносителя по обеим петлям	250 м ³ /ч
Тип питательного насоса а) подача/напор в) максимальная потребляемая мощность	X100-65-200 АК-СД 140 м ³ /ч /37 м.в.ст. 30 кВт
Материал основного оборудования	12Х18Н10Т
Материал запорной арматуры	12Х18Н10Тл
Общая мощность ТЭН правой и левой петель	43 кВт
Общий вес ГДС	5,8т
Максимальная потребляемая стендом мощность	150 кВт
Напряжение питания основного оборудования стенда	220/380 В

лее НС) и в СЗ имеют опоры; крепление труб на опорах выполнено скобами с прокладками из резины.

Заполнение БХТ водой осуществляется из теплофикационной сети через механический фильтр (ФЗТ) по сливному трубопроводу ГДМ. Для удаления воды из БХТ и из приямка фундамента в подвальном помещении установлены два насоса типа «Кама».

Подача воды на торцевые уплотнения насосов обеспечивается за счет гидростатического столба под давлением $0,8 \cdot 10^5$ Па из бака подпитки сальников насосов (далее БПСН), установленного на втором этаже.

В стендовом зале установлено подъемное устройство (тельфер) на максимальный вес 1.0 т. Подъемное устройство предназначено для снятия крышки ГДМ весом 200 кг, вывешивания ВКУ (весом 500 кг), при поворотах в корпусе ГДМ и для выемки ВКУ из корпуса ГДМ.

Описание гидромодели, включенной в контур циркуляции ГДС

Общий вид ГДМ изображен на рис. 4, там же показан цилиндрический корпус ГДМ с нижним плоским днищем и верхней плоской крышкой, бандажными наружными кольцами, рамой крепления корпуса ГДМ. Корпус ГДМ имеет 4 пары входных и выходных патрубков.

Каждая пара расположена в одной вертикальной плоскости. В стенке корпуса располагаются 6 пар отверстий со штуцерами и сальниковыми уплотнениями с наружной стороны для проходки ленточных зондов измерения скорости в каналах и на опускном участке, в кольцевом зазоре между корпусом и каландром. В плане пары отверстий в стенке корпуса соответствуют углам 0, 30, 60, 90, 120, 150 град., причем 0 град. соответствует вертикальной плоскости расположения двух входных и выходных патрубков модели. Овальность днища натурального реактора моделируется внутренней конической вставкой – переходом от внутренней поверхности цилиндрического корпуса к плоскому днищу нижнего коллектора. Место расположения отверстий и штуцеров соответствует фиксированному расстоянию от нижнего торца имитаторов ТВС (далее имитатор рабочего канала – ИРК). Штуцеры имеют уплотнение, соответствующее поверхности овального ленточного зонда скорости.

Основной частью ВКУ гидромодели является каландр, который внутри корпуса опирается на внутреннее кольцо и прикрепляется к нему винтами. Каландр содержит 151 цилиндрический канал – имитатор ТВС (ИРК) внутренним диаметром 20 мм и длиной 1037 мм. Каналы закрепляются в верхней трубной доске каландра. Нижние концы ИРК не имеют жесткого соединения и вставлены в отверстия нижней трубной доски. Такое крепление ИРК позволяет, при необходимости, производить их выемку при снятой верхней крышке ГДМ.

Верхняя крышка корпуса ГДМ имеет 151 отверстие, заглушенное винтовыми пробками и расположенные напротив выходов теплоносителя из ИРК. Отверстия предназначены для установки через верхнюю крышку зондов измерения скорости в любом ИРК.

С внутренней стороны к крышке жестко закреплена фальшдоска, к которой приварены имитаторы приводов СУЗ – вытеснители, уменьшенные по диаметру в соответствии с геометрическим подобием натуре. По длине вытеснители на 3 – 4 мм не доходят до поверхности верхней трубной доски каландра.

В каландре установлены ИРК двух типов, отличающихся лишь местами расположения в них сужающих вставок (1) и пар шайб (2, 3), имитирующих сопротивление ТВС. ИРК с расположением сужающих вставок внизу – 13 (рис. 6а), они расположены по одному диаметру каландра. В оставшихся 138 ИРК сужающие вставки расположены вверху (рис. 6б).

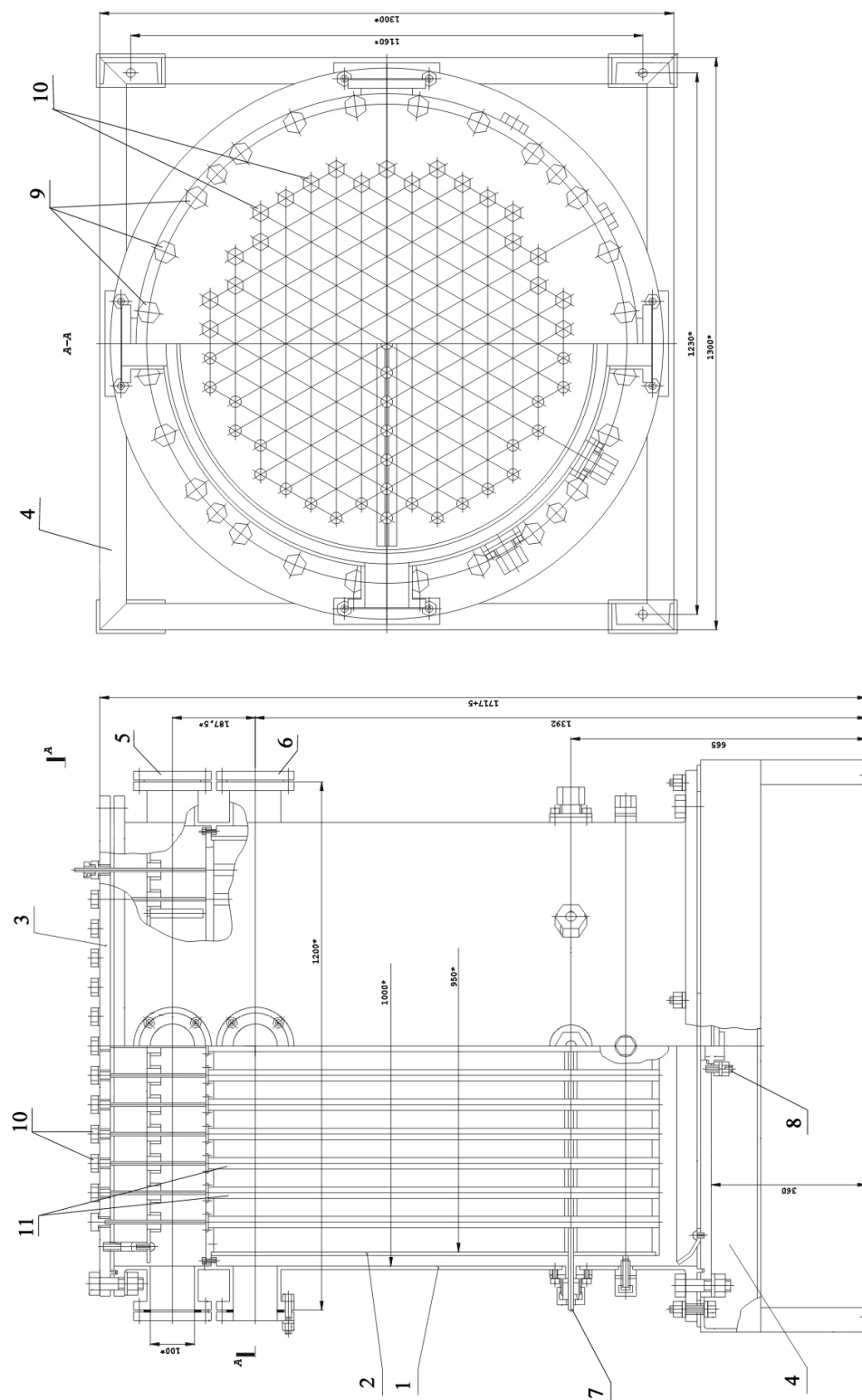


Рис. 4. Общий вид экспериментальной ГДМ: 1 – обечайка ГДМ; 2 – обечайка каландра; 3 – верхняя крышка; 4 – рама; 5 – фланец линии отвода; 6 – фланец напорной линии; 7 – ленточный зонд; 8 – фланец линии откачки; 9 – болты крепления верхней крышки; 10 – пробка ИРК; 11 – ИРК



Рис. 5. Общий вид размещения оборудования в стендовом зале (второй этаж ИАТЭ)

Установленные два типа ИРК позволяют использовать для измерения скорости два типа датчиков с различным диапазоном охвата количества ИРК и различными функциональными возможностями.

После вывешивания каландр имеет возможность юстировки по азимуту для совмещения овальных отверстий в 13 ИРК с отверстиями штуцеров в корпусе ГДМ, предусмотренных для протяжки ленточного зонда.

В оба типа ИРК со стороны нижней трубной доски предусмотрена возможность установки дросселирующих шайб в случае профилирования расходов теплоносителя по ИРК. Все узлы ГДМ, соприкасающиеся с водой, изготовлены из нержавеющей стали 12Х18Н10Т, опора ГДМ – из ст. 3. Общие конструктивные характеристики ГДМ приведены в табл. 2.

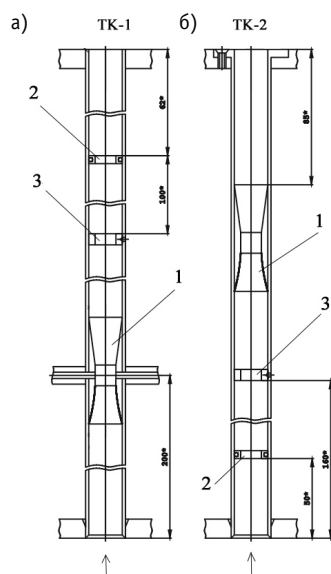


Рис. 6. Имитатор ТВС (ИРК):
1 – профилированная сужающаяся вставка; 2 – подвижные шайбы;
3 – неподвижные шайбы

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ГДС

Электроснабжение ГДС автономное, не зависящее от электроснабжения зданий и других лабораторий университета.

Кабели трехфазного тока, проложенные по подземной коммуникации от внешней распределительной подстанции, выведены в подвальное помещение НС, где подключены к внутреннему распределительному устройству (далее ВРУ) с двумя узлами учета электроэнергии. От ВРУ кабели подведены к двум распределительным щитам (один запасной), расположенным в подвальном помещении, от которых силовые кабели и кабели управления проложены соответственно к пускателям насосов ПН и пульту управления (далее ПУ ГДС).

Таблица 2

Общие характеристики гидродинамической модели реактора (ГДМ)

Диаметр корпуса	1000 мм
Высота корпуса	1357 мм
Диаметр каландра	950 мм
Высота каландра	1037 мм
Общее число технологических каналов	151
Диаметр/длина технологического канала	20 мм/1034 мм
Число технологических каналов первого типа	13
Число технологических каналов второго типа	138
Число имитаторов СУЗ	27
Количество подводящих и отводящих патрубков	8
Масса ГДМ с трубами и запорной арматурой расположенными в СЗ	2,4 т

Пульт управления (ПН, ТЭНами, сервоприводами задвижек, насосами «КАМА») расположен в смежном со стендовым залом помещении 2-го этажа (далее пультовом зале – ПЗ).

Пускатели основных насосов ГДС типа Х100-65-200АК-СД с электронными блоками управления позволяют задавать программу плавного пуска и останова насосов.

Описанная схема позволяет осуществлять пуск и отключение силового оборудования дистанционно с пульта управления в ПЗ. Аварийное отключение силового оборудования предусмотрено также и в НС. В частности, при превышении допустимой температуры в подшипниках насосов предусмотрено автоматическое отключение электропитания насосов.

В составе пульта управления имеется электронный блок управления сервоприводами задвижек, разработанный и изготовленный на кафедре «Теплофизика» ИАТЭ. Рабочие места на ПУ и в НС обеспечены переговорной связью.

НАЗНАЧЕНИЕ СТЕНДА И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Описанный гидравлический стенд к настоящему времени прошел стадию наладочных испытаний и введен в эксплуатацию.

Учитывая многофункциональные возможности ГДС, на нем могут проводиться как проливы гидромоделей реакторных установок различных типов, ТВС, теплообменников, так и других каналов сложного профиля. Целями проливов могут быть экспериментальное определение гидродинамических потерь и коэффициентов гидравлического сопротивления; получение полей скорости, давления, их пульсаций в коллекторах и на различных участках контура; гидравлическое профилирование расходов по сечению активной зоны реактора.

Имеется возможность подключения различного количества петель (от одной до четырех) и изменения в них расходов, могут экспериментально изучаться режимы при расходах, определяемых естественной циркуляцией и при отключении отдельных петель.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И ПРИБОРЫ

Измерительные системы включают в себя как уже имеющиеся в лаборатории стандартные измерительные приборы и преобразователи, так и новые преобразователи, разработанные для конкретных задач и условий измерения.

Упомянутые выше расходомеры ИАТЭ, установленные в контур ГДС в соответствии с их обоснованием [3, 4], дают достаточно точное значение расхода при условии их установки на стабилизированном участке турбулентного течения. Это условие выполнено для расходомеров, установленных на вертикальных напорных трубопроводах, – от поворотов до расходомера – 30 калибров (по диаметру трубы). Расходомер на отводном трубопроводе установлен на расстоянии » 30 калибров от поворота. Поэтому выполнена его тарировка по расходомерам, установленным на вертикальном участке.

Сужающие вставки (рис. 6), установленные во всех ИРК ГДМ, предназначены для увеличения скоростного напора в местах установки датчиков скоростей и соответственно увеличения точности ее измерения. Конфузорная часть этих вставок спрофилирована по формуле Витошинского [5], что позволяет иметь в суженной части практически равномерный профиль скорости.

В ИРК с нижним расположением вставок в качестве датчика скорости применяются так называемые «ленточный» и «рамочный» зонды.

Принцип измерения скорости этих зондов один и тот же – по разности давлений между передней и задней критическими точками овала, образованного спаиванием двух трубок диаметром 2,0×0,3 мм.

Преимущество ЛЗ зонда состоит в возможности непрерывного измерения скоростей не только в ИРК, но и скоростей в кольцевом зазоре опускного участка ГДМ при его диаметральной протягивании. Однако при фиксированном положении каландра ЛЗ возможно измерение скоростей только в 13 ИРК, и для измерения скоростей в ИРК другого диаметрального направления необходим демонтаж крышки ГДМ, что и предусмотрено конструкцией ВКУ ГДМ.

Картограмма расположения ИРК позволяет сохранить соответствие расположения выходов теплоносителя из ИРК и имитирующих вытеснителей приводов при повороте каландра только на 60 град. Поэтому с помощью ЛЗ возможно получить корректные результаты измерения расходов только для 37 ИРК.

Рамочные зонды позволяют измерять скорости в оставшихся 138 ИРК, т.к. устанавливаются в суженную часть вставок ИРК через верхнюю крышку ГДМ, что не требует демонтажа крышки ГДМ и поворота каландра. Ширина «рамки» РЗ на 2 мм меньше диаметра суженной части вставок; это обеспечивает положение приемных отверстий РЗ в центральной части ИРК, при любой диаметральной ориентации «рамки». Поскольку при обтекании овального профиля зондов давление в задней точке овала меньше статического, эти датчики одновременно «усиливают» перепад давления, что повышает точность измерения скорости. Рамочных зондов изготовлено 8 шт., ленточных – 2. Тарировка ЛЗ и РЗ выполнена на воздушном стенде ГНЦ РФ-ФЭИ; затем РЗ тарировались в одиночном ИРК на водяном стенде «Параллельные каналы» кафедры «Теплофизика» ИАТЭ. Тарировки показали стабильные линейные характеристики ЛЗ и РЗ. Тарировочные характеристики 8-ми РЗ отличаются незначительно. На их основе получена обобщенная зависимость для определения средней скорости ($V_{\text{ср}}$) в ИРК по измеренному перепаду давления (Δp) на любом РЗ

$$V_{\text{ср}} = 0,38 + 1,23 \cdot 10^{-4} \Delta p - 4,05 \cdot 10^{-7} \Delta p^{1,5},$$

где Δp – перепад давления на зонде [Па], $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость потока воды в трубе диаметром 20 мм [м/с].

Для измерения перепадов давления на расходомерах и датчиках скорости (ЛЗ, РЗ) на кафедре «Теплофизика» ИАТЭ изготовлены два щита батарейных манометров соответственно с 21 и 12 пьезометрическими трубками высотой 2 м, позволяющих изменять угол наклона пьезометрических трубок. В верхней части пьезометрические трубки объединены в коллекторы, в которые из баллонов подается сжатый воздух

для компенсации избыточного давления в местах расположения расходомеров и датчиков скорости.

Перепады давления на ГДМ между входными и выходными патрубками, давление в верхнем коллекторе ГДМ измеряются образцовыми манометрами типа МО-11202 на максимальное давление $[4 \text{ кгс/см}^2]$ (класс точности 0,4; шкала 250 делений) и образцовыми манометрами типа МО-1227 на максимальное давление $[1,6 \text{ кгс/см}^2]$ (класс точности 0,15; шкала 400 делений).

Температуры во входных и выходных патрубках ГДМ, также на выходных патрубках БХТ измеряются стандартными термopарами типа ХК, а на подшипниках насосов – лабораторными термopарами ХК. Вторичными приборами служат цифровые вольтметры.

Для измерения перепадов давления на расходомерах ЛЗ и РЗ к импульсным трубкам могут быть подключены дифференциальные датчики давления типа «Метран» с последующим их подключением к системе АРМ.

НЕКОТОРЫЕ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГДМ И ГДС

С целью апробации методик измерения расходов по петлям, температур и перепадов давления на входе и выходе ГДМ и в ВКУ ГДМ, на стенде МР были выполнены тестовые (постановочные) эксперименты.

Экспериментальная зависимость времени разогрева теплоносителя до рабочей температуры (в качестве рабочей была выбрана температура равная 60°C) представлена на рис. 7. Отметим, что при достижении рабочей температуры четыре из шести ТЭНов выключались.

Общее время разогрева составило $\approx 5 \text{ ч}$.

Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления корпуса ГДМ от числа Рейнольдса представлена на рис. 8, из которого видно, что в исследованном диапазоне чисел Рейнольдса коэффициент сопротивления МР остается практически постоянным и равным ≈ 150 . Представленные на рис. 8 экспериментальные данные следует рассматривать как предварительные результаты, которые затем будут уточнены в ходе проведения детальных экспериментов на ГДС с ГДМ.

Расчеты всех физических характеристик воды приводились по данным [6].

Руководствуясь правилами моделирования, в том числе с геометрическим искажением модели реакторной установки, на описанном ГДС можно получать достоверные экспериментальные данные для обоснования выбора силового оборудования, надежности и безопасности новых реакторных установок, а также для верификации расчетных кодов.

Гидродинамические стенды имеются и в других организациях атомной энергетики (ГНЦ РФ-ФЭИ, ОКБМ Нижний Новгород, ОКБ Гидропресс,

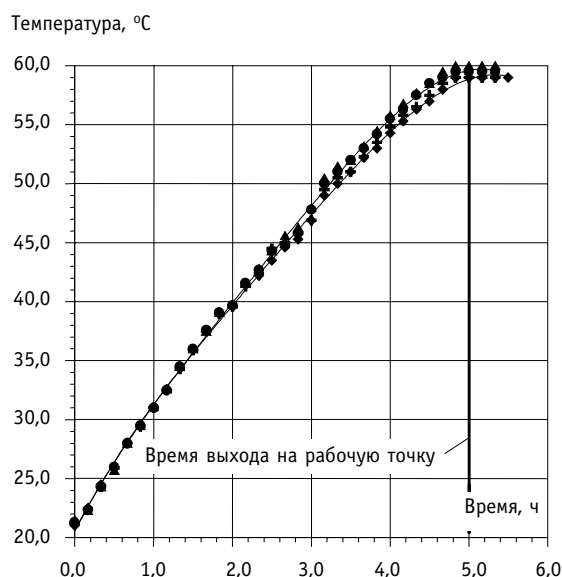


Рис. 7. Зависимость температуры теплоносителя в обеих петлях от времени разогрева: \blacklozenge правая петля (напор); \bullet правая петля (отвод); $+$ левая петля (напор); \blacktriangle левая петля (отвод)

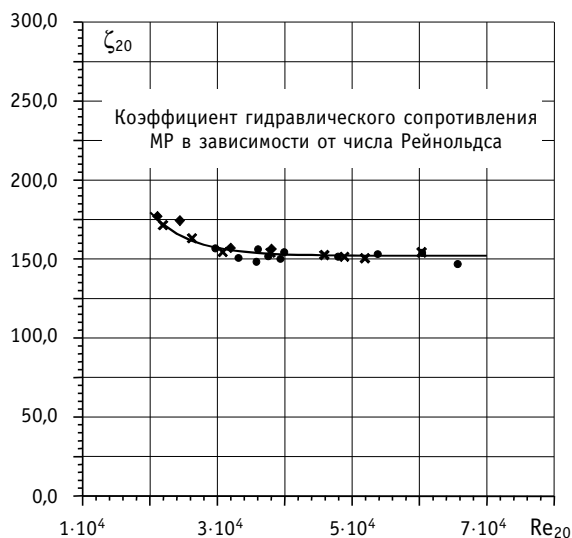


Рис. 8. Коэффициент местного сопротивления МР (работают 2 петли, 2 насоса): ● $T = 22,1 - 30,5$; + $T = 27,3 - 29,1$; ◆ $T = 38,0 - 44,2$; × $T = 33,0 - 59,5$

РНЦ «Курчатовский институт», НИКИЭТ, НИИАР, ВНИПИЭТ и др.), занимающихся проектированием и экспериментальным обоснованием реакторных установок. Технические характеристики некоторых экспериментальных стендов этих организаций и трех стендов ИАТЭ приведены в табл. 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработан и введен в эксплуатацию новый экспериментальный стенд, удовлетворяющий основным требованиям по исследованию процессов теплогидравлики в контурах циркуляции и активных зонах ЯЭУ. Установка позволяет исследовать теплогидравлические характеристики моделей корпусных

реакторных установок с двух- и четырехпетлевой компоновкой.

2. Стенд предназначен не только для научных целей, но и для проведения учебно-исследовательских экспериментальных работ студентами, выполнения экспериментальных дипломных работ и диссертационных работ аспирантами и сотрудниками университета.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГДМ – гидродинамическая модель; ГДС – гидродинамический стенд; СЗ – стендовый зал; ИРК – имитатор рабочего канала; НС – насосная станция; МР – модель реактора; СУЗ – система управления и защиты; ВКУ – внутрикорпусное устройство; ВРУ – внутреннее распределительное устройство; ПЗ – пультовой зал; РЗ – рамочный зонд; ЛЗ – ленточный зонд; НОБ насос откачки из БХТ; НОП – насос откачки из приемка НС; ВС – вентиль сброса теплоносителя; ДПД – датчик перепада давления; ВН – вентиль напорный; ВТР – вентиль тонкой регулировки; ВОП – вентиль отсечки приборов; ТП – термopара; ВВ – вентиль всаса ПН; РУ – расходомерное устройство; ВЗТ – вентиль залива теплоносителя; ДСМ – датчик статический манометрический; ВБ – вентиль байпасный; ПН – питательный насос.

НАЗВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ

СПРУТ – стенд для проведения работ по универсальной тематике; ЭК – элемент контеймента; МВК – малый водяной контур; СГИ – стенд гидравлических испытаний; СТФ – стенд теплофизический фреоновый; СМПМ ТВС – стенд массового пролива моделей ТВС; МР – модель реактора; ЦП – циркуляционная петля; ПК – параллельные каналы.

Литература

1. Авдеев Е.Ф., Чусов И.А., Белозеров В.И., Максимовский В.В., Пашков С.П., Устюжанин А.Я., Шувалов А.В. Верификация гидравлических характеристик стенда «Циркуляционная петля»// Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2002. – №4. – С. 46-53.
2. Стенд «Параллельные каналы». Техническое описание. – Обнинск, 1998.
3. Авдеев Е.Ф., Большунова В.В., Виноградов А.В. Определение расхода по максимальной скорости и перепаду давления//Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2000. – № 2. – С. 51-56.
4. Авдеев Е.Ф., Большунова В.В. Способ определения расхода в трубопроводе/Патент РФ на изобретение №2169905, 27 июня 2001 г.
5. Абрамович Г.Н., Крашенинников С.Ю., Секундов А.Н., Смирнова И.П. Турбулентное смешение газовых струй. – М.: Наука, 1974. – 272 с.
6. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – М.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 358.
7. Гидродинамика и безопасность ядерных энергетических установок: Сб. трудов ГНЦ-РФ-ФЭИ. Т.3. – Обнинск, 1999.
8. Калякин С.Г., Лисица Ф.Д., Ремизов О.В., Сердунь Н.П. Экспериментальные исследования теплогидравлических характеристик реактора ВК-300 на модели одиночной тяговой трубы/ Препринт ФЭИ-2844, 2000.

Поступила в редакцию 26.10.2004

substrates differ in 3 – 4 times. The quantities of power of adhesion make 88 – 104 mJ/m², the quantities of cohesion lie in an interval from 64 up to 86 mJ/m². Ability to adsorb contaminations for all latex films is approximately identical. The prospects of application of this type of latexes are estimated as deactivating coats for NPP.

УДК 621.039.51

Transport Evaluated Files to Study Particle Transport in Materials Irradiated by Neutrons with Energies up to 150 MeV \ A.Yu. Konobeyev, Yu.A. Korovin, G.B. Pilnov, A.Yu. Stankovskiy, A.A. Andrianov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 7 pages, 1 table, 5 illustrations. – References, 35 titles.

A new evaluated neutron nuclear data library «Transport Evaluated Files, TREF» to study neutron transport in materials irradiated by neutrons have been elaborated. The files constituting the library contain nuclear data for neutronics calculations for 242 nuclides ranging with atomic number from 8 to 82 in the energy region of primary neutrons from 10⁻⁵ eV to 150 MeV. Below 20 MeV data are taken mainly from ENDF/B-VI (Revision 8) and for some nuclides – from JENDL-3.3 and JEFF-3.0 libraries. The evaluation of emitted particle energy and angular distributions at the energies above 20 MeV was performed with the help of the ALICE/ASH code and the analysis of available experimental data. The results of calculation were adjusted to the data from ENDF/B-VI, JENDL-3.3 or JEFF-3.0 at the neutron energy equal to 20 MeV. The files are written in ENDF-6 format.

УДК 621.039.54

The Method of Calculation of Radiation Conditions around the Shipping Casks with SNF \ V.A. Opalovsky, G.V. Tikhomirov, E.F. Kryuchkov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 7 pages, 2 tables, 2 illustrations. – References, 10 titles.

The exploitation of nuclear reactors result in constitution of spent nuclear fuel (SNF). It is necessary to know radiation characteristics of SNF independently of the scenario of management with SNF. There are examination of radiation characteristics on the phases of storage and transportation in shipping casks presented in this article. The characteristic property of this article is the calculate of SNF characteristics by the combined using of SCALE and MCNP programs. The complex SCALE is using for calculations of radiation source. The MCNP program is using for calculations of transfer of radiation.

УДК 621.039.526: 621.039.546.8

Hydraulic Test Facility for Testing of Model Nuclear Reactor \ E.F. Avdeev, I.A. Chusov, A.Ya. Ustujanin, V.V. Maksimovskiy, D.S. Lazikyan, V.A. Levchenko, S.V. Borodastov, I.N. Leonov, V.A. Belugin, Yu.D. Levchenko, Yu.S. Yur'ev; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 14 pages, 3 tables, 8 illustrations. – References, 8 titles.

Describing of the main design and hydraulic characteristics of the «MR» test facility created in the «Thermophysics» department is presented in this paper. Equipment, circulating loop of the coolant, hydraulic two-loop reactor model and measuring systems are also described. Scientific and education purposes of this test facility are presented.

УДК 621.039.542: 536.24

Heat Exchange to Lead Coolant in the Annual Gap at Controller Oxygen Content \ A.V. Beznosov, A.V. Semyonov, S.S. Pinaev, A.D. Efanov, Yu.I. Orlov, A.V. Zhukov; Editorial board of Journal «Izvestia visshikh zavedeniy, Yadernaya energetika» (Communications of Higher Shools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2004. – 9 pages, 7 illustratins. – Reference, 2 titles

Results of experimental investigations of a convective heat exchange are resulted in leads heat-transfer agent in an annular gap in conditions of regulating and the surveillance of oxygen content.