

ВЕРИФИКАЦИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕНДА “ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ ПЕТЛЯ”

Е.Ф. Авдеев, И.А. Чусов, В.И. Белозеров, В.В. Максимовский,

А.Я. Устюжанин, С.П. Пашков, А.В. Шувалов

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



В работе приводится описание теплогидравлического стенда “Циркуляционная петля” кафедры “Теплофизика” ИАТЭ. Описаны разработанная система динамического управления теплогидравлическими режимами, необходимыми в ходе экспериментальных работ, и система автоматического сбора и обработки экспериментальных данных. Приведены результаты экспериментального исследования некоторых характеристик стенда в сравнении с опытными данными других авторов и общепринятыми расчетными зависимостями.

ВВЕДЕНИЕ

Расчет гидравлических потерь в контурах АЭС связан с необходимостью оптимизации их гидравлических характеристик и направлен на уменьшение потерь на собственные нужды и увеличения КПД установок в целом. Основные потери напора в контуре складываются из потерь на местные сопротивления. Это обусловлено тем, что течение теплоносителя осуществляется с достаточно большими числами Рейнольдса, при которых величины местных сопротивлений достигают максимальных значений.

Для получения оптимальных гидравлических потерь представляется важным проведение экспериментальных работ на установке, включающей в себя все основные виды местных сопротивлений в широком диапазоне режимных параметров, аналогичных реальным, возникающих при эксплуатации теплоэнергетических установок.

Стенд предназначен для исследования гидродинамических и теплофизических характеристик одно- и двухфазных течений, встречающихся в трактах первого контура и КМПЦ действующих и перспективных атомных электрических станций, а также верификации расчетных кодов, описывающих течение теплоносителя в контурах АЭС. Стенд позволяет выполнять экспериментальные исследования, связанные со стационарными и нестационарными режимами при переходных процессах, включая гидравлические удары.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА

В 1996-1999 гг. на кафедре “Теплофизика” ИАТЭ был смонтирован, введен в эксплуатацию и прошел опытные испытания экспериментальный стенд “Циркуляцион-

© **Е.Ф. Авдеев, И.А. Чусов, В.И. Белозеров, В.В. Максимовский, А.Я. Устюжанин, С.П. Пашков, А.В. Шувалов, 2002**

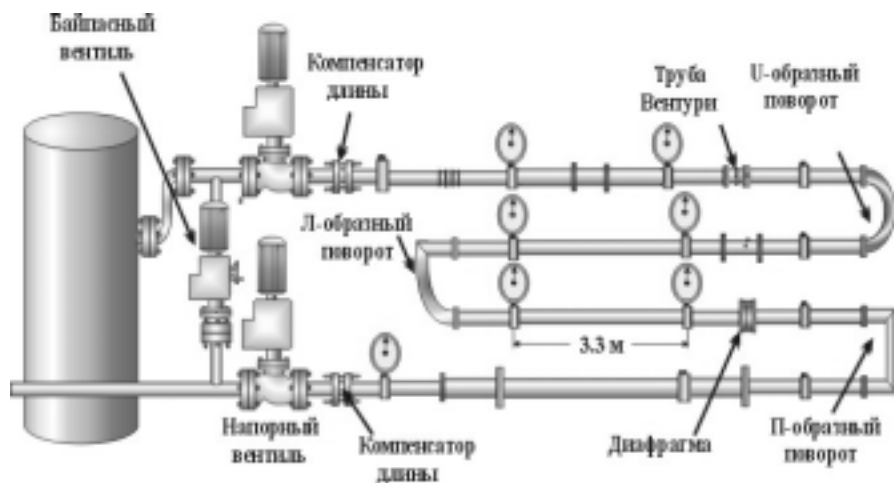


Рис. 1. Схема стенда “Циркуляционная петля”

ная петля”. Стенд содержит питательно-приемный бак с подсоединенными к нему трубопроводами основного контура и консольным насосом К-8/18-С-У. Принципиальная схема стенда (без насоса) представлена на рис.1. Тракт основного контура общей длиной 45 м выполнен из нержавеющей стали. Диаметр труб основного контура варьируется в диапазоне от 50 до 82 мм. Общие характеристики стенда приведены в табл. 1; в табл. 2 приведены гидродинамические и геометрические параметры в сравнении с действующими энергоблоками типа ВВЭР. Стенд оснащен запорной

Таблица 1

Общие характеристики стенда

Название характеристики	
Длина основного контура	45 м
Длина рабочего участка основного контура	38 м
Высота стенда (по баку)	2.2 м
Масса теплоносителя в баке (основного контура)	600 кг
Теплоноситель основного контура	Вода
Давление на выходе из насоса	3 атм. (30 м.вод.ст.)
Тип консольного насоса (основной контур)	К-8/18
а) подача	8 м ³ /ч
б) напор	18 м. вод. ст.
Стандартные расходомерные устройства	
а) труба Вентури (Гершеля)	Исполнение ГОСТ 23720-79
б) диафрагма	Исполнение РД-50-411-83

Таблица 2

Сравнение некоторых гидродинамических характеристик экспериментального стенда с параметрами действующих реакторных установок (реакторы типа ВВЭР)

Характеристика	ВВЭР-210	ВВЭР-365	ВВЭР-440	ВВЭР-1000	Стенд
Отношение высоты корпуса к диаметру	2.93	3.07	3.07	2.4	1.88
Общая длина первого контура, м	-	-	26.5	49.8	45
Число Рейнольдса (в контуре)	3.01*10 ⁷	4.0*10 ⁷	3.96*10 ⁷	6.82*10 ⁷	4*10 ⁵
Максимальные скорости (по петле) м/с	7.7	10.0	9.6	9.3 м/с	4.26



Рис 2. Общий вид питательно-приемного бака и запорной арматуры

арматурой с сервоприводами, аналогичной арматуре, используемой на действующих АЭС и ТЭС, что позволяет оперативно изменять расход и давление в основном контуре. Условный диаметр вентилей 50 мм.

На рис. 2 показан общий вид питательно-приемного бака стенда с запорной арматурой, в качестве которой используются три фланцевые клиновые задвижки 30с915нж (ЗКЛПЭ-40).

Для исследования неизотермических режимов внутрь питательно-приемного бака вмонтирован теплообменник с отдельным вспомогательным контуром разогрева, включающим в себя насос и водоподогреватель мощностью 15 кВт.

Для измерения уровня теплоносителя в питательном баке основного контура стенд оснащен уровнемером ДД-01 с блоком индикации БИ и блоком уставок нижнего и верхнего уровня БИУ-2УИ.

Эксперименты, выполненные на стенде в 1997-1998 гг., позволили рассчитать ос-

Таблица 3

Основные гидродинамические характеристики некоторых прямолинейных участков стенда (тракт основного контура)

Диаметр труб, мм	Число Рейнольдса	Измеренный перепад давления, Па	Коэффициент сопротивления трения			
			Эксперимент на стенде	Формула Блазиуса	Формула Филоненко	Формула Никурадзе
50	$7.5 \cdot 10^4$	441.0	1,96E-02	1,91E-02	1,91E-02	1,88E-02
	$1.0 \cdot 10^5$	728.0	1,82E-02	1,78E-02	1,80E-02	1,78E-02
	$1.4 \cdot 10^5$	1340.6	1,71E-02	-	1,68E-02	1,66E-02
66	8,8E+04	138,69	2,07E-02	1,84E-02	1,85E-02	1,82E-02
	1,0E+05	181,81	2,00E-02	1,77E-02	1,79E-02	1,77E-02
	1,6E+05	402,17	1,72E-02	-	1,62E-02	1,62E-02
82	7,5E+04	320,41	1,84E-02	1,91E-02	1,91E-02	1,88E-02
	1,0E+05	590,45	1,88E-02	1,78E-02	1,79E-02	1,77E-02
	1,3E+05	896,92	1,67E-02	-	1,70E-02	1,68E-02

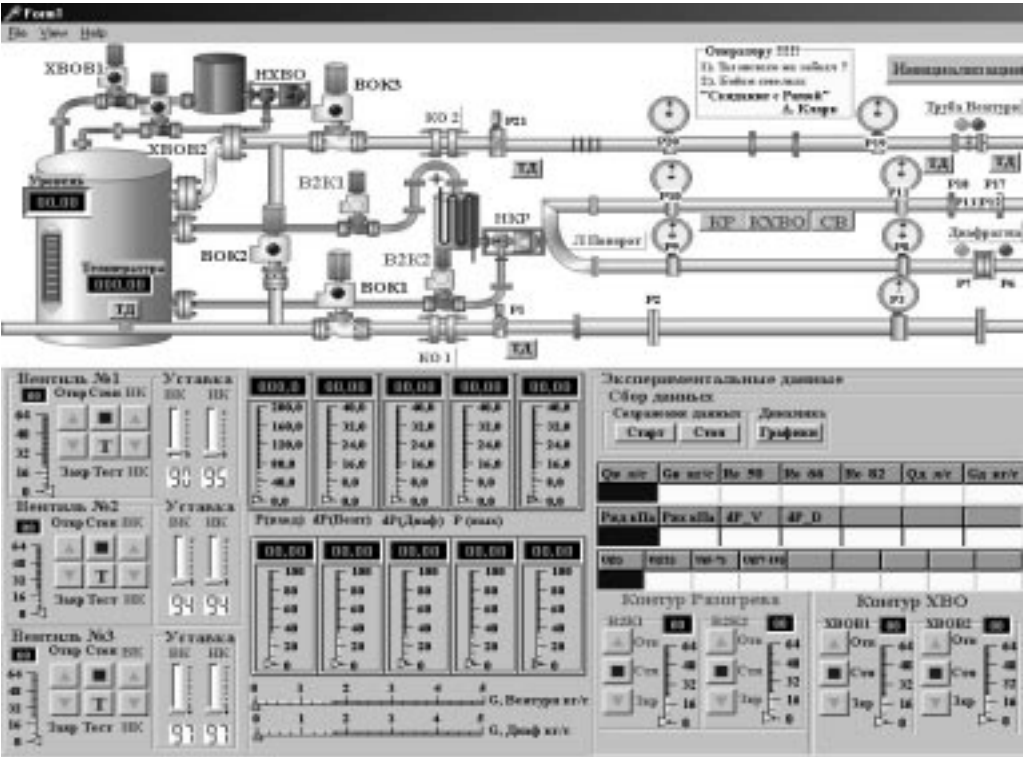


Рис 4. Общий вид интерфейса оператора стенда “Циркуляционная петля”

передачи команд NAF в блок интерфейса К-331, и получении ответных сигналов со стойки канала каркаса (СКК). Отметим, что сбор и обработка данных осуществляется в режиме реального времени. Программа управления позволяет осуществлять визуализацию данных на следующих взаимодополняющих двух уровнях.

1. Оперативная визуализация реализована на двух взаимодублирующих уровнях. Первый уровень – визуализация посредством индикаторов. Внешний вид индикаторов выполнен в соответствии с внешним видом приборов, используемых на атомных и тепловых электрических станциях. Шкалы индикаторов имеют цветную окраску, что позволяет быстро усвоить и проанализировать полученную информацию о текущих режимах работы установки. Кроме этого индикаторы снабжены указателями критических положений, что также способствует скорости реакции оператора на происходящие в системе события. Второй уровень - визуализация посредством вывода оперативных данных в таблицы. Необходимость дублирования оперативных данных вызвана необходимостью одновременного охвата оператором всех параметров, отвечающих за надежность и безопасность работы установки в целом. Вид интерфейса в режиме оперативных данных показан на рис. 4.

2. Динамическая визуализация осуществляет графический вывод основных измеряемых и рассчитываемых параметров (массовый и объемный расходы, определенные по трубе Вентури и диафрагме, перепады давления на этих сужающих устройствах, температура теплоносителя, давление на входе и выходе рабочего участка стенда, перепады давления на U- и П-образных поворотах). В режиме работы динамической визуализации происходит накопление измеренных и рассчитанных параметров в реальном времени. Накопленные данные резервируются в оперативной памяти компьютера и при достижении их объема 64 К автоматически сохраняются на диске. В ходе работы оператор имеет возможность просмотреть всю предысторию про-

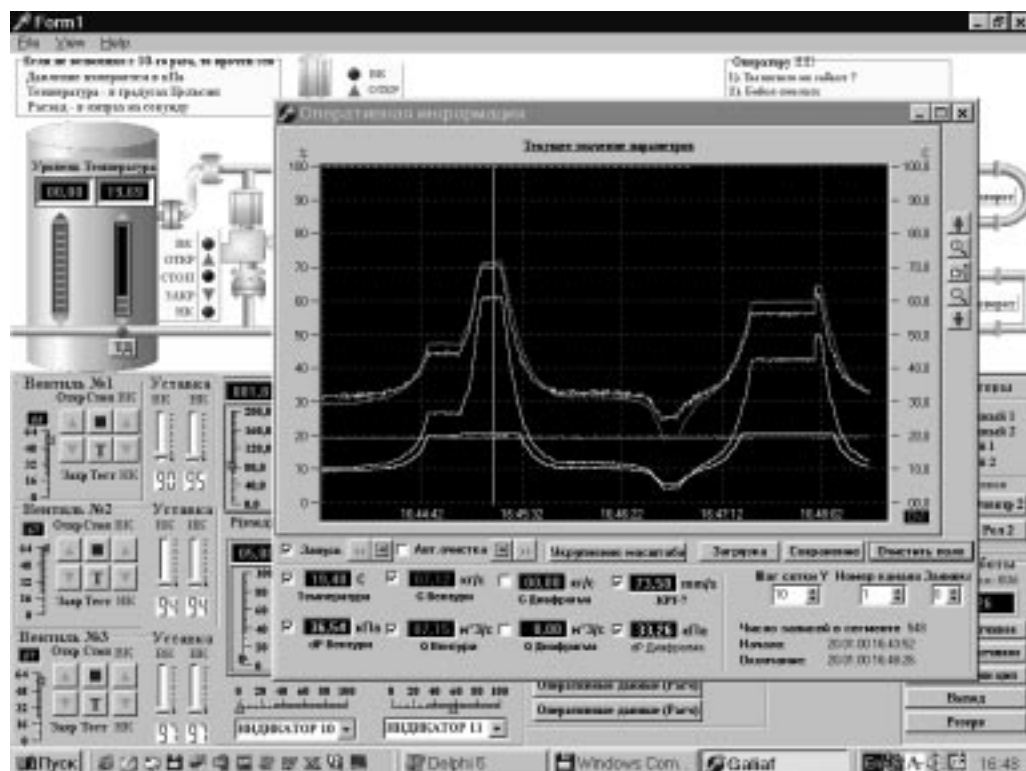


Рис 5. Графическое представление измеряемых динамических параметров стенда

ведения измерений, не останавливая выполнения программы. Типичный вид интерфейса динамической визуализации представлен на рис. 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕВИЗИИ НЕКОТОРЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Основные измерения проводились в штатном режиме работы стенда. При этом температура теплоносителя равнялась температуре окружающей среды ($\gg 20^\circ\text{C}$). Диапазон изменения чисел Рейнольдса составлял от $8 \cdot 10^4$ до $4 \cdot 10^5$. Расход в контуре составлял от 2 до 5 л/с.

Регулирование режимов работы осуществлялось двумя путями: напорным вентилем (рис. 1) при полностью открытом вентиле на байпасной линии; байпасным вентилем при полностью открытом вентиле на напорной ветке основного контура. При этом вентиль сброса теплоносителя в питательно-приемный бак был полностью открыт в течение всего времени эксперимента. Во время проведения экспериментов снимались показания с образцовых манометров с классом точности 0,1 – 0,15, расположенных вдоль всего тракта основного контура, которые обрабатывались по соответствующим зависимостям.

С целью проверки соответствия гидравлических характеристик стенда общепринятым табличным и расчетным соотношениям, а также экспериментальным данным других авторов были проведены специальные модельные опыты по экспериментальному определению коэффициентов сопротивления трения на различных режимах.

Расчет численных значений коэффициента сопротивления трения проводился на основе формулы Дарси-Вейсбаха.

Перепады давления измерялись на всех характерных прямолинейных участках стенда. Результаты этих измерений представлены в табл. 3 и на рис. 6. На этом же

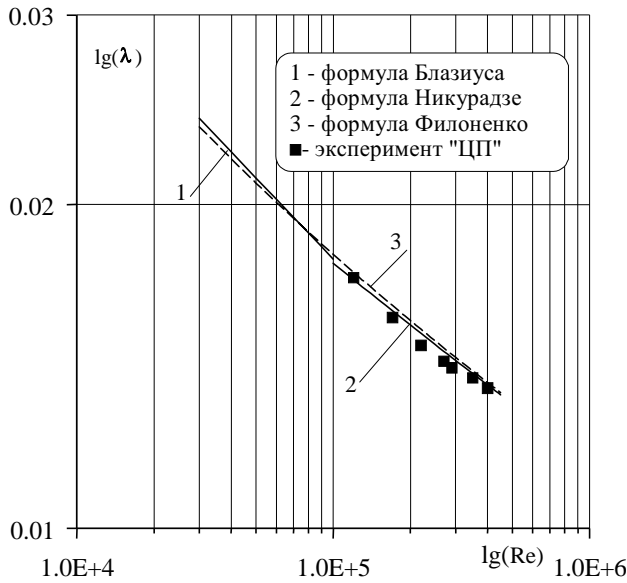


Рис 6. Сравнение опытных и расчетных данных для коэффициента сопротивления трения

рисунке приведено сравнение рассчитанных и экспериментальных значений коэффициента сопротивления трения в зависимости от числа Рейнольдса по сравнению с расчетными формулами Блазиуса, Филоненко и Никурадзе [1]. Из рисунка видно, что полученные экспериментальные значения хорошо согласуются с расчетными величинами. Относительная ошибка экспериментальных значений коэффициентов сопротивления трения не превышала 1.5%.

Другой важной характеристикой стенда являются величины коэффициентов местных сопротивлений. Из рис. 1 видно, что стенд имеет несколько видов местных сопротивлений, наиболее часто встречающихся в промышленных установках.

Экспериментально определялись коэффициенты местного сопротивления для U-

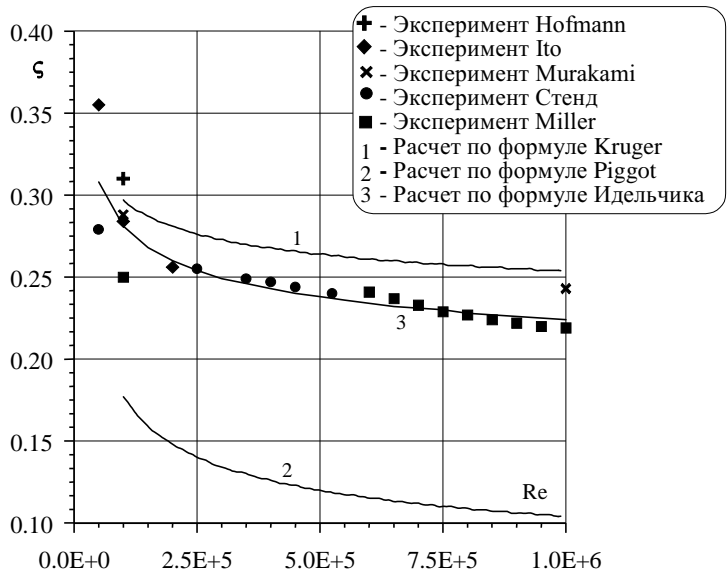


Рис 7. Сравнение экспериментальных данных различных авторов на U-образном повороте

Таблица 4

Re	$\zeta_{Стенд Эксп}$	$\zeta_{Эксп} [2]$	$\zeta_{Эксп} [3]$	$\zeta_{Эксп} [4]$	$\zeta_{Эксп} [5]$	$\zeta_{Расчет} [6]$	$\zeta_{Расчет} [7]$	$\zeta_{Расчет} [8]$
$1 \cdot 10^5$	0.271	0.284	0.31	0.288	0.25	0.275	0.293	0.172

образного поворота потока, Л-образного поворота и П-образного поворота потока.

Для расчета значений коэффициентов местных сопротивлений использовалась формула Вейсбаха.

Отметим, что основные опыты по определению коэффициентов местных сопротивлений были проведены при достаточно высоких числах Рейнольдса (квадратичная область сопротивления), что соответствует стационарным условиям функционирования реально действующих энергоблоков АЭС и ТЭС. Кроме того, в справочной литературе (как отечественной, так и зарубежной) приводятся значения коэффициентов местных сопротивлений в автомоделной области, когда они перестают зависеть от числа Рейнольдса.

В табл. 4 приведены измеренные значения коэффициента местного сопротивления для U-образного поворота ($R/d = 3$, $d = 50$ мм) в сравнении с экспериментальными и расчетными данными других авторов для числа Рейнольдса $1 \cdot 10^5$. На рис. 7 показаны экспериментальные данные в более широком диапазоне чисел Рейнольдса.

Из табл. 4 и рис. 7 хорошо видно, что полученный экспериментальным путем коэффициент местного сопротивления сравнительно хорошо согласуется с расчетными и экспериментальными данными других авторов. Это обстоятельство позволяет сделать вывод не только о достоверности полученных данных, но и о правильности проведенной тарировки и методики эксперимента.

Выполненная ревизия гидравлических характеристик делает возможным моделирование на стенде "Циркуляционная петля", являющемся полупромышленной установкой, теплогидравлических процессов в контурах ЯЭУ и других теплоэнергетических установок.

Литература

1. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). – Энергоатомиздат, 1990. – С. 358.
2. Ito H. Pressure Losses in Smooth Pipe Bends. Trans. ASME. – Ser. D. – №3. – 1960. – P. 34-42.
3. Hofmann A. Loss in 90-Degree Pipe Bends of Constant Circular Cross-section. Trans. ASME. – 1935. – P. 29-41.
4. Murakami M., Shimizu V. Experimental Formulae on the Hydraulic Loss in Pipe Bends. – Trans. Jap. Soc. Mech. Eng. – 1977. – 43. – №3. – P. 174-183.
5. Miller D.S. Internal Flow. A Guide to Losses in Pipe and Duct Systems. – BHRA, 1971.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992.
7. Krugger H. Berechnung von Druckverlusten in Rohrkrümmern. – Maschinenbau Technik. – №3. – 1970.
8. Piggot R.J.S. – Trans. ASME. – №11. – 1957. – P. 59-68.

Поступила в редакцию 29.07.2002

УДК 621.039.51

Determination of Absolute Intensity of Extensive Sources by A Coincidence Method \ V.V. Doulin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 6 pages, 3 illustrations, 1 table. - References, 5 titles.

Determination of absolute intensity of a point source by a coincidence method is used for a long time. Sometimes there is a need to determine the absolute intensity of an extensive source. Measurements and analysis results on its determination are presented in this work. A need of spatial Diven factor accounting for obtaining of a more accurate value of absolute intensity is demonstrated. A calculation of neutron flux $\varphi(x)$ distribution from the source and adjoint flux $\varphi^*(x)$ (importance) in relation to detector counts for the Diven factor obtaining has to be done.

УДК 621.039.58

Application of Main Components Method for High and Low Pressure Pumps Diagnostic Based on Testing Data Analysis \ S.T. Leskin, V.V. Valui; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 8 pages, 8 illustrations, 1 table. - References, 7 titles.

The application of main components method for diagnostic of the VVER high and low pressure pumps is discussed. On the basis of selected statistical model with use of entropy the complex of informative attributes describing dynamics of pumps behavior is received. The results of data processing of the forth block of the Balakovo NPP are presented. Pumps statement anomalies and caused their occurrence parameters are allocated.

УДК 621.039.526:621.039.546.8

Verification of Hydraulic Characteristics of Experimental Facility "Circulating Loop" \ E.F. Avdeev, I.A. Chusov, V.I. Belozarov, V.V. Maksimovskiy, A.Ia. Ustujanin, S.P. Pashkov, A.V. Shuvalov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 8 pages, 7 illustrations, 4 tables. - References, 8 titles.

Description of the experimental facility "Circulating Loop" of the thermal physics department is given. The developed system of dynamic control of thermal hydraulic modes necessary during experimental works is described. The results of an experimental research of some characteristics of the stand, in comparison with the experimental data of other authors and standard calculating dependences are given.

УДК 621.039.534

Distribution Parameters for the Quasi-One-Dimensional Two-Phase Non-Equilibrium Flow Models. Generalization for Simple-Form Channel Flows \ Yu.N. Kornienko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 12 pages, 7 illustrations, 2 tables. - References, 17 titles.

The article is devoted to construction of the generalized hierarchically closed analytical relationships (using drift flux model of two-phase non-equilibrium flow) for distribution parameters C_{ks} in quasi-one-dimensional form of the continuity, energy and momentum equations. A main assumption is power approximations of the local phase profiles for derivation of the quadratures of distribution parameters and their assessment. The complementarity and mirror symmetry properties are revealed for parameter distributions, which are useful for verification purposes of the closure relationships for C_{ks} .

УДК 621.039.534

Distribution Parameters for the Quasi-One-Dimensional Two-Phase Non-Equilibrium Flow Models. Generalization For Non-Monotone Parameter Profiles \ Yu.N. Kornienko; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineer-