

ГИДРОДИНАМИКА КОЛЛЕКТОРНЫХ СИСТЕМ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Б.Н. Габрианович, В.Н. Дельнов

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



Выполнены экспериментальные исследования по гидродинамике проточной части коллекторных систем ядерных энергетических установок. Представлены результаты этих исследований для цилиндрических и плоских раздающих коллекторных систем различных типов.

Важным элементом проточной части ядерных энергетических установок (ЯЭУ) является раздающая коллекторная система (РКС). Конструкция РКС в существенной мере определяет гидродинамику проточной части активной зоны ЯЭУ. Подвод теплоносителя на вход активной зоны осуществляется с использованием различных типов РКС. В типичных для ЯЭУ конструкциях широко используют РКС с боковым подводом и центральным отводом потока. Боковой подвод в коллектор осуществляют как по всему периметру его входной части, так и локально на отдельных участках. Кроме того, локальный подвод потока в коллектор производят под различными углами относительно продольной оси РКС.

Ряд расчетных и экспериментальных работ посвящен исследованию гидродинамики проточной части РКС [1–17].

Целью настоящей работы является изучение гидродинамических особенностей проточных частей РКС в зависимости от их конструктивных характеристик и режимных параметров потока.

ГИДРОДИНАМИКА РКС С ПОДВОДОМ ПОТОКА В КОЛЛЕКТОР ЧЕРЕЗ БОКОВОЙ КОЛЬЦЕВОЙ КАНАЛ

Проточная часть цилиндрической РКС состояла из бокового кольцевого канала, коллектора, трубного пучка с диафрагмами в выходной части и выходной камеры (рис. 1).

Проточная часть цилиндрической РКС оснащена отборами статического давления. В трубках пучка расположены трубки Пито и отборы статического давления.

Цилиндрическая РКС исследована на аэродинамическом стенде с использованием системы впуска, отбора и анализа проб. Воздух из контура аэродинамического стенда поступал в боковой канал, последовательно проходил коллектор, трубный пучок, выходную камеру и выходил из РКС.

Исследование процесса перемешивания теплоносителя выполняли с использованием методики галоидного трассера [18].

Коэффициент гидравлического сопротивления элемента проточной части цилиндрической РКС (ζ_{ij}) определяли по средней скорости воздуха во входном поперечном сечении элемента проточной части.

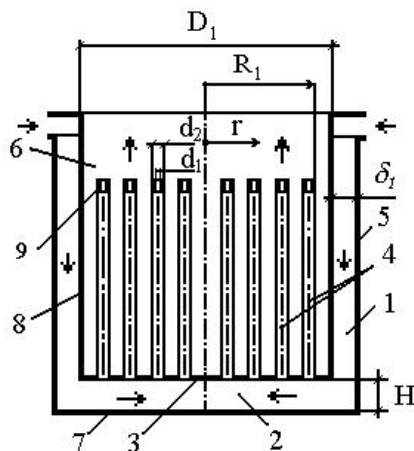


Рис.1. Конструкция цилиндрической РКС с боковым подводом потока через боковой кольцевой канал: 1 – боковой канал; 2 – коллектор; 3 – трубная доска; 4 – трубный пучок; 5 – корпус; 6 – выходная камера; 7 – днище; 8 – внутренняя обечайка; 9 – диафрагма

Для характеристики неравномерности распределения относительного массового расхода воздуха использован коэффициент неравномерности (η), представлявший собой разность между максимальным и минимальным значениями расхода.

В цилиндрической РКС при определении относительной высоты коллектора (\hat{H}) в качестве масштаба использовали ширину бокового канала (δ_1).

Плоская РКС имитировала продольное осевое сечение цилиндрической РКС с помощью плоских пластин. Проточная часть плоской РКС состояла из двух входных каналов, коллектора, каналов системы пластин и выходного канала. В РКС изменяли ширину входных каналов (δ_1), высоту коллектора (H), высоту входа в него (h), расстояние от системы пластин до торцевой части стенок выходного канала (a) и угол среза торцевой части стенок выходного

канала (φ). Коллектор имел плоское днище.

Скорость воды в каналах системы пластин измеряли датчиком типа микротурбины. Характер течения воды изучали путем фотографирования плавающих на поверхности воды элементов бумаги диаметром $1,5 \div 2,0$ мм, подаваемых во входные каналы.

В плоской РКС при определении относительных площади вихревой зоны в коллекторе (\hat{f}_v) и суммарной ширины каналов системы пластин (\hat{s}) использовали соответственно возведенную во вторую степень ширину системы пластин (L) и удвоенный определяющий размер входной части коллектора ($2\delta_0$).

Для характеристики неравномерности распределения относительной скорости воды использован коэффициент неравномерности (η), представлявший собой разность между максимальным и минимальным значениями скорости.

В результате исследования гидродинамики проточной части РКС установлено следующее.

Профиль относительного расхода воздуха (\hat{q}) в поперечном сечении трубного пучка, коэффициент неравномерности распределения расхода (η) и коэффициент сопротивления коллектора ($\zeta_{1,3}$) зависели от условий подвода воздуха в боковой канал.

В РКС с идентичными по периметру условиями подвода воздуха в боковой канал при $\hat{H} = 6,9$, числе Рейнольдса в трубном пучке (Re_3), равном $1,8 \cdot 10^4$, и коэффициенте гидравлического сопротивления выходной части РКС ($\zeta_{3,4}$), равном 13,3, распределение расхода \hat{q} было практически осесимметричным относительно продольной оси РКС (рис.2а). Максимальные расходы \hat{q} имели место в центральной части трубного пучка, а минимальные – на его периферии. Наличие относительно малых расходов \hat{q} на периферии трубного пучка обусловлено образованием на входе в периферийные трубы вихревой зоны, возникшей в результате резкого поворота в коллекторе части струи, двигавшейся с относительно высокой скоростью.

В РКС с подводом воздуха через две диаметрально противоположные идентичные четверти проходного сечения бокового канала при $\hat{H} = 3,1$; $Re_3 = 1,39 \cdot 10^4$ и $\zeta_{3,4} = 13,4$ и распределение расхода \hat{q} было несимметричным относительно про-

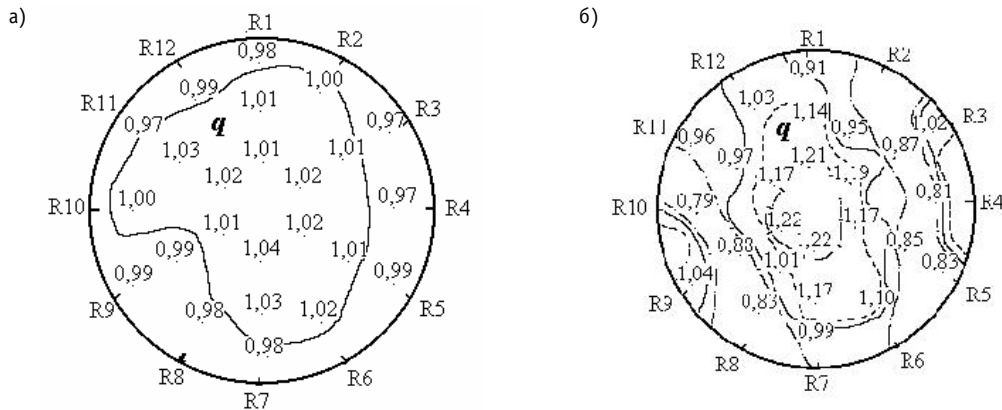


Рис. 2. Профили относительного массового расхода воздуха в трубном пучке: а – равномерный подвод потока через поперечное сечение бокового канала при $\hat{H}=6,9$; $\zeta_{3,4}=13,3$ и $Re_3=1,8 \cdot 10^4$; б – подвод потока через две диаметрально противоположные идентичные четверти проходного сечения бокового канала при $\hat{H}=3,1$; $\zeta_{3,4}=13,4$ и $Re_3=1,4 \cdot 10^4$

дольной оси РКС и имело относительно большую неравномерность (рис. 26).

В РКС с равномерным подводом потока воздуха в боковой канал и впуске трассера по радиусу бокового канала при $\hat{H}=6,3$; $\zeta_{3,4}=13,4$ и $Re_3=1,3 \cdot 10^4$ трассер в основном попадал в трубки, лежащие в ближайшем к месту его впуска секторе, и практически не попадал в трубки, расположенные в диаметрально противоположном от места его впуска секторе. При этом в проточной части РКС установлена относительно слабая интенсивность перемешивания потока воздуха.

В опытах на плоской РКС число Рейнольдса во входном канале (Re_1) составляло $(0,83 - 3,22) \cdot 10^4$, а в каналах системы пластин (Re_2) – $(0,61 \div 2,08) \cdot 10^3$.

Траектория течения воды в коллекторе зависит от соотношений размеров δ_1 , H , h и a . В РКС с высотами $\hat{H}=\hat{h}<1$ при расстоянии $\hat{a}=0$ потоки воды поступали в коллектор из входных каналов и двигались навстречу друг другу в зазоре между днищем и системой пластин, распределяясь по ее каналам.

Толщина потоков воды в коллекторе (δ_0) определялась высотой коллектора H . В РКС с $\hat{H}=\hat{h}>1$ при $\hat{a}=0$ или с $\hat{h}<1$ при $\hat{a}>0$ в коллекторе потоки воды двигались вдоль днища навстречу друг другу, в центре его сливались в один поток. Образовавшийся поток по нормали попадал в центральную часть системы пластин, делился на две части, каждая из которых двигалась в направлении периферийных каналов, одновременно распределяясь по каналам системы пластин.

Чем тоньше был поток воды, тем отчетливее проявлялось ее движение вдоль системы пластин. Толщина струи на входе в РКС (δ_0) при первом соотношении размеров коллектора соответствовала ширине входного канала δ_1 , а при втором соотношении – совпадала с высотой h . Течение воды в коллекторе характеризовалось наличием двух симметричных относительно его оси вихревых зон, расположенных на входе в периферийные каналы системы пластин.

Распределения скорости \hat{w} по каналам системы пластин были симметричными относительно продольной оси РКС и имели максимумы и минимумы соответственно в центре и на периферии.

В РКС с $\hat{a}=0$, $\hat{\delta}=0,011$; $\varphi=90^\circ$ и $Re_1=(1,8 \div 3,2) \cdot 10^4$ гидродинамика проточной части РКС определялась не только соотношением высоты коллектора (H) и ширины входного канала (δ_1), но и соотношением суммарной ширины каналов системы пластин (S) и определяющим размером входной части коллектора (δ_0).

При увеличении высоты \hat{H} и расстояния \hat{a} в диапазоне от 0,5 до 2 при ширине каналов $\hat{s} = 2$ изменения коэффициента неравномерности η сопровождались увеличением площади вихревых зон \hat{f}_v и их смещением от системы пластин. При этом гидродинамика проточной части РКС изменялась по различным закономерностям при изменении высоты \hat{H} . При увеличении высоты \hat{H} от 0,5 до 1,0 изменялся характер течения воды в коллекторе и увеличивался коэффициент неравномерности η . При дальнейшем увеличении высот \hat{H} и \hat{h} до 2,0 траектория течения воды практически не изменялась, а коэффициент неравномерности η уменьшался. При увеличении высот \hat{H} и \hat{h} от 2 до 4 при ширине $\hat{s} = 4$ коэффициент неравномерности η уменьшался. При увеличении высот \hat{H} и \hat{h} от 0,25 до 0,5 при ширине $\hat{s} = 4$ площадь практически не изменялась.

При увеличении ширины \hat{s} от 1 до 2 при высоте $\hat{H} = 1$ коэффициент неравномерности η увеличивался, а площадь \hat{f}_v уменьшалась. Аналогичные закономерности изменения для коэффициента неравномерности η отмечены при увеличении ширины \hat{s} в диапазоне от 2 до 4 при высоте $\hat{H} = 2$.

В РКС с высотами $\hat{H} = \hat{h} = 1$, расстоянием $\hat{a} = 0$, шириной $\hat{s} = 2$ и $Re_1 = (2,25 \div 2,75) \cdot 10^4$ гидродинамика проточной части РКС определялась углом скоса торцевых частей (φ) стенок выходного канала.

При увеличении угла φ в диапазоне от 30 до 90° коэффициент неравномерности η уменьшался, а площадь \hat{f}_v увеличивалась при изменении угла φ от 30 до 60° и практически не изменялась при дальнейшем увеличении φ до 90°.

В РКС с толщиной стенок $\hat{\delta} = 0,217$; $\varphi = 60^\circ$ и $Re_1 = (1,9 \div 2,4) \cdot 10^4$ гидродинамика проточной части определялась положением системы пластин в выходном канале. При увеличении расстояния \hat{a} в диапазоне от 0,14 до 0,36 при высоте $\hat{h} = 1$ коэффициент неравномерности η уменьшался, а площадь \hat{f}_v увеличивалась. Изменение расстояния \hat{a} от 0 до 0,36 при высоте $\hat{h} = 0,5$, как и в предыдущем случае, приводило к увеличению площади \hat{f}_v .

Для исследованных РКС увеличение коэффициента неравномерности η происходило за счет увеличения скорости воды в центральных каналах системы пластин и уменьшения ее в периферийных каналах.

Изменение числа Re_1 в диапазоне от $0,84 \cdot 10^4$ до $2,75 \cdot 10^4$ при $\hat{H} = 1$, $\hat{a} = 0$, $\hat{\delta} = 0,011$; $\varphi = 90^\circ$ и $\hat{s} = 1$ практически не влияло на распределение скорости по каналам системы пластин.

ГИДРОДИНАМИКА РКС С ЛОКАЛЬНЫМ БОКОВЫМ ПОДВОДОМ ПОТОКА В КОЛЛЕКТОР

В периферийной части РКС с локальным боковым подводом потока расположены каналы для подвода потока в коллектор, в поворотной части – коллектор, в центральной части – выходной патрубок с выравнивающей и измерительной решетками.

В опытах исследовали два типа цилиндрических РКС (рис. 3).

В РКС первого типа подвод потока осуществляли через входной патрубок, в РКС второго типа – через один дугообразный боковой канал. Продольная ось входного патрубка параллельна продольной оси выходного патрубка. Боковые каналы расположены в плоскости, перпендикулярной продольной оси выходного патрубка.

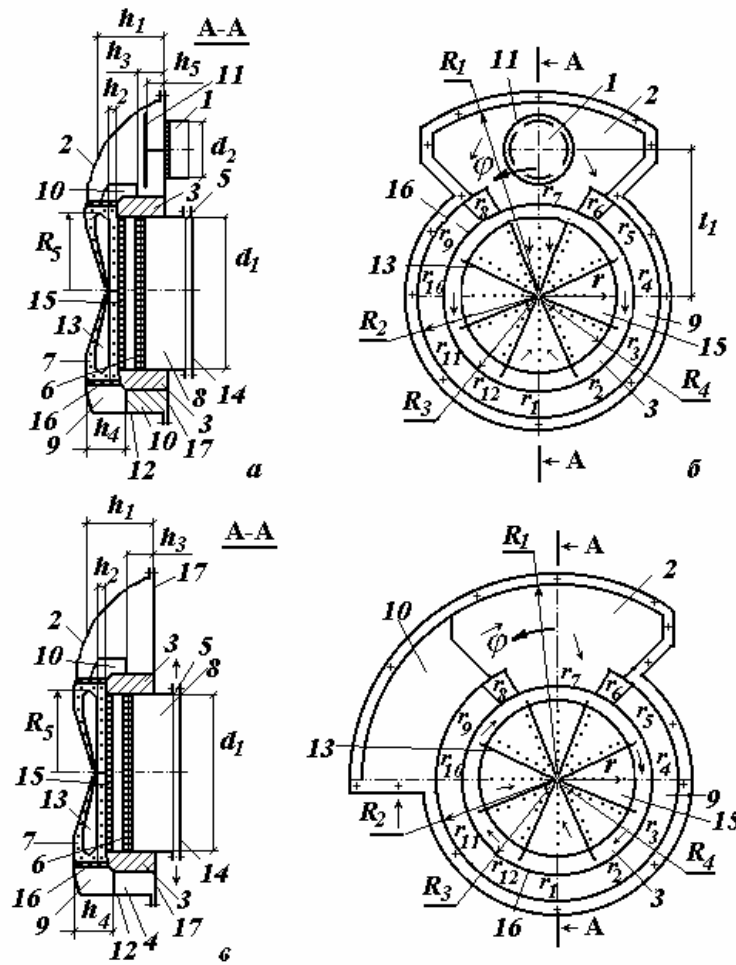


Рис.3. Конструкции цилиндрических РКС с боковым подводом и центральным отводом потока через выравнивающую решетку: а и б – РКС первого типа; в и г – РКС второго типа; а, в – вид на РКС со стороны дна; б, г – продольное осевое сечение РКС: 1 – входной патрубок; 2 – днище; 3 – вставка; 4 – боковой канал; 5 – цилиндрический зазор; 6 – измерительная решетка; 7 – коллектор; 8 – выходной патрубок; 9 – раздающий канал; 10 – вытеснитель; 11 – распределитель; 12 – корпус; 13 – рассекаль; 14 – отбойник; 15 – выравнивающая решетка; 16 – перфорированная обечайка; 17 – крышка

В опытах воздух из контура аэродинамического стенда через входной патрубок (РКС первого типа) или через боковой канал (РКС второго типа) выходил в коллектор. Для РКС двух типов траектории дальнейшего движения потока идентичны. Из коллектора поток последовательно проходил через отверстия выравнивающей и измерительной решеток, попадал в выходной патрубок и через цилиндрический зазор между торцевой частью выходного патрубка и отбойником выходил из РКС.

Все типы РКС имели следующие относительные размеры: $\hat{d}_2 = 0,5$; $\hat{h}_3 = 0,175$; $\hat{h}_5 = 0,12$; $\hat{l}_1 = 0,96$; $\hat{R}_1 = 2,57$; $\hat{R}_2 = 0,886$; $\hat{R}_3 = 0,66$; $\hat{R}_4 = 0,51$; $\hat{R}_5 = 0,53$. При определении относительных размеров РКС в качестве масштабного фактора использован внутренний диаметр выходного патрубка (d_1). При этом средний коэффициент пористости перфорированной обечайки (ϵ) составлял 0,39. Причем от места входа в коллектор до

наиболее удаленной от него части коллектора коэффициент ϵ увеличивался с 0,20 до 0,59.

Датчики статического давления установлены во входном патрубке и выходном патрубке (в полости между выравнивающей и измерительной решетками).

В отверстия измерительной решетки выведены плоские датчики скорости. На каждом из 12 радиусов, расположенных с равномерным шагом по углу, установлено по семь датчиков, включая датчик в центре решетки.

В опытах исследовали две плоские РКС, имитировавшие половину продольного осевого сечения цилиндрической РКС, проходящего через осевую линию входного патрубка. В плоских РКС цилиндрические элементы проточной части РКС заменяли плоскими каналами, образованными пластинами одинаковой высоты, у которых верхние торцы свободны, а нижние торцы размещены на общем основании.

Проточная часть РКС всех типов состояла из входного канала, имитировавшего входной патрубок, коллектора, шести каналов системы пластин, имитировавшей выравнивающую решетку, и выходного канала. Каналы системы пластин образованы системой вертикальных параллельных пластин.

Конструкции плоских РКС первого и второго типов соответствовали конструкциям вар.2 и 1 цилиндрической РКС первого типа.

В опытах вода из раздаточного коллектора гидрлотка попадала во входной канал РКС, поступала в коллектор, распределялась по каналам системы пластин и через боковой канал выходила в сборный коллектор гидрлотка.

Гидравлические и конструктивные характеристики проточной части цилиндрических РКС рассчитывали следующим образом.

Определение коэффициента гидравлического сопротивления участка проточной части между входным каналом и выходным патрубком ($\zeta_{1,2}$) и участка проточной части между выходным патрубком и помещением стендового зала ($\zeta_{2,3}$) выполняли с использованием средней скорости воздуха в выходном патрубке. При определении относительного коэффициента гидравлического сопротивления коллектора ($\hat{\zeta}_{1,2}$) в качестве масштабного фактора принят коэффициент гидравлического сопротивления ζ_0 . Для РКС первого и второго типов в качестве коэффициента ζ_0 приняты коэффициенты гидравлического сопротивления $\zeta_{1,2}$, полученные соответственно для вар. 1 и 5.

Коэффициент неравномерности распределения относительного массового расхода воздуха в измерительной решетке (η) представлял собой разницу между максимальным и минимальным значениями относительного расхода.

В результате исследования гидродинамики цилиндрической РКС первого типа установлено следующее.

При подводе потока в коллектор без дополнительных конструктивных элементов через входной патрубок (вар. 1) при $\zeta_{2,3} = 91,6$ и $Re_2 = 5,14 \cdot 10^5$ распределения относительной скорости (\hat{w}) были относительно симметричными относительно центра измерительной решетки (рис. 4а), а коэффициенты η и $\hat{\zeta}_{1,2}$ составляли соответственно 0,38 и 1,00.

При размещении в РКС без дополнительных конструктивных элементов (вар. 1) распределителя (вар. 2) при $\zeta_{2,3} = 91,6-92,8$ и $Re_2 = (4,82-5,14) \cdot 10^5$ уменьшение коэффициента неравномерности η в 1,22 раза сопровождалось увеличением коэффициента $\hat{\zeta}_{1,2}$ в 1,40 раза.

При установке в РКС без дополнительных конструктивных элементов (вар.1) распределителя, перфорированной обечайки и рассекателя на расстоянии $\hat{h}_2 = 0,009$ (вар.3) при $\zeta_{2,3} = 92,8-97,4$ и $Re_2 = (4,50-5,14) \cdot 10^5$ коэффициент η практически не изменялся, а коэффициент $\hat{\zeta}_{1,2}$ увеличивался примерно в 1,64 раза.

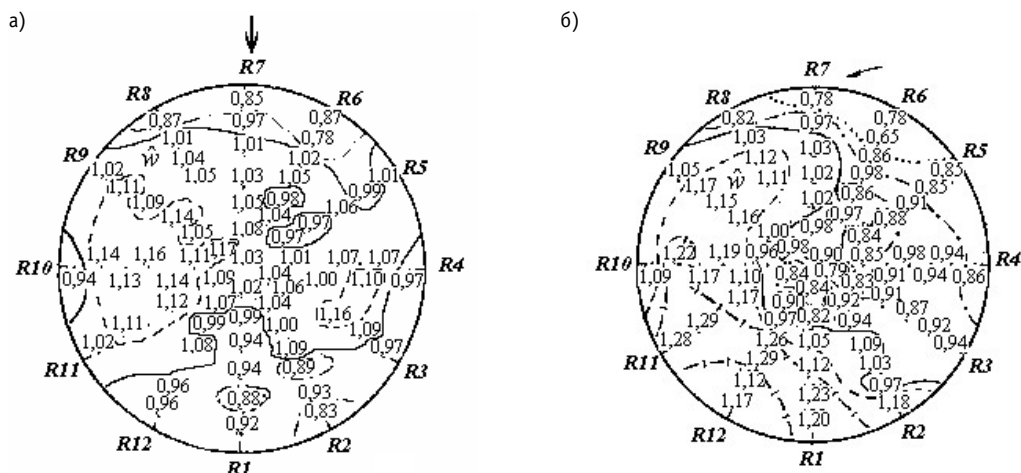


Рис.4. Распределения относительной скорости потока в каналах измерительной решетки для различных вариантов: **а** – РКС первого типа вар.1. ($Re_2=5,14 \cdot 10^5$; $\zeta_{2,3} = 91,6$); **б** – РКС второго типа вар.5 ($Re_2=2,56 \cdot 10^5$; $\zeta_{2,3} = 103,5$)

При размещении в РКС с распределителем (вар. 2) перфорированной обечайки и рассекателя (вар.3) при $\hat{h}_2 = 0,009$, $\zeta_{2,3} = 92,8-97,4$ и $Re_2=(4,50-4,82) \cdot 10^5$ коэффициенты η и $\hat{\zeta}_{1,2}$ увеличивались соответственно в 1,13 и 1,17 раза.

В РКС с распределителем, перфорированной обечайкой и рассекателем при $\hat{h}_2=0,02$ и $Re_2=(4,58-4,62) \cdot 10^5$ (вар. 4) при уменьшении коэффициента $\zeta_{2,3}$ от 97,7 до 4,2 коэффициенты η и $\hat{\zeta}_{1,2}$ увеличивались соответственно в 1,42 и 1,02 раза.

В РКС с распределителем, перфорированной обечайкой и рассекателем при $\hat{h}_2=0,009$ и $\zeta_{2,3} = 94,7-97,4$ (вар. 3) уменьшение числа Re_2 от $4,5 \cdot 10^5$ до $1,64 \cdot 10^5$ сопровождалось уменьшением коэффициентов η и $\hat{\zeta}_{1,2}$ соответственно в 1,09 и 1,03 раза.

Из четырех исследованных конструкций РКС первого типа оптимальное сочетание гидродинамических характеристик имела проточная часть РКС вар. 1.

В результате исследования гидродинамики проточной части цилиндрической РКС второго типа установлено следующее.

При подводе потока в коллектор без дополнительных конструктивных элементов через боковой канал (вар. 5) при $\zeta_{2,3}=103,5$ и $Re_2 = 2,56 \cdot 10^5$ отсутствовала симметрия распределения скорости, свидетельствующая, вероятно, о круговой закрутке потока в коллекторе (рис. 4б). В РКС коэффициенты η и $\hat{\zeta}_{1,2}$ составляли соответственно 0,64 и 5,01.

При установке в РКС без дополнительных конструктивных элементов (вар. 5) перфорированной обечайки и рассекателя (вар. 6) при $\zeta_{2,3} = 90,5-103,5$ и $Re_2=(2,46-2,46) \cdot 10^5$ отмечено снижение коэффициента η в 1,28 раза и увеличение коэффициента $\hat{\zeta}_{1,2}$ в 1,14 раза.

В результате исследования гидродинамики проточной части плоских РКС установлено следующее.

Характер течения воды в РКС, распределение относительной скорости (\hat{w}) и коэффициенты неравномерности этих распределений (η) определялись конструкцией РКС.

В РКС первого и второго типов распределения скорости \hat{w} по каналам системы пластин были неравномерными. При этом в РКС первого и второго типов максимальная скорость отмечена соответственно в периферийных и центральных каналах системы пластин. В РКС второго типа имело место относительно равномерное распределение

скорости \hat{w} .

В РКС второго типа без дополнительных конструктивных элементов на входе в периферийные каналы системы пластин и под торцом стенки, разделяющей подводящий и отводящий канал, зафиксированы вихревые зоны.

В РКС первого типа с распределителем, кроме двух упомянутых вихревых зон, имела место третья зона, расположенная в зазоре между днищем и распределителем.

Из двух исследованных РКС проточная часть РКС второго типа без дополнительных конструктивных элементов имела наиболее равномерное распределение скорости \hat{w} по каналам системы пластин. Коэффициент η при этом составлял 0,75.

В результате исследований установлено, что распределение скорости по каналам системы пластин плоской РКС первого типа с распределителем при $Re_2=0,79 \cdot 10^4$ и по радиусу измерительной решетки цилиндрической РКС (вар.2) при $Re_2=0,79 \cdot 10^4$ качественно совпадали друг с другом. Аналогичный факт установлен и при сравнении друг с другом распределений \hat{w} по каналам системы пластин плоской РКС второго типа при $Re_2=0,79 \cdot 10^4$ и по радиусу измерительной решетки цилиндрической РКС (вар. 1) при $Re_2=5,14 \cdot 10^5$. Таким образом, результаты по распределению скорости \hat{w} по каналам системы пластин могут быть использованы для приближенной оценки характера распределения скорости по радиусу измерительной решетки в цилиндрической РКС идентичной конструкции.

Литература

1. Кузнецов Н.М., Наседкин С.П., Демура В.Т. К вопросу о расчете кругового раздаточного коллектора//Теплообмен в энергооборудовании АЭС. – Л., 1986. – С. 137-143.
2. Кумаев В.Я., Леончук М.П., Швецов Ю.Е., Дворцова Л.И. Расчет течения теплоносителя в напорном коллекторе ядерного реактора/Препринт ФЭИ-1674. – Обнинск: ФЭИ, 1985.
3. Номофилов Е.В., Романова Т.М. Исследование некоторых особенностей течения жидкости в прямоугольном и цилиндрическом раздаточном коллекторах/Препринт ФЭИ-647. – Обнинск: ФЭИ, 1975.
4. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1960.
5. Габрианович Б.Н., Дельнов В.Н. Гидродинамические неравномерности теплоносителя на входе в активную зону ядерного реактора, обусловленные коллекторным эффектом//Атомная энергия (в печати).
6. Кузнецов Н.М., Наседкин С.П., Демура В.Т. Исследование взаимодействий струйных и вихревых течений в опускном канале и напорной камере реактора//Теплообмен в энергооборудовании АЭС. – Л., 1986. – С. 119-124.
7. Меерович И.Г., Мучник Г.Ф. Гидродинамика коллекторных систем. – М.: Наука, 1986.
8. Калинин Р.И., Демура В.Т. Гидродинамика теплообменных аппаратов с распределенным подводом теплоносителя/Сб. докладов Межотраслевой конф. «Теплофизические исследования – 82». – Обнинск, 1983. – С. 148-156.
9. Кумаев В.Я., Тревгода М.М., Ипатов Г.Ф. и др. Экспериментальный стенд для исследования гидродинамических характеристик входных устройств ядерных реакторов/Препринт ФЭИ-1562. – Обнинск: ФЭИ, 1984.
10. Гусев Б.Д., Калинин Р.И., Благовещенский А.Я. Гидродинамические аспекты надежности современных энергетических установок. – Л.: Энергоатомиздат (Ленингр. отд-е), 1989.
11. Олейник В.Н., Лимарь Н.Н. Определение параметров потока в плоском раздаточном коллекторе /Тр. Ленингр. инст-та водного транспорта. – Вып. 162. – Л.: Транспорт, 1978.
12. Фомичев М.С. Экспериментальная гидродинамика ЯЭУ. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
13. Митенков Ф.М., Головкин В.Ф., Ушаков П.А., Юрьев Ю.С. Проектирование теплообменных аппаратов АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1966.
14. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975.

15. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы)/Под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

16. Габрианович Б.Н., Дельнов В.Н. Исследование перемешивания теплоносителя в раздающих коллекторных системах быстрых реакторов и ВВЭР//Атомная энергия. – 1994. – Т. 77. – Вып.5. – С. 340-344.

17. Безруков Ю.А., Драгунов Ю.Г., Логвинов С.А., Ульяновский В.Н. Исследование перемешивания потоков теплоносителя в корпусе ВВЭР//Атомная энергия. – 2004. – Т.96. – Вып.6. – С.432-440.

18. Габрианович Б.Н., Рухадзе В.К., Дельнов В.Н. Методика исследования процессов перемешивания и времени движения теплоносителя в теплообменном оборудовании с использованием метода галоидного трассера//Теплоэнергетика. – 1995. – № 7. – С.60-64.

Поступила в редакцию 1.09.2006

Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 10 pages, 2 tables, 8 illustrations. – References – 7 titles.

Results of hydrodynamic and thermal experiments on the models of window target of accelerator driven system carried out in the State Scientific Center of Russian Federation – Institute for Physics and Power Engineering are presented in the paper.

In real facility lead-bismuth flow should provide the needed heat removal from the membrane, as well as from the target volume. The target is an annular channel, in which coolant flow turns through 180 degrees near the membrane and enters the central tube with the distributing grid installed.

Hydrodynamic measurements were performed in air test facility. Flow velocity was measured with the use of hot wire anemometers; flow rate was controlled by specially contoured nozzles, pressure drop – by micro manometers and electrical converters. Temperature fields were measured by chromel-copel thermocouples.

Eutectic sodium-potassium alloy was used as a coolant in the thermal model. Temperature field in the coolant was controlled by mobile thermocouple probe, temperature at the membrane surface was measured by mobile thermocouple.

The paper also presents results of benchmark problems on the target model heat transfer. Specialists from Japan, Spain, Italy, Russia, and China participated in the benchmark.

The data obtained in experiments and calculations may be used in improvement of target structure, in verification of numerical codes, in analysis of thermal stresses and strength characteristics of structural elements.

УДК 621.039.534

Hydrodynamics of Header Systems of Nuclear Power Plants\B.N. Gabrianovich, V.N. Del'nov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 9 pages, 3 illustrations. – References – 18 titles.

Experimental studies on hydrodynamics of flowing part of header systems of nuclear power plants were carried out. The results of these studies on cylindrical and plane distributing header systems of different types are presented.

УДК 621.039.76

Problems and Approaches to Management of Spent Nuclear Fuel of Liquid-Metal-Coolant Reactors of Nuclear Submarines\A.V. Zrodnikov, A.N. Zabudko, S.V. Ignatiev, S.A. Nikolaev, D.V. Pankratov, I.E. Somov, G.P. Suvorov, G.I. Toshinskiy, Yu.G. Dragunov, V.S. Vakhrushin, V.S. Stepanov, S.K. Trantin, V.A. Vasilenko, V.P. Zhuravlev, B.V. Filatov, R.D. Filin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 10 pages, 2 illustrations. – References – 13 titles.

The problems on treatment of liquid metal cooled reactor spent fuel were considered and main approaches to solve them were formulated. The latter can be realized as an independent projects to be funded through Russian governmental budget, as well bilateral and multilateral funding by countries-donors within international collaboration on complex utilization of nuclear submarines and rehabilitation of radiation contaminated sites at North-West region of Russian Federation.

УДК 621.039.73

Immobilization of High-active Wastes into Mineral-like Materials by SHS Process\E.E. Konovalov, S.V. Yudinsev, B.S. Nikonov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 11 pages, 3 tables, 6 illustrations. – References – 11 titles.

Experimental investigations have been carried out on high temperature treatment of materials (modeling different types of high active wastes) with incorporation of radionuclides in the