

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ СВИНЦОВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ И ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ УЧАСТОК «ДРОССЕЛЬ-КОЛЬЦЕВОЙ ЗАЗОР»

**А.В. Безносков, М.А. Антоненков, Т.А. Бокова, М.В. Ярмонов,
К.А. Махов, А.А. Молодцов**

** Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева,
г. Нижний Новгород*



В НГТУ им. Р.Е. Алексеева проведено экспериментальное исследование и сравнение гидравлических характеристик течения воды и свинцового теплоносителя ($T = 400\text{--}500^\circ\text{C}$) через систему местных гидравлических сопротивлений «дроссель – кольцевой зазор». При испытаниях варьировалась величина относительного зазора ($2\Delta/d = 0,018; 0,036; 0,056$) при остановленном и вращающемся вале. Средняя скорость потока в кольцевом зазоре составляла от 0,01 до 0,1 м/с при содержании кислорода в свинцовом теплоносителе, близком к линии насыщения.

Одним из основных элементов, определяющих работоспособность главных циркуляционных насосов, в реакторных контурах с ТЖМТ является подшипник скольжения, работающий в жидком металле.

Работоспособность подшипника скольжения во многом определяется правильным выбором его конструктивных соотношений: относительного зазора, относительной ширины, угла охвата подшипника.

Полученные результаты показывают, что существует различие гидравлических характеристик на водяном и свинцовом теплоносителях экспериментального участка «дроссель-кольцевой зазор», моделирующего один из основных элементов главного циркуляционного насоса реакторного контура со свинцовым теплоносителем. Это делает некорректным использование расчетных методик для традиционных смазочных жидкостей (вода, масло) при проектировании гидростатических опор скольжения насосов, работающих в среде тяжелых жидкометаллических теплоносителей.

Ключевые слова: гидродинамика, свинец, эксперимент, сравнение, относительный зазор, гидравлические характеристики, гидростатический подшипник.

Key words: hydrodynamics, lead, experiment, comparison, relative clearance, hydraulic characteristics, hydrostatic bearing.

© А.В. Безносков, М.А. Антоненков, Т.А. Бокова, М.В. Ярмонов, К.А. Махов, А.А. Молодцов, 2012

ВВЕДЕНИЕ

Условием работоспособности конструкционных материалов в контурах с ТЖМТ является формирование и доформирование защитных оксидных покрытий на их поверхностях, контактирующих с теплоносителем. Экспериментально показано, что свинцовый и свинец-висмутовый теплоносители не смачивают оксидированные поверхности сталей, ванадиевых и бериллиевых сплавов. Характеристики течения этих теплоносителей в каналах при определенных условиях могут отличаться от характеристик течений теплоносителей, смачивающих стенки контура (вода, натрий) [1].

Для подшипников скольжения, работающих в среде ТЖМТ, традиционные смазочные пленки (пленки масел и др.) неприемлемы. Тяжелые жидкометаллические теплоносители (свинец, эвтектика свинец-висмут) несовместимы с традиционными смазками по температурным и другим условиям, и только сами ТЖМТ могут находиться в зазоре между контактирующими поверхностями. Эти теплоносители не могут выполнять функции традиционных смазочных веществ, так как не смачивают оксидированные поверхности сталей и чугунов. Наряду с этим пленка движущегося ТЖМТ в зазоре между контактными парами может успешно выполнять функцию отвода тепла, выделяющегося в точках контакта поверхностей, а оксидированные поверхности сталей и чугунов – функцию «сухой» смазки, исключая непосредственный контакт чистого металла поверхностей контактных пар.

Целью работ, отраженных в статье, является экспериментальное исследование гидравлических характеристик экспериментального участка «дроссель-кольцевой зазор» между вращающимся и неподвижным валом и втулкой, который моделирует элемент гидростатического подшипника насосов на свинцовом теплоносителе, и сравнение их с характеристиками на водяном теплоносителе. Знание этих характеристик необходимо как для учета специфики тяжелых жидкометаллических теплоносителей при расчете гидростатических подшипников, работающих в среде ТЖМТ, так и для расширения знаний об особенностях гидродинамики потоков высокотемпературных жидкометаллических теплоносителей.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ СТЕНДОВ

Экспериментальные исследования включали в себя последовательно два этапа с одним и тем же экспериментальным участком – на воде и на свинцовом теплоносителе.

Эксперименты проводились с одними и теми же сменными валами, образующими с неподвижной втулкой относительный зазор, равный 0,018; 0,036 и 0,056, сначала на стенде с водой, затем на стенде с высокотемпературным свинцовым теплоносителем.

Стенд с водяным теплоносителем состоял из следующих элементов и систем: циркуляционный водяной электронасос; емкость экспериментального участка диаметром 261 мм с неподвижной втулкой; комплект сменных валов; расходомер водяной; система измерения давления до входа потока в дроссель и в кольцевом зазоре; трубопроводы газа d_{y10} ; компрессор газа; арматура; манометры.

Стенд с высокотемпературным свинцовым теплоносителем состоял из следующих элементов и систем: циркуляционный жидкометаллический электронасос; емкость насоса диаметром 309 мм, высотой 725 мм; мерная емкость объемом 4,5 дм³ с двумя электроконтактными сигнализаторами уровня свинца; система защитного газа с баллонами с аргоном и водородом; трубопроводы контура свинцового теплоносителя d_{y25} ; отжимные бачки для замера давления до входа пото-

ка в дроссель и в кольцевом зазоре с электроконтактными сигнализаторами уровня свинца; трубопроводы системы газа; арматура; манометры.

Все оборудование и трубопроводы со свинцовым теплоносителем имели электрообогрев, выполненный в виде электронагревательных спиралей из нихромовой проволоки З-НП-3,2-200, мощностью по 3,2 кВт. В качестве электроизоляции проволоки использовались кордиеритовые бусы. Все оборудование и трубопроводы со свинцовым теплоносителем имели теплоизоляцию в виде матов из калиновой ваты.

В состав системы управления и регулирования параметров стенда входило следующее: подсистема автоматического и ручного дистанционного управления электронагревательными спиралью; подсистема управления электродвигателем циркуляционного насоса свинцового теплоносителя; органы управления потоками расплава свинца и газа.

Система сбора, обработки и представления информации включала в себя следующие основные элементы: первичные преобразователи (термопары тип ТХКП, микротермопреобразователи, датчик содержания кислорода в свинце и др.); вторичные преобразователи (дифференциальный усилитель термоЭДС, токовый преобразователь и др.); ЭВМ, укомплектованная АЦП (12 разр., 400 кГц); источники электропитания; вторичные и показывающие приборы; кабели, коммутационная аппаратура; система измерения перепада давления в экспериментальном участке «дроссель-кольцевой зазор», включающая в себя два отжимных бачка, содержащих объемы жидкого металла и газа с электроконтактными сигнализаторами положения свободного уровня свинца (объем свинца подключен к штуцерам до входа потока в дроссель и в кольцевом зазоре; газовый объем подключен к линиям газа высокого давления и сброса газа и к манометру).

В экспериментах определялись гидравлические характеристики системы местных сопротивлений участка «дроссель-кольцевой зазор», представленных в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики участка «дроссель-кольцевой зазор»

Местное сопротивление	Характеристика местного сопротивления			
Дроссель	Диаметр суженной части $d_0 = 4$ мм Длина суженной части $l_0 = 6$ мм			
Кольцевой зазор	Диаметр втулки D , мм	Диаметр сменного вала d , мм		Относительный зазор ψ
	114	108		0,056
		110		0,036
		112		0,018
Сменный вал	Средняя скорость, м/с			
	Окружная		Осевая	
	на свинце	на воде	на свинце	на воде
	$d = 108$ мм		0,022	0,052
	$d = 110$ мм		0,038	0,039
	$d = 112$ мм		0,074	0,128

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Испытания проводились на воде, затем на свинце.

Испытания на воде проводились при следующих условиях: температура воды – около 20°C, давление на выходе из кольцевого зазора – близкое к атмосферному, объемный средний расход воды – от 0,056 до 0,2 м³/ч. В процессе испытаний измерялись расход воды и соответствующий перепад давления. По экспериментальным данным строился график $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$ для установления степени зависимости потерь давления от средней скорости.

Зависимость коэффициента сопротивления ξ , включающего в себя как местное сопротивление, так и трение, от числа Рейнольдса определяли по формуле

$$\xi = \frac{A}{Re^y}, \quad (1)$$

где A – константа; Re – число Рейнольдса в кольцевом зазоре,

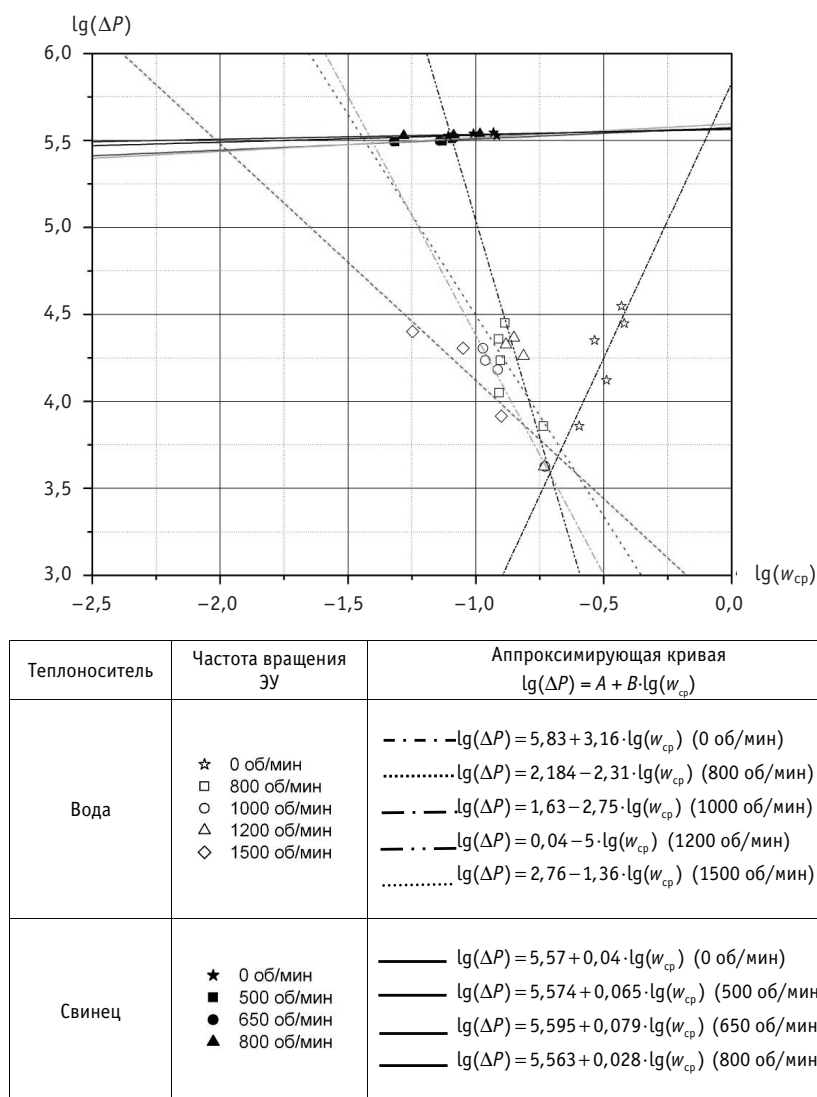


Рис. 1. Зависимость $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$ для относительного зазора $\psi = 0,018$ при испытаниях на воде и свинце при содержании кислорода в свинце $a = 10^{-1}-10^0$

$$Re = \frac{w \cdot S}{\nu}, \quad (2)$$

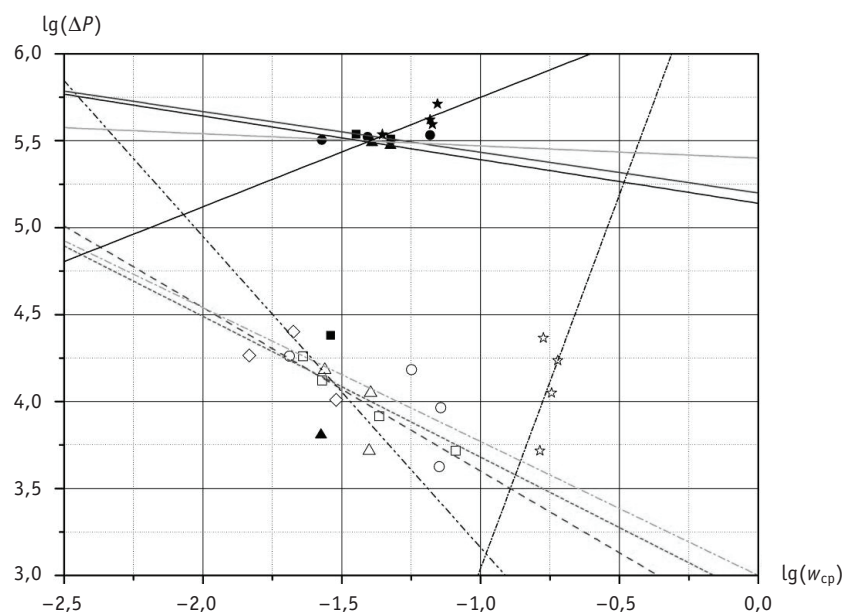
где w – скорость потока в кольцевом зазоре, м/с; S – величина зазора, м; ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

Показатель степени числа Рейнольдса в (1) определяли по формуле

$$y = 2 - B, \quad (3)$$

где B – тангенс угла наклона кривой на графике $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$.

Испытания на свинцовом теплоносителе проводились при следующих условиях: температура теплоносителя 450–500°С, давление на выходе из кольцевого зазора – близкое к атмосферному, скорость потока свинца в кольцевом зазоре от 0,01 до 0,1 м/с, число оборотов вала экспериментального участка 500, 650, 800, 1000 об/мин; объемный средний расход свинца от 0,05 до 0,2 м³/ч; содержание



Теплоноситель	Частота вращения ЭУ	Аппроксимирующая кривая $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$
Вода	☆ 0 об/мин	— · — · — $\lg(\Delta P) = 7,34 + 4,3 \cdot \lg(w_{cp})$ (0 об/мин)
	□ 800 об/мин	 $\lg(\Delta P) = 2,66 - 0,94 \cdot \lg(w_{cp})$ (800 об/мин)
	○ 1000 об/мин	— · — $\lg(\Delta P) = 3 - 0,77 \cdot \lg(w_{cp})$ (1000 об/мин)
	△ 1200 об/мин	— · — $\lg(\Delta P) = 1,39 - 1,77 \cdot \lg(w_{cp})$ (1200 об/мин)
	◇ 1500 об/мин	 $\lg(\Delta P) = 2,87 - 0,81 \cdot \lg(w_{cp})$ (1500 об/мин)
Свинец	★ 0 об/мин	— $\lg(\Delta P) = 6,38 + 0,63 \cdot \lg(w_{cp})$ (0 об/мин)
	■ 500 об/мин	— $\lg(\Delta P) = 5,2 - 0,234 \cdot \lg(w_{cp})$ (500 об/мин)
	● 650 об/мин	— $\lg(\Delta P) = 5,4 - 0,068 \cdot \lg(w_{cp})$ (650 об/мин)
	▲ 800 об/мин	— $\lg(\Delta P) = 5,14 - 0,251 \cdot \lg(w_{cp})$ (800 об/мин)

Рис. 2. Зависимость $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$ для относительного зазора $\psi = 0,036$ при испытаниях на воде и свинце при содержании кислорода в свинце $a = 10^{-1} - 10^0$

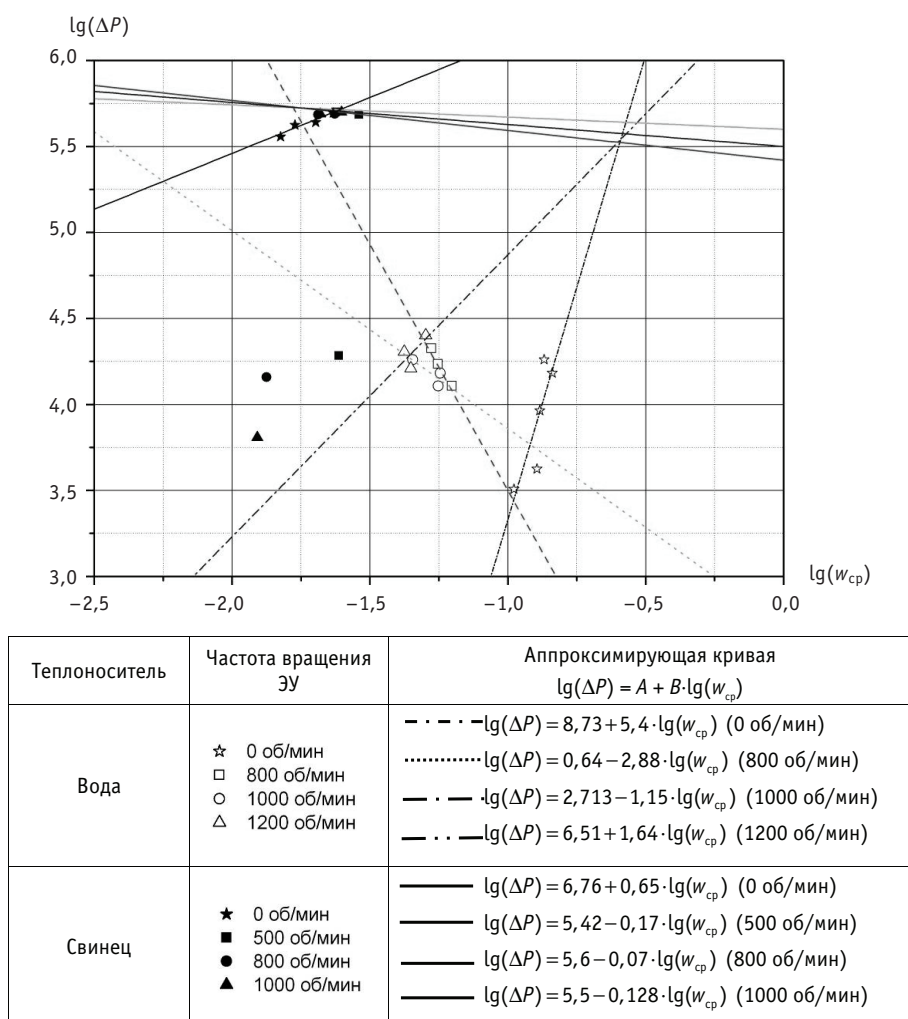


Рис. 3. Зависимость $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$ для относительного зазора $\psi = 0,056$ при испытаниях на воде и свинце при содержании кислорода в свинце $a = 10^{-1}-10^0$

кислорода в свинце – на линии насыщения; продолжительность испытаний на один относительный зазор – около 24 часов.

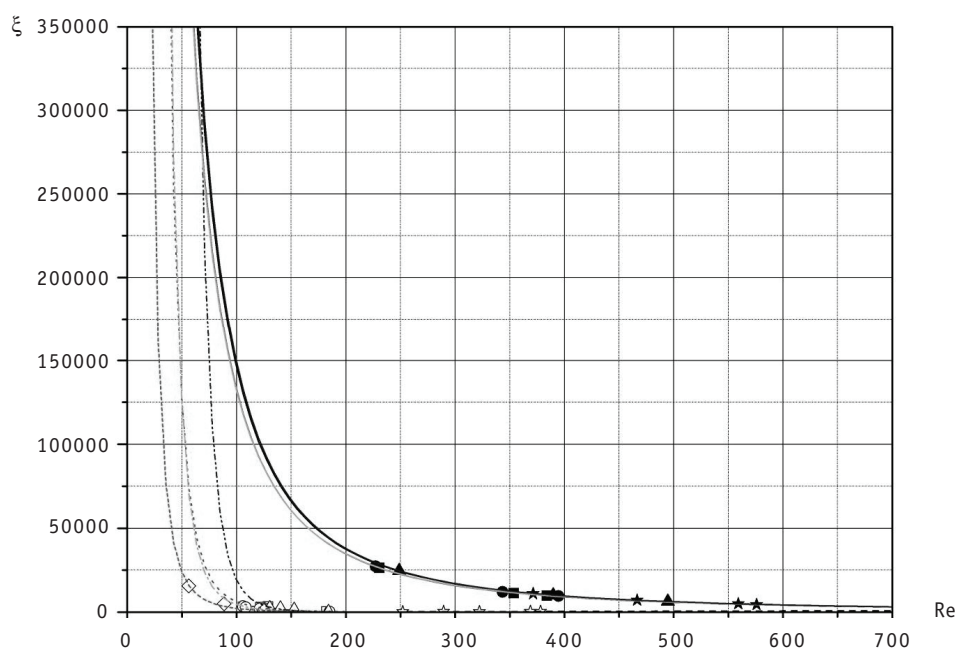
Результаты экспериментальных исследований участка с последовательными местными сопротивлениями «дрозсель-кольцевой зазор» на водяном и свинцовом теплоносителях обрабатывались по одним и тем же формулам.

До и после проведения серий испытаний производился осмотр состояния поверхностей сменных валов и неподвижной втулки и производилось качественное сравнение износа поверхностей.

Обсуждение результатов испытаний. Сравнение гидравлических характеристик вариантов конструкций дросселей на свинцовом теплоносителе и на воде

На рисунках 1–3 приведены графики зависимости $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$ для различной величины относительного зазора.

Во время испытаний на свинцовом теплоносителе были получены несколько резко выделяющихся результатов (промахов), которые обусловлены малой скоростью потока. Данные точки отражены на рис. 2, 3, 5 и 6.



Теплоноситель	Частота вращения ЭУ	Аппроксимирующая кривая $\xi = \frac{\text{const}}{\text{Re}^y}$
Вода	☆ 0 об/мин □ 800 об/мин ○ 1000 об/мин △ 1200 об/мин ◇ 1500 об/мин	----- $\xi = \frac{0,47}{\text{Re}^{1,16}}$ (0 об/мин)
		 $\xi = \frac{2,62 \cdot 10^{12}}{\text{Re}^{4,31}}$ (800 об/мин)
		- . . . - $\xi = \frac{1,46 \cdot 10^{13}}{\text{Re}^{4,75}}$ (1000 об/мин)
		- . . - $\xi = \frac{1,9 \cdot 10^{18}}{\text{Re}^7}$ (1200 об/мин)
		- - - - $\xi = \frac{1,22 \cdot 10^{10}}{\text{Re}^{3,36}}$ (1500 об/мин)

Свинец	★ 0 об/мин ■ 500 об/мин ● 650 об/мин ▲ 800 об/мин	— $\xi = \frac{1211449250}{\text{Re}^{1,96}}$ (0 об/мин)
		— $\xi = \frac{983682078,2}{\text{Re}^{1,935}}$ (500 об/мин)
		— $\xi = \frac{916221395,1}{\text{Re}^{1,921}}$ (650 об/мин)
		— $\xi = \frac{1311397421}{\text{Re}^{1,972}}$ (800 об/мин)

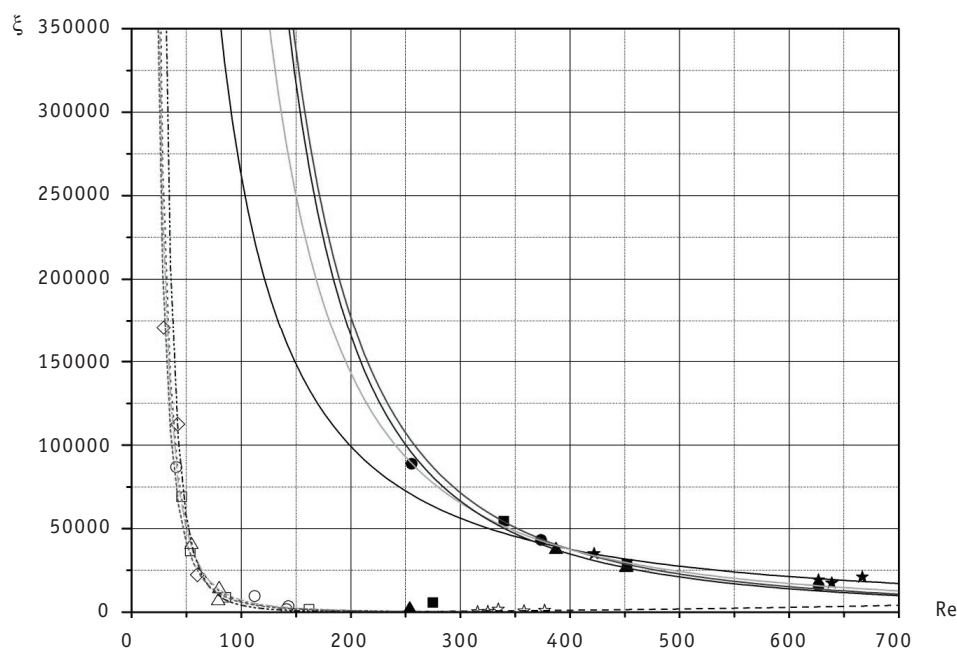
Рис. 4. Зависимость $\xi = f(\text{Re})$ для относительного зазора $\psi = 0,018$ при испытаниях на воде и свинце при содержании кислорода в свинце $a = 10^{-1}-10^0$

Из графиков (рис. 1–3) видно, что перепад давления на исследуемом элементе на свинцовом теплоносителе при изменении числа оборотов вала меняется слабо, что может быть объяснено спецификой течения расплава свинца через два последовательно установленных местных сопротивления.

При анализе зависимостей $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{\text{ср}})$ (рис. 1–3) выявлено, что величина перепада давления на воде меньше величины перепада на свинце на порядок.

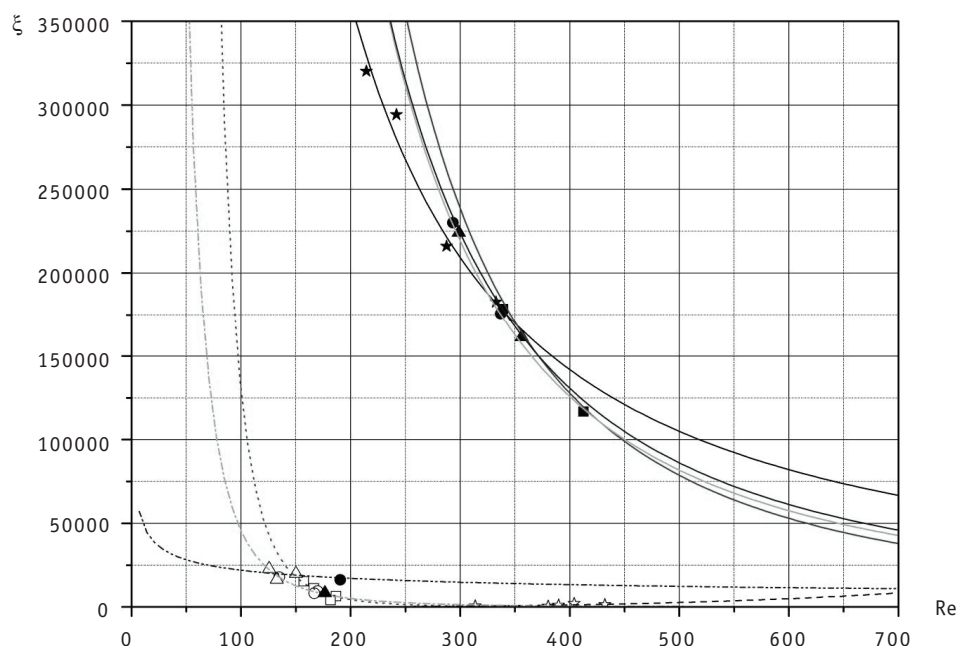
Испытания на воде показали существенное различие гидродинамики при неподвижном и вращающемся вале. При остановленном вале с увеличением скорости потока перепад давления увеличивается. При вращающемся вале величина перепада давления снижается с увеличением скорости водяного теплоносителя.

Испытания на свинцовом теплоносителе также выявили существенное различие гидродинамики потока при неподвижном и вращающемся вале. На высокотемпературном свинцовом теплоносителе графические зависимости



Теплоноситель	Частота вращения ЭУ	Аппроксимирующая кривая $\xi = \frac{\text{const}}{\text{Re}^\nu}$
Вода	☆ 0 об/мин □ 800 об/мин ○ 1000 об/мин △ 1200 об/мин ◇ 1500 об/мин	--- $\xi = \frac{0,001170157795}{\text{Re}^{2,3}}$ (0 об/мин)
		 $\xi = \frac{4979176648}{\text{Re}^{2,94}}$ (800 об/мин)
		- · - · - $\xi = \frac{2507286266}{\text{Re}^{2,77}}$ (1000 об/мин)
		— · — $\xi = \frac{1,43 \cdot 10^{11}}{\text{Re}^{3,77}}$ (1200 об/мин)
		- - - $\xi = \frac{2449376428}{\text{Re}^{2,81}}$ (1500 об/мин)
Свинец	★ 0 об/мин ■ 500 об/мин ● 650 об/мин ▲ 800 об/мин	— $\xi = \frac{165144825,5}{\text{Re}^{1,4}}$ (0 об/мин)
		— $\xi = \frac{2,44 \cdot 10^{10}}{\text{Re}^{2,234}}$ (500 об/мин)
		— $\xi = \frac{3991276924}{\text{Re}^{1,932}}$ (650 об/мин)
		— $\xi = \frac{2,506 \cdot 10^{10}}{\text{Re}^{2,251}}$ (800 об/мин)

Рис. 5. Зависимость $\xi = f(\text{Re})$ для относительного зазора $\psi = 0,036$ при испытаниях на воде и свинце при содержании кислорода в свинце $a = 10^{-1}-10^0$



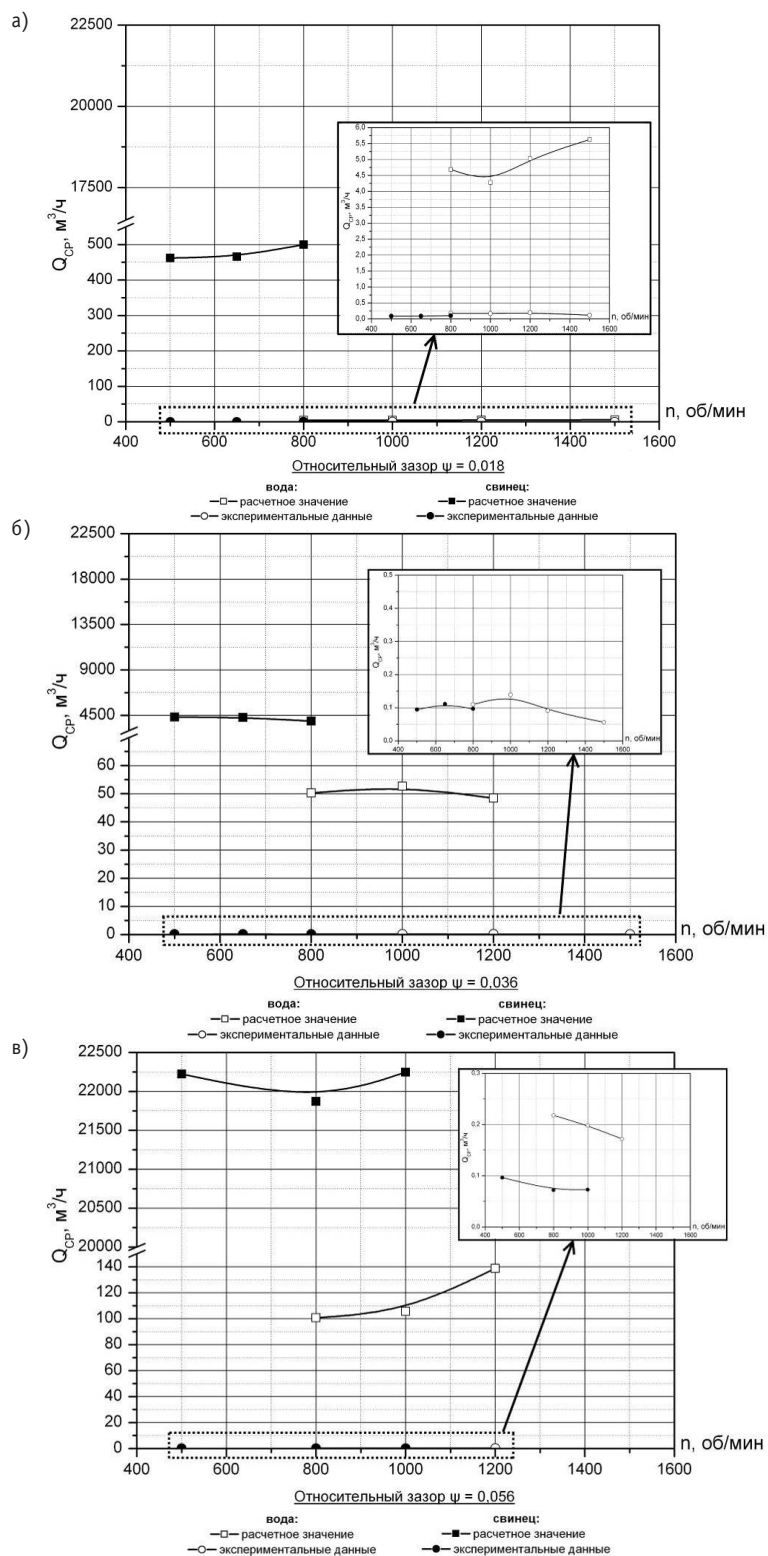
Теплоноситель	Частота вращения ЭУ	Аппроксимирующая кривая $\xi = \frac{\text{const}}{\text{Re}^y}$
Вода	☆ 0 об/мин □ 800 об/мин ○ 1000 об/мин △ 1200 об/мин	— — — — $\xi = \frac{1,78 \cdot 10^{-6}}{\text{Re}^{3,4}}$ (0 об/мин)
		 $\xi = \frac{7,45 \cdot 10^{14}}{\text{Re}^{4,88}}$ (800 об/мин)
		- . . . - $\xi = \frac{9,08 \cdot 10^{10}}{\text{Re}^{3,15}}$ (1000 об/мин)
		— . . — $\xi = \frac{115336,25}{\text{Re}^{0,36}}$ (1200 об/мин)
Свинец	★ 0 об/мин ■ 500 об/мин ● 800 об/мин ▲ 1000 об/мин	— $\xi = \frac{462012739,9}{\text{Re}^{1,35}}$ (0 об/мин)
		— $\xi = \frac{5,66 \cdot 10^{10}}{\text{Re}^{2,17}}$ (500 об/мин)
		— $\xi = \frac{1,323 \cdot 10^{10}}{\text{Re}^{1,93}}$ (800 об/мин)
		— $\xi = \frac{9599820544}{\text{Re}^{1,87}}$ (1000 об/мин)

Рис. 6. Зависимость $\xi = f(\text{Re})$ для относительного зазора $\psi = 0,056$ при испытаниях на воде и свинце при содержании кислорода в свинце $a = 10^{-1}-10^0$

$\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{\text{ср}})$ при изменении частоты вращения вала экспериментального участка не оказывают заметного влияния на поведение кривых (в пределах испытанных частот вращения вала).

Ход кривых $\xi = f(\text{Re})$ (рис. 4–6), построенных по формуле (1), для воды и свинца конгруэнтен.

Анализ зависимостей коэффициента сопротивления от критерия Рейнольдса на свинце показывает, что с увеличением относительного зазора растет величина коэффициента сопротивления, график зависимости становится более пологим и сдвигается в положительном направлении оси абсцисс. На водяном теплоносителе величина зазора существенно не влияет на коэффициент сопротивления.



Полученные различия в гидравлических сопротивлениях одного и того же экспериментального участка на воде и на свинце однозначно определяются различием физических свойств этих теплоносителей.

Сравнение расчетно-теоретических величин расхода через кольцевой зазор на свинце и на воде, определенных по методике [2], с полученными экспериментально (рис. 7) показывает, что результаты расчетов существенно отличаются от экспериментов.

Расхождение достигает от одного до пяти порядков. Существенное различие расчетных и экспериментальных данных можно объяснить изначальным использованием приближенных методов расчета, которые не учитывают движение жидкости по окружности и в осевом направлении, а также физические свойства жидкостей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Испытания на свинцовом теплоносителе не выявили различий гидравлических характеристик участка «дроссель-кольцевой зазор» при вращающемся и остановленном вале, тогда как для воды такие различия существуют.

2. С ростом относительного зазора на участке, включающем в себя дроссель и кольцевой зазор, при течении высокотемпературного свинцового теплоносителя величины перепада давления и коэффициента местного сопротивления увеличиваются. На воде увеличение относительного зазора влияет только на угол наклона зависимости $\lg(\Delta P) = A + B \cdot \lg(w_{cp})$ при вращающемся вале.

3. Экспериментальные исследования показали различие гидравлических характеристик на воде и на свинцовом теплоносителе элемента гидростатического подшипника «дроссель-кольцевой зазор», что делает некорректным использование существующих методик расчета таких подшипников при их проектировании для работы в свинцовом теплоносителе.

4. Для моделирования течения свинца через экспериментальный участок, состоящий из последовательно установленного дросселя и кольцевого зазора, проливками на воде возможно при умножении формулы (1) на 100. Введение данного коэффициента справедливо для исследованных диапазонов чисел Рейнольдса и величины относительного зазора между валом и втулкой.

Литература

1. Безносков А.В. Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике / А.В. Безносков, Ю.Г. Драгунов, В.И. Рачков. – М.: ИздАТ, 2006. – 370 с.
2. Чернавский С.А. Подшипники скольжения. – М.: Машгиз, 1963. – 243 с.

Поступила в редакцию 16.09.2011

Mathematical model of linear stochastic filter is developed for NPP equipment under ageing. Theory of martingales usage is substantiated to predict the technical state of equipment. Also there is formulated optimum principle for choice of preventive actions to decrease damage processes rate.

УДК 621.039.58

Prediction of NPP Equipment Lifetime under Flow-Accelerated Corrosion by Using of Empirical Model \O.M. Gulina, O.O. Frolova; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 3 tables. – References, 8 titles.

To predict equipment lifetime under flow-accelerated corrosion there is used Chexal-Horowitz empirical model, realized as ECW-02. One of the most important parameters is Keller coefficient of pipe geometry. To adapt Chexal model to Russian NPP units there is developed procedure of Keller coefficient estimation by using of control data and ECW-02 prediction. As result, stochastic characteristics of Keller coefficients are obtained. To estimate the error connected with admixture content in metal on erosion-corrosion wear rate there is performed comparison of wear rate calculated by using of Durex equation and the one predicted by ECW-02.

УДК 621.039.58

Efficiency Criteria for High Reliability Measured Systems Structures \N.L. Salnikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 5 pages, 2 illustrations. – References, 3 titles.

To develop high reliability measured systems usually there are used procedures of structural redundancy. To estimate efficiency of such structures there is developed criteria to compare different systems. So it is possible to develop more exact system by inspection of redundant system data unit stochastic characteristics in according with developed criteria.

УДК 504.064.36: 574

Application of the Method of Electrophysical Impact on the Disperse Medium in High-Performance Filtering Gases Devices from Aerosols of Various Origin \I.V. Yagodkin, A.M. Posagennikov, A.G. Grishin, V.P. Melnikov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 6 illustrations. – References, 3 titles.

Cleaning of gas-air flows in different branches of industry remains one of the most important directions in the field of technologies of environmental protection from aerosols of the different origin, including radioactive and toxic ones.

High-efficient aerosol filters being used today at NPP are the source of large volumes of radioactive waste subject to burial. They have a limited lifetime, and their fabrication and operation are costly.

The situation arisen with gas cleaning from radioactive and toxic aerosol particles at NPP requires, on the one hand, updating of traditional approaches and, on the other hand, development of fundamentally new methods and aids of air cleaning, namely, the principle of combined cleaning based on the fact that particles take up specific properties in ionized gas and then are to be caught on filters.

The problems of experimental investigation of the effect of intensive aeronization on catching of aerosol particles from the air flow using combined filtering systems is the subject of this paper.

УДК 621.039.534

Experimental Study of Flow Hydrodynamics Lead Coolant and Water through the Experimental Section «Throttle Clearance-Ring» \A.V. Beznosov, M.A. Antonenkov, T.A. Bokova, M.V. Yarmonov, K.A. Makhov, A.A. Molodtsov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 11 pages, 1 table, 7 illustrations. – References, 2 titles.

A research and comparison of the hydraulic characteristics of the water and lead coolant ($T = 400\text{--}500^\circ\text{C}$) flow in the system of local hydraulic resistances «throttle-annular gap» have been done at the Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University. During the experiments the magnitude of the relative clearance ($2\Delta/d = 0,018; 0,036; 0,056$) was varied with the static and rotated shaft. The average speed inside the annular gap ranged between 0,01 and 0,1 m/sec, the coolant was saturated with the oxygen.

A slider bearing working in the medium of the heavy liquid metal coolants is one of the main elements which influence the efficiency of the main circulating pumps in the reactor loops with HLMC.

The operating efficiency of the slider bearing is mainly determined with the correct choice of its constructive relation: a relative annular gap, relative width, angle of contact.

The results of the experimental research have shown that the difference between hydraulic characteristics of water and HLMC coolants in the experimental plot «throttle-annular gap» exists. It makes the usage of the traditional lubricating fluid in the methods of analysis of the hydrostatic sliding bearings for the pumps in the HLMC incorrect.

УДК 621.039.526

Calculations and Experimental Investigation of Irradiation Heat Rate in BOR-60 Reactor \A.V. Varivtsev, I.Yu. Zhemkov, O.V. Ishunina, Yu.V. Naboyshchikov, V.A. Neverov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 8 pages, 2 tables, 4 illustrations. – References, 6 titles.

Calculations and experimental investigation of irradiation heat rate in reactor BOR-60 reveals drawbacks of modern calculational methods. Paper propose algorithm for irradiation heat rate calculations, which allows to eliminate these drawbacks.

УДК 621.039.543: 621.039.524.44

The Substantiation of the Correlation for Critical Heat Flux Calculation for Alternative Design Fuel Assemblies with Mixing Spacer Grids in VVER-1000 \S.M. Dmitriev, V.E. Lukyanov, O.B. Samoylov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 10 pages, 8 illustrations. – References, 6 titles.

The results of the experimental investigations of coolant mixing and departure from nucleate boiling in TVSA-T with combined spacer grids and mixing grids on aerodynamic and thermal test facilities are presented. As a result of the obtained experimental data, the determination of mixing coefficient was carried out and the CRT-1 correlation for the critical heat flux calculation was developed. The applicability of correlation for critical heat flux calculation for TVSA-T VVER-1000 was substantiated.

УДК 621.039.534.6

The Method Based on Electromagnetic Sensor for Measuring of Sodium Flow Rate in a Heat Pipe \N.I. Loginov, A.S. Mikhhev, A.A. Mukhlinin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 8 pages, 5 illustrations. – References, 6 titles.

The electromagnetic sensor design and method of liquid flow measuring in the vertical sodium heat pipe 100 mm diameter and 10 m length at operating temperature 550–650°C are described. The heat pipe was supplied with capillary structure only in the evaporation zone, i.e. it was a thermosyphon with nonseparated opposite flows of liquid and vapor.

Magnetic field of the sensor was produced by permanent magnet, made of thermostable alloy, which is efficient up to 600 oC. Flow measurements at three cross sections of the heat pipe, at four «points» of circumference of each section, were carried out. Significant fluctuations of the local flow rate values were observed. Maximum amplitude of the fluctuations exceeds the average value of the flow rate up to 2-3 times. Negative values of the local flow rate were observed. It means that liquid sodium flowed against the gravity force, and this indicates that the liquid sodium entrainment caused by vapor counter-flow, the speed of which was about 80 m/s, took place.

УДК 621.039.517

The Intensification of Mass Transfer in LWR Rods Bundles by Cellular Mixing Grids \P.V. Markov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yademaya energetica» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering) – Obninsk, 2012. – 9 pages, 4 tables, 5 illustrations. – References, 6 titles.

The CFD-models of 7-rods and 19-rods bundle with mixing grid was developed. The flow field in rods bundles was investigated. A series of CFD analyses were performed to obtain hydraulic and mixing properties of mixing cellular grids.