

ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ КВАЗИОДНОМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ДВУХФАЗНЫХ НЕРАВНОВЕСНЫХ ПОТОКОВ. ОБОБЩЕНИЕ ДЛЯ ТЕЧЕНИЙ С НЕМОНОТОННЫМ ПРОФИЛЕМ ПАРАМЕТРОВ

Ю.Н. Корниенко

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



В работе получены обобщенные иерархически замкнутые аналитические зависимости для параметров распределений C_{ks} квазиодномерной формы уравнений законов сохранения на примере модели потока дрейфа для двухфазных неравновесных потоков с неравномерным профилем параметров. При выводе квадратур и проведении количественных оценок использованы метод суперпозиции и допущение о справедливости степенных аппроксимаций профилей локальных параметров фаз. Представлены свойства дополнительности и зеркальной симметрии параметров распределений для течений с неравномерным профилем параметров.

ВВЕДЕНИЕ

Один из эффективных путей совершенствования одномерных моделей термодинамики двухфазных потоков заключается в учете локальных профилей переменных на основе интегральных параметров распределений C_{ks} , являющихся коррективами к соответствующим компонентам законов сохранения. Наиболее полно такой подход представлен в [1,2].

Со времени появления первых публикаций по параметрам распределений (ПР) для двухфазных неравновесных течений [3] благодаря их теоретической последовательности и универсальности они получили широкое признание и применение во многих экспериментальных и теоретических разработках [4-10] как количественные характеристики радиальной распределенности локальных паросодержаний, скоростей и энтальпий фаз в одномерных моделях. При этом построение полуэмпирических и аналитических [1, 3, 4] зависимостей для них осуществлялось при допущении о монотонном изменении исследуемых параметров по поперечному сечению каналов простой геометрической формы: плоские щели и круглые трубы, тогда как в реальных условиях профили переменных могут иметь немонотонный характер.

Настоящая работа, развивая подходы, предложенные в [1-5, 7- 10], представляет метод обобщения аналитических зависимостей для параметров распределений при немонотонном характере изменения паросодержаний и энтальпий фаз для течений

двухфазных потоков, что позволяет вывести и обосновать ряд новых, полезных в расчетной и экспериментальной практике свойств ПР. Основная идея предлагаемого подхода заключается в последовательном применении метода суперпозиции для искомых переменных при рассмотрении различных неоднородностей рассматриваемых переменных в каналах простой геометрии. Список основных обозначений приведен в [1], остальные представлены по тексту работы.

1. ОБОБЩЕННЫЕ АНАЛИТИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ НЕМОНОТОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИСТИННОГО ОБЪЕМНОГО ФАЗОСОДЕРЖАНИЯ И ЭНТАЛЬПИЙ ФАЗ

Имевшиеся в литературе рекомендации [3-5] для расчетов коэффициентов осреднения удовлетворительно описывают C_{ks} для монотонных выпуклых и вогнутых профилей истинного объемного паросодержания в поперечном сечении канала. Однако в экспериментах часто наблюдается немонотонный профиль истинного объемного паросодержания как в адиабатных условиях [6], так и в случае, например, кипения с недогревом. Кроме того, немонотонный характер изменения в поперечном сечении канала могут иметь и другие параметры, в частности энтальпии фаз (см. рис. 1а и 1б). В этой связи становится актуальным получение полного набора параметров распределений для уравнений законов сохранения как в случае немонотонных профилей истинного объемного паросодержания, так и энтальпий фаз.

Впервые аналитические зависимости для описания параметров распределений C_{ks} в случае немонотонных распределений истинного объемного паросодержания были предложены в [7, 8]. Основная идея методики заключалась в аппроксимации немонотонного распределения с помощью двух («вложенных-в» друг в друга) монотонных профилей с разными показателями степени, «сшитых» в граничной точке их сопряжения R_Γ . Тогда общее определение параметров распределений C_{ks} модели вложенных профилей записывается в виде

$$C_{ks} = \frac{\langle \varphi_{ks} j_s \rangle}{\langle \varphi_{ks} \rangle \langle j_s \rangle} \Bigg|_{\text{при осевой симметрии}} = \frac{\int_0^{R_\Gamma} \varphi_{ks} j_s \gamma^{R_\gamma-1} dR + \int_{R_\Gamma}^1 \varphi_{ks} j_s \gamma^{R_\gamma-1} dR}{\left(\int_0^{R_\Gamma} \varphi_{ks} \gamma^{R_\gamma-1} dR + \int_{R_\Gamma}^1 \varphi_{ks} \gamma^{R_\gamma-1} dR \right) \cdot \left(\int_0^{R_\Gamma} j_s \gamma^{R_\gamma-1} dR + \int_{R_\Gamma}^1 j_s \gamma^{R_\gamma-1} dR \right)}, \quad (1)$$

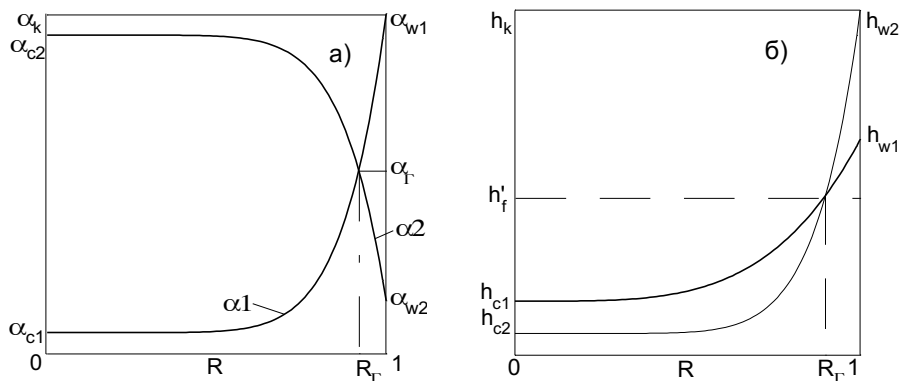


Рис.1. Модель вложенных профилей:

а) фазосодержаний $\alpha = \begin{cases} \alpha_{c1} + (\alpha_{w1} - \alpha_{c1})R^{n_1}, & 0 \leq R \leq R_\Gamma; \\ \alpha_{c2} + (\alpha_{w2} - \alpha_{c2})R^{n_2}, & R_\Gamma \leq R \leq 1 \end{cases}$; б) энтальпий $h = \begin{cases} h_f = h_{c1} + (h_{w1} - h_{c1})R^{h_1}, & 0 \leq R \leq R_\Gamma; \\ h_g = h_{c2} + (h_{w2} - h_{c2})R^{h_2}, & R_\Gamma \leq R \leq 1 \end{cases}$

Пример расчета показателей степени вынесен в приложение.

где R_Γ – граница между зонами монотонного изменения переменных.

Это, с одной стороны, позволило использовать полученный до этого большой объем аналитических соотношений и рекомендаций, а с другой – оставаясь в рамках привычных, классических представлений, описать и проанализировать необычные, немонотонные профили.

Возможны различные комбинации распределений профилей $\alpha(R)$ и $h_k(R)$ в зависимости от конкретных значений переменной на стенке (w) и в ядре (c) потока для первого – внутреннего и второго – внешнего профилей (рис.1). Дальнейший ход анализа ограничен рассмотрением лишь существенно немонотонного вида профиля фазосодержания (конкретнее, паросодержания) – вогнуто-выпуклого (см. рис. 1а). Такой профиль наблюдается в ряде экспериментов с седлообразными профилями паросодержания, а также его следует ожидать в дисперсно-кольцевых потоках с высокой плотностью теплового потока на стенке канала для влагосодержания.

Среднее по сечению истинное объемное фазосодержание после интегрирования профиля $\alpha(R)$ по площадям внутренней и внешней зон (см. обозначения рис. 1а) имеет вид

$$\langle \alpha_k^B \rangle = \frac{n_2 \alpha_{kc2} + \gamma \alpha_{kw2}}{n_2 + \gamma} + \left(\frac{\alpha_{kc1} - \alpha_{kc2}}{\gamma} + \frac{\alpha_{k\Gamma} - \alpha_{kc1}}{n_1 + \gamma} - \frac{\alpha_\Gamma - \alpha_{kc2}}{n_2 + \gamma} \right) \gamma R_\Gamma^\gamma, \quad (2)$$

Распространение этой идеи – сшивки двух монотонных профилей – для описания немонотонного распределения энтальпий фаз смеси проиллюстрировано на рис. 1б для случая кипения с недогревом, когда в пристенной (второй) зоне сосредоточена паровая фаза с энтальпией h_g , а внутренняя зона не догрета до насыщения. Возможны и другие виды распределений профилей энтальпий в зависимости от конкретных режимов течения и граничных условий. После интегрирования профиля $h(R)$ имеем соотношение для средней по сечению энтальпии [2], совпадающее по форме с (2).

Применение модели потока дрейфа со степенной аппроксимацией профиля, подобной [1], обеспечивает преемственность результатов модели «вложенных» профилей для немонотонных распределений, с полученными ранее [3-5] зависимостями для монотонных профилей.

1.1. Квадратурное представление параметров C_{ks}^B для немонотонных профилей

В зависимости от граничных условий возможно наличие немонотонных профилей энтальпий для какой-либо из фаз, а не только в целом для смеси. Именно для этого общего случая представлены определения и аналитические зависимости в табл. 1.

Подстановка степенных аппроксимаций (рис. 1а, б) для немонотонных профилей $\alpha(R)$ и $h(R)$ в определение (1) для C_{ks} приводит к интегралам от линейной комбинации дифференциальных биномов [11], имеющих квадратурные решения и приведенных в третьей колонке табл. 1. При выводе зависимостей для коэффициентов C_{ks} было пренебрежено работой проталкивания, а при выводе C_{k2} и C_{k3} пренебрежено профилем w_{kj} по сечению канала. В таблице 1 для указания немонотонности по h параметры распределений помечены верхним индексом h , например, C_{kh}^{Bh} . Аналитические

соотношения для параметров распределений, приведенные в табл. 1, обобщают C_{ks}^B на случай немонотонного распределения локальных параметров, обеспечивая возможность построения необходимых замыкающих соотношений и проведения численных оценок.

Таблица 1

Квадратурные (аналитические) формы параметров распределений для одномерных уравнений законов сохранения двухфазного потока с немонотонными профилями истинного объемного содержания фазы k (энтальпии фазы k) [2]

Наименование коэффициента осреднения	Определение параметра	Аналитическая зависимость	Соотношения дополнителности
Параметр распределения двухфазного потока для фазы k	$C_{k0}^B = \frac{\langle \alpha_k^B j \rangle}{\langle \alpha_k^B \rangle \langle j \rangle}$ $C_{kh}^{Bh} = \frac{\langle h_k^B j \rangle}{\langle h_k^B \rangle \langle j \rangle}$	$C_{k0}^B = 1 + \frac{\gamma}{m} \left(1 - F_m^\alpha \frac{m + \gamma}{\gamma} \right)$ $C_{kh}^{Bh} = 1 + \frac{\gamma}{m} \left(1 - F_m^h \frac{m + \gamma}{\gamma} \right)$	$1 \equiv \sum_{k=1}^2 C_{k0} \langle \alpha_k \rangle$
Параметр распределения энтальпии фазы k	$C_{k1}^{B\alpha} = \frac{\langle \alpha_k^B h_k \rangle}{\langle \alpha_k^B \rangle \langle h_k \rangle}$ $C_{k1}^{Bh} = \frac{\langle \alpha_k h_k^B \rangle}{\langle \alpha_k \rangle \langle h_k^B \rangle}$	$C_{k1}^{B\alpha} = 1 + \frac{\gamma}{l_k} \left(1 - F_l^\alpha \frac{l_k + \gamma}{\gamma} \right) \left(1 - \frac{h_{kw}}{\langle h_k \rangle} \right)$ $C_{k1}^{Bh} = 1 + \frac{\gamma}{n_k} \left(1 - F_{n_k}^h \frac{n_k + \gamma}{\gamma} \right) \left(1 - \frac{\alpha_{kw}}{\langle \alpha_k \rangle} \right)$	
Параметр распределения потока энтальпии фазы k	$C_{k2}^{jB\alpha} = \frac{\langle \alpha_k^B h_k j \rangle}{\langle \alpha_k^B \rangle \langle h_k \rangle \langle j \rangle}$ $C_{k2}^{jBh} = \frac{\langle \alpha_k h_k^B j \rangle}{\langle \alpha_k \rangle \langle h_k^B \rangle \langle j \rangle}$	$C_{k2}^{jB\alpha} = 1 + (C_{kh}^{B\alpha} - 1) \frac{m + \gamma}{l_k} \left[1 - (F_l^\alpha - F_{l_k+m}^\alpha) \frac{(l_k + m + \gamma)(l_k + \gamma)}{\gamma m C_{k0}^B} \right]$ $C_{k2}^{jBh} = 1 + (C_{kh}^{Bh} - 1) \frac{m + \gamma}{n_k} \left[1 - (F_{n_k}^h - F_{n_k+m}^h) \frac{(n_k + m + \gamma)(n_k + \gamma)}{\gamma m C_{kh}^{Bh}} \right]$	
Динамический параметр распределения фазы k	$C_{k3}^{jB} = \frac{\langle \alpha_k^B j^2 \rangle}{\langle \alpha_k^B \rangle \langle j \rangle^2}$ $C_{k3}^B = \frac{\langle \alpha_k^B W_k^2 \rangle}{\langle \alpha_k^B \rangle \langle W_k \rangle^2}$	$C_{k3}^{jB} = \left(\frac{m + \gamma}{m} \right)^2 (1 - 2F_m^{B\alpha} + F_m^{B\alpha})$ $C_{k3}^B = \frac{C_{k3}^{jB} + 2C_{k0}^B \tilde{W}_{kj} + \tilde{W}_{kj}^2}{(1 + W_{kj})^2}$	$1 \equiv \sum_{k=1}^2 C_{k3}^j \langle \alpha_k \rangle$
Относительная скорость всплытия	$\tilde{W}_{kj} = \frac{\langle \alpha_k^B W_{kj} \rangle}{\langle \alpha_k^B \rangle \langle j \rangle}$	$\tilde{W}_{kj} = \frac{b[1 - \langle \alpha_g^B \rangle (1 - \rho^*) C_{g0}^B]}{1 - D + b \langle \alpha_g^{B\alpha} \rangle (1 - \rho^*)}$; $b = \frac{\tilde{W}_{kj} \rho_f}{\langle \rho W \rangle}$; $\rho^* = \frac{\rho_g}{\rho_f}$	
$\varepsilon_k^\alpha = \begin{cases} m, & \text{для } C_{k0}^B; l_k + m, & \text{для } C_{k2}^{B\alpha} \\ l_k, & \text{для } C_{k1}^{B\alpha}; 2m, & \text{для } C_{k3}^{B\alpha} \end{cases}$ $\varepsilon_k^h = \begin{cases} m, & \text{для } C_{kh}^{Bh}; n_k + m, & \text{для } C_{k2}^{Bh} \\ n_k, & \text{для } C_{k1}^{Bh}; 2m, & \text{для } C_{k3}^{Bh} \end{cases}$	$F_{\varepsilon_k}^\alpha = \frac{\gamma}{\langle \alpha_k^B \rangle} \left[\frac{\alpha_{k\alpha 2}}{\xi_k + \gamma} + \frac{\alpha_{k\alpha 2} - \alpha_{k\alpha 2}}{\xi_k + n_2 + \gamma} + \left(\frac{\alpha_{k\alpha 1} - \alpha_{k\alpha 2}}{\xi_k + \gamma} + \frac{\alpha_{k\alpha 1} - \alpha_{k\alpha 1}}{\xi_k + n_1 + \gamma} + \frac{\alpha_{k\alpha 1} - \alpha_{k\alpha 2}}{\xi_k + n_2 + \gamma} \right) R_f^{\varepsilon_k + \gamma} \right]$ $F_{\varepsilon_k}^h = \frac{\gamma}{\langle h_k^B \rangle} \left[\frac{h_{k\alpha 2}}{\xi_k + \gamma} + \frac{h_{k\alpha 2} - h_{k\alpha 2}}{\xi_k + l_2 + \gamma} + \left(\frac{h_{k\alpha 1} - h_{k\alpha 2}}{\xi_k + \gamma} + \frac{h_{k\alpha 1} - h_{k\alpha 1}}{\xi_k + l_1 + \gamma} + \frac{h_{k\alpha 1} - h_{k\alpha 2}}{\xi_k + l_2 + \gamma} \right) R_f^{\varepsilon_k + \gamma} \right]$		

Как это следует из определений параметров распределений C_{ks}^B (см. вторую колонку табл. 1), по своему физическому смыслу они являются мерой отклонения реальных профилей параметров фаз и их потоков от плоских. При этом немонотонность профилей переменных приводит к дополнительным управляющим воздействиям на параметры распределений. Количественной мерой такого отклонения является отличие этих коэффициентов от единицы. Причем для двух зон монотонного изменения переменных даже постоянство параметров в каждой из них не сможет обеспечить равенство единице общего параметра распределения для канала в целом, что очевидно из уравнения (1) при постоянстве профилей переменных в поперечном сечении каждой из зон. Как и в случае монотонных профилей параметров, каждый из коэффициентов C_{ks}^B представляет собой корректив к соответствующей компоненте закона сохранения, учитывающий неоднородный профиль переменной в поперечном сечении канала и ячейки. Таким образом, параметры распределений представляют собой поправки в массы паровой и жидкой фаз, их расходы, инерцию системы, потоки импульса и энергии. Причем, как и для монотонных профилей переменных, при

умеренных скоростях вблизи номинальных режимов работы энергетического оборудования с малой степенью термодинамического и динамического неравновесности фаз эти параметры распределений C_{ks}^B весьма близки к единице и не проявляются ни в расчетных предсказаниях термогидравлических переменных, ни при анализе экспериментов. И, наоборот, при высокой термодинамической и скоростной неравновесности в потоках со значительной неравномерностью профилей их отличие от единицы становится заметным. Такие условия возможны как в стационарных, так и в переходных режимах, а также при кипении с недогревом и закризисном теплообмене.

Одним из наиболее общих свойств системы параметров распределений C_{ks}^B , представленных в табл. 1, является их последовательно усложняющаяся, иерархическая структура, что уже отмечалось для случая монотонных распределений параметров [1]. А именно, в более сложных, представляющих более высокий уровень «свертки», параметрах распределений, таких как C_{k3} и C_{k2} , составными компонентами являются более «простые» – C_{k0} и C_{k1} . Только в данном случае возникают дополнительные параметры R_Γ , α_Γ и другие, связанные с немонотонностью. Однако, как и при монотонных изменениях профилей переменных [1], в свойствах сложных коэффициентов будут проявляться основные черты более простых коэффициентов. Анализ и использование иерархической структуры C_{ks}^B является одним из принципиальных отличий данной работы, обобщающим и углубляющим методики [1, 3-5, 7-9].

Таблица 1, представляя в форме квадратур интегральные аналитические замыкающие соотношения для искомых параметров распределений, демонстрирует указанный иерархический характер и усложняющуюся структуру связей между простыми параметрами распределений C_{k0}^B , C_{kh}^{Bh} и более сложными параметрами, определяющими поправки для компонент переноса импульса и энергии. Основное отличие функциональных форм параметров распределений двухфазных потоков с монотонными и немонотонными профилями параметров фаз (сравните табл. 1 из [1] и табл. 1 данной работы) содержится в «коэффициентах усиления». Если для монотонных профилей переменных коэффициенты усиления являлись просто масштабными множителями, составленными из показателей степеней в профилях переменных, при факторах формы профиля фазосодержания $(1 - \alpha_{kw} / \langle \alpha_k \rangle)$ или энтальпии $(1 - h_{kw} / \langle h_k \rangle)$, то в случае немонотонных профилей переменных коэффициенты усиления $F_{\xi k}^\alpha$ и $F_{\xi k}^{Bh}$ оказываются более сложными, содержащими не только показатели степеней в профилях переменных, но и характерные размеры зон и значения переменных на их границах. Последнее приводит к значительному увеличению числа вводимых параметров при анализах, усложнению и загромождению графических иллюстраций. Поэтому анализ и обсуждение особенностей, связанных с немонотонностью профилей, ограничены рассмотрением параметра распределения фазосодержания для двухфазного потока.

1.2. Параметр распределения фазосодержания двухфазного потока C_{k0}^B

Как видно из табл. 1, параметр распределения фазосодержания двухфазного потока C_{k0}^B так же, как и подобный ему параметр распределения энтальпии фазы k C_{kh}^{Bh} , входит в структуру каждого из параметров распределения, управляя тем самым их характером поведения. Поэтому при анализе и обсуждении их свойств можно ограничиться параметром C_{k0}^B .

Приведенные ниже зависимости C_{k0}^B могут служить основой для анализа поведения и других параметров распределений в общем случае немонотонных профилей. Раскрывая коэффициент усиления $F_{\xi k}^\alpha$ в соответствии с табл. 1, для параметра C_{k0}^B получим обобщение полученного в работе [9] параметра распределения C_0 в виде

$$C_{k0}^B = 1 + \frac{\gamma}{m} \left(1 - \frac{1}{\langle \alpha^B \rangle} \cdot \left\{ \left[\frac{n_1 \alpha_{kc1}}{m + n_1 + \gamma} - \frac{n_2 \alpha_{kc2}}{m + n_2 + \gamma} + \frac{(m + \gamma)(n_2 - n_1) \alpha_{kf}}{(m + n_1 + \gamma)(m + n_2 + \gamma)} \right] R_f^{m+\gamma} + \frac{n_2 \alpha_{kc2} + (m + \gamma) \alpha_{kw2}}{m + n_2 + \gamma} \right\} \right). \quad (3)$$

Параметр распределения C_{k0}^B , как и C_{k0} , по своему физическому смыслу является мерой заполненности профилей концентрации легкой фазы и плотности объемного потока смеси.

Нетрудно убедиться, что в предельных случаях при $R_f \rightarrow 0$ и $R_f \rightarrow 1$ зависимость (3), описывающая влияние вложенных профилей паросодержания, переходит в зависимость для C_0 , выведенную Н. Зубером в [3] для монотонных профилей. Это подтверждает правильность предельного перехода настоящей методики к классической формулировке [3].

В приближении $n_1 = n_2 = n$ после преобразований получаем упрощенный вариант:

$$C_{k0}^B = 1 + \frac{\gamma}{m + n + \gamma} \left\{ \left[1 + \frac{n + \gamma}{m} (1 - R_f^m) \right] \left[1 - \frac{\alpha_{kw2}}{\langle \alpha_k^B \rangle} \right] + \frac{n}{m} \cdot \frac{1 - R_f^m}{1 - R_f^n} \cdot \frac{\alpha_{kw2} - \alpha_{kf}}{\langle \alpha_k^B \rangle} \right\}. \quad (4)$$

Представление зависимости параметра распределения C_{k0}^B от среднего по сечению паросодержания по зависимостям (3) и (4) является важным для анализа характера развития двухфазного потока по длине канала, т.к. при этом очевидно его отличие от единицы, т.е. гомогенной модели течения. В [2] приведены поверхности отклика параметра распределения $C_{g0}^B = C_0^B$, построенные по зависимости (4) при заданных сочетаниях R_f , α_f и при $m=n$. В целом, поверхность и кривые, описывающие такой поток с немонотонным профилем α , близки к соответствующей поверхности и кривым с монотонным профилем, приведенным в [1]. Причем, для потоков с немонотонными профилями α , как и для потоков с монотонными профилями [1], рост скорости смеси, чему соответствует увеличение показателя степени m , приводит к уменьшению градиента $dC_0^B / d\langle \alpha \rangle$.

Сравнение параметров распределений для монотонных и немонотонных профилей паросодержания представляется полезным при разработке, верификации и оценке погрешности (см. приложение и [10]) моделей неравновесных процессов, например, кипения с недогревом.

Для более полного анализа влияния немонотонности в профиле паросодержания введем фактор формы профиля паросодержания в виде разности между двухзонным C_{k0}^B по соотношению (4) и параметром распределения Зубера [3]; его квадратурный вид представлен соотношением

$$\Delta C_{k0}^B \equiv C_{k0}^B - C_{k0} = \frac{\gamma}{2m + \gamma} \left[\frac{m + \gamma}{m} (1 - R_f^m) \left(1 - \frac{\alpha_{w2}}{\langle \alpha \rangle} \right) - \frac{\alpha_f - \alpha_{wf}}{\langle \alpha \rangle} \right]. \quad (5)$$

Для моделирования различного вида профилей введен параметр $\alpha_{wf} = (\alpha_f, \text{ либо } \alpha_{w2})$.

Поверхности отклика фактора формы неравномерного профиля при заданных режимных условиях приведены на рис. 2. Рисунки 2а и 2в, полученные при $\alpha_{w2}=0$, соответствуют адиабатическому течению двухфазного потока с вогнутым профилем газо(паро)содержания, тогда как рис. 2б и 2г относятся к диабатным течениям с ненулевым паросодержанием на стенке (кипение с недогревом). Из попарного сравнения этих рисунков видно, что на рис. 2в и 2г преобладают области с отрицательными значениями фактора формы профиля по сравнению с рис. 2а и 2б. Это указывает на то, что при прочих равных условиях потоки с немонотонными профилями являются более «гомогенными», т.е. для них значения C_0^B ближе к единице, чем в потоках с монотонным вогнутым профилем паросодержания: $C_0 > C_0^B$.

2. ОСНОВНЫЕ ЛЕММЫ О СУПЕРПОЗИЦИИ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЛЯ СЛОЖНЫХ УСЛОВИЙ

Интегрирование плотности объемного потока (или скоростей) и энтальпий фаз, а также фазосодержаний, распределенных по площади поперечного сечения канала, вообще говоря, опирается на преобразование Грина [12] (и его частный случай – теорему о дивергенции Остроградского-Гаусса), т.е. используется основное свойство линейности интеграла о возможности разбиения области интегрирования на зоны (части как функции верхнего предела). Поэтому наиболее последовательное обобщение данного метода основывается на

1) применении принципа суперпозиции при описании полей переменных в выделенных зонах области интегрирования, не обязательно симметричных или концентрических;

2) последующей нормировке выделенных зон и переменных в них.

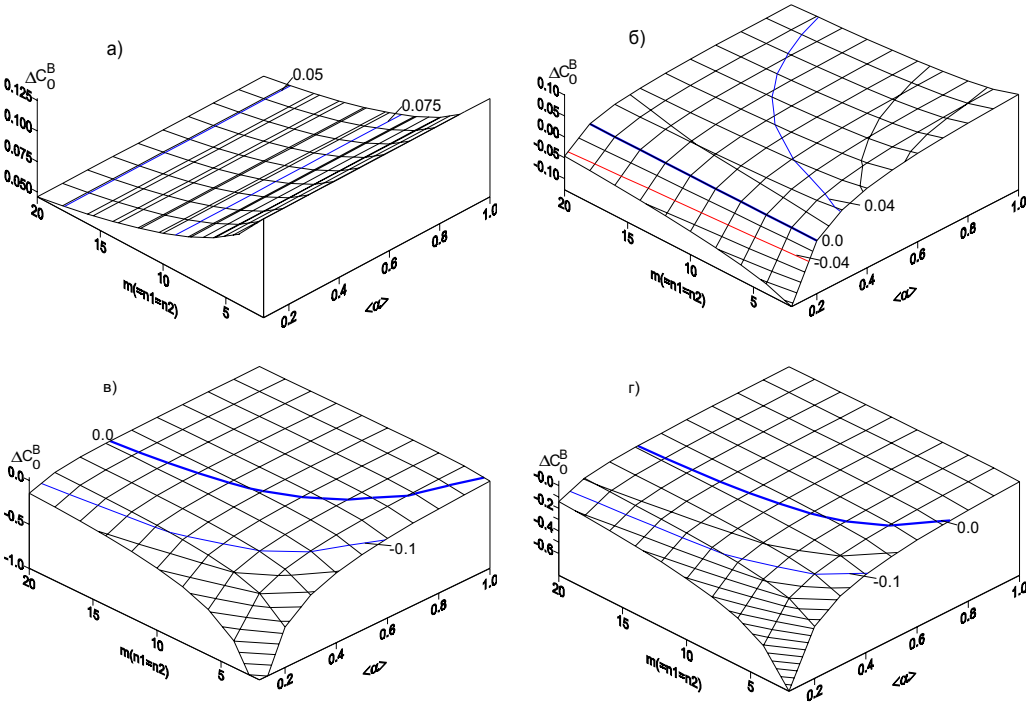


Рис. 2. Фактор неравномерного профиля паросодержания $\Delta C_0^B = C_0^B - C_0$ по соотношению (5) при следующих режимных условиях: $R_1=0.9$; $\alpha_1=0.4$. Для $\alpha_{w1}=\alpha_1$: а) $\alpha_{w2}=0$; б) $\alpha_{w2}=0.2$; для $\alpha_{w1}=\alpha_{w2}$: в) $\alpha_{w2}=0$, г) $\alpha_{w2}=0.2$.

При таких допущениях одномерная модель каждой зоны «индивидуализируется» в виде соответствующих средних значений переменных, параметров распределений и относительной доли ее площади.

Основное достоинство такого подхода заключается в том, что для построения общих параметров распределений в сложных условиях (или по всей области) возможно использование полученных ранее параметров распределений для простых, «элементарных» [1] условий.

Указанное обобщение о суперпозиции параметров распределений в сложных условиях можно сформулировать в виде следующей основной леммы, продолжающей список лемм из [1].

Лемма 1. Общий (N -зонный) параметр распределения C_{ks} любого вида скалярных (монотонных) функций на основе рассмотрения их распределений по составным зонам из общей области интегрирования есть сумма произведений «элементарных» параметров распределений на относительные средние значения функций в зонах и доли их площади:

$$C_{ks}^N = \sum_n^N C_{ksn} \langle \tilde{\varphi}_{ks} \rangle_n \langle \tilde{j}_s \rangle_n \tilde{A}_n. \quad (6)$$

где $\tilde{A}_n \equiv \frac{A_n}{A}$; $\langle \tilde{j} \rangle_n \equiv \frac{\langle j \rangle_n}{\langle j \rangle}$; $\langle \tilde{\varphi}_{ks} \rangle_n \equiv \frac{\langle \varphi_{ks} \rangle_n}{\langle \varphi_{ks} \rangle}$; $C_{ksn} \equiv \frac{\langle \varphi_{ks} j_s \rangle_n}{\langle \varphi_{ks} \rangle_n \langle j_s \rangle_n}$.

Доказательство основано на свойствах суперпозиции и леммах, приведенных в [2]. Для параметра распределения фазосодержания двухфазного потока

$$C_{k0}^N = \sum_n^N C_{k0n} \langle \tilde{\alpha}_k \rangle_n \langle \tilde{j} \rangle_n \tilde{A}_n. \quad (7)$$

Таким образом, общий параметр распределения (в частности фазосодержания (7)) для сложных условий представлен в виде взвешенной суммы произведений параметров распределений по зонам C_{k0n} на соответствующие относительные доли переменных.

2.1. Общий вид соотношений дополнителности для сложных условий

Полученный выше общий вид параметров распределений для сложных (n -зонных) условий указывает на возможность существования соотношений дополнителности и для сложных условий, т.е. соотношений интегральной взаимосвязи и баланса фазовых позонных параметров распределений.

Лемма 2 иллюстрирует свойство дополнителности интегральных эффективных относительных фазосодержаний для сложной N -зонной модели:

$$1 \equiv \sum_{k=1}^2 \langle \alpha_k \rangle \sum_{n=1}^N C_{k0n} \langle \tilde{\alpha}_k \rangle_n \langle \tilde{j} \rangle_n \tilde{A}_n. \quad (8)$$

Доказательство достаточно очевидно и непосредственно следует из алгебраической цепочки преобразований и аддитивности интегральных фазосодержаний [2].

Аналогичное соотношение дополнителности имеет место для динамических параметров фазосодержания

$$1 \equiv \sum_{k=1}^2 \langle \alpha_k \rangle \sum_{n=1}^N C_{k3n} \langle \tilde{\alpha}_k \rangle_n \langle \tilde{j} \rangle_n \tilde{A}_n. \quad (9)$$

Как видно из полученных соотношений (8) и (9) N -зонного канала, они являются «свертками» – интегралами от соответствующих позонных параметров распределе-

ний, которые, в свою очередь, представляют собой эффективные суммы элементарных параметров распределений для плоской щели и круглой трубы. Иными словами, в них также отражается свойство аддитивности эффективных «скольжений» (см. [1]), но уже для N -зонной модели.

Правильным будет также определить это свойство как «суперпозицию» позонных распределений с зонными весовыми коэффициентами, представляющими относительный вклад переменных и площади каждой из зон.

2.2. Альтернативное представление C_{ks}^N для немонотонных профилей переменных

Основная лемма о суперпозиции обеспечивает возможность альтернативного (относительно модели «вложенных» профилей, см. табл. 1) квадратурного представления параметров распределений при немонотонных профилях переменных. Для этого необходимо разбить интегрируемую площадь на зоны (например, две) с монотонным изменением переменных, например, газо(паро)содержания, и определить соответствующие элементарные параметры распределений и весовые множители по зонам. Тогда, например, параметр распределения фазосодержания двухфазного потока по двухзонной модели (2z) предстанет как

$$C_{k0}^{2z} = C_{k01} \langle \tilde{\alpha} \rangle_1 \langle \tilde{j} \rangle_1 \tilde{A}_1 + C_{k02} \langle \tilde{\alpha} \rangle_2 \langle \tilde{j} \rangle_2 \tilde{A}_2. \quad (10)$$

Путем простых алгебраических преобразований его можно привести к виду C_{k0}^B по соотношению (3). Последнее свидетельствует, во-первых, о правильности полученных соотношений, во-вторых, об их эквивалентности и, в-третьих, о том, что модель «вложенных» профилей является частным случаем подхода, основанного на принципе суперпозиции.

Динамический параметр распределения на основе суперпозиции для двухзонной модели имеет вид

$$C_{k3}^{j2z} = C_{k31}^j \langle \tilde{\alpha} \rangle_1 \langle \tilde{j} \rangle_1 \tilde{A}_1 + C_{k32}^j \langle \tilde{\alpha} \rangle_2 \langle \tilde{j} \rangle_2 \tilde{A}_2. \quad (11)$$

Ясно, что для двухзонной модели так же, как и для много- (N) -зонной, существуют соотношения дополненности вида (8) и (9) при $N=2$.

Другими словами, из дополненности локальных и интегральных свойств истинных объемных паросодержаний и при выполнении этих свойств для внутренней и внешней зон поперечного сечения канала с немонотонным профилем следует дополненность их эффективных (т.е. с учетом C_{ks}) интегральных фазосодержаний (как и для монотонного распределения) в форме взаимных произведений фазосодержаний на соответствующие параметры распределений фаз.

В последней колонке табл. 1 квадратурных форм для параметров распределений модели вложенных профилей приведены обсужденные в данном разделе соотношения дополненности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Полученные при допущениях о суперпозиции и степенных аппроксимациях профилей параметров фаз аналитические соотношения для C_{ks} образуют иерархическую структуру взаимосвязей переноса субстанций для двух(или N)-зонной модели уравнений законов сохранения с немонотонным профилем переменных. При этом кинематические параметры распределений простой структуры, такие как C_{k0} и C_{k1} , входят составной частью в более сложные параметры распределений для уравнений переноса энергии C_{k2} импульса C_{k3} с учетом характерных размеров зон и значений переменных на их границах.

2. Как и в случае монотонных профилей переменных [1], леммы о свойствах дополнительности демонстрируют свойство зеркальной симметрии и взаимосвязь фазовых параметров распределений между собой, что является весьма полезным и важным как для квазиодномерных теорий двухфазных течений, так и для их полуэмпирических приложений.

3. В работе аналитически и на численных примерах показано значительное влияние формы профиля паросодержания и границы зон на C_0^B . Продемонстрировано влияние основных переменных двухзонной модели на поведение параметра распределения C_0^B .

4. Предложенные подходы представляют собой основу для разработки новых квазиодномерных моделей двухфазных неравновесных потоков и позволяют проводить как систематический анализ как пределов применимости одномерной теории, так и количественную оценку погрешностей, в том числе и для областей с неоднородным изменением параметров.

ПРИЛОЖЕНИЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТЕПЕНЕЙ В СТЕПЕННЫХ АППРОКСИМАЦИЯХ ПРОФИЛЕЙ ПАРАМЕТРОВ ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ИХ СВЯЗЬ С ДВУХЗОННОЙ МОДЕЛЮ

Для общего случая немонотонного распределения истинного объемного паро-(газо)содержания использована аппроксимация экспериментальных профилей в каждой из выделенных зон (центральной и пристенной) зависимостями степенного вида (см. рис. 1а)

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_{c_1} + (\alpha_{w_1} - \alpha_{c_1})R^{\eta_1}, & 0 \leq R \leq R_\Gamma \\ \alpha_{c_2} + (\alpha_{w_2} - \alpha_{c_2})R^{\eta_2}, & R_\Gamma \leq R \leq 1 \end{cases} \quad (\text{П1})$$

или (альтернативно)

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_{w_1} + (\alpha_{w_1} - \alpha_{c_1})Y^{\eta_{y1}}, & Y_\Gamma \leq Y \leq 1 \\ \alpha_{w_2} + (\alpha_{w_2} - \alpha_{c_2})Y^{\eta_{y2}}, & 0 \leq Y \leq Y_\Gamma \end{cases}, \quad (\text{П2})$$

где

$$Y = 1 - R. \quad (\text{П3})$$

Из уравнений (П1) и (П2) следует

$$\alpha_\Gamma = \alpha_{c_1} + (\alpha_{w_1} - \alpha_{c_1})R_\Gamma^{\eta_1}, \quad (\text{П4})$$

$$\alpha_\Gamma = \alpha_{w_2} + (\alpha_{w_2} - \alpha_{c_2})Y_\Gamma^{\eta_{y2}}. \quad (\text{П5})$$

После подстановки (П4) и (П5) в выражения (П1) и (П2) получим, соответственно

$$\alpha = \alpha_{c_1} + (\alpha_\Gamma - \alpha_{c_1})\frac{R}{R_\Gamma^{\eta_1}}, \quad 0 \leq R \leq R_\Gamma, \quad (\text{П6})$$

$$\alpha = \alpha_{w_2} + (\alpha_\Gamma - \alpha_{w_2})\frac{Y}{Y_\Gamma^{\eta_{y2}}}, \quad 0 \leq Y \leq Y_\Gamma, \quad (\text{П7})$$

откуда после интегрирования по выделенным зонам следуют соотношения для показателей степеней в аналитических зависимостях для профилей истинного объемного паросодержания и последующих оценок погрешности:

$$\langle \alpha_c \rangle = \alpha_{c_1} + \frac{\gamma(\alpha_\Gamma - \alpha_{c_1})}{n_1 + \gamma}, \quad (\text{П8})$$

$$\langle \alpha_w \rangle = \alpha_{w_2} + \frac{\alpha_\Gamma - \alpha_{w_2}}{n_2 + \gamma} \left(\frac{n_2}{1 - R_\Gamma^{n_2}} - \frac{\gamma R_\Gamma^\gamma}{1 - R_\Gamma^\gamma} \right). \quad (\text{П9})$$

Наиболее простым является применение этих соотношений для относительно широких центральных (узких пристенных) зон, когда $R_\Gamma \rightarrow 1$. Тогда предельные переходы с использованием правила Лопиталья показывают, что (П9) становится авто-модельным относительно показателя n_2 и параметра формы канала γ

$$\lim_{R_\Gamma \rightarrow 1} \langle \alpha_w \rangle = \langle \alpha_w \rangle_{23} = \alpha_{w_2} + 0.5(\alpha_\Gamma - \alpha_{w_2}). \quad (\text{П10})$$

Здесь индекс «23» введен для обозначения двухзонной модели двухфазного потока с кусочно-постоянными профилями α . Для этой модели вводится также

$$\lim_{n_1 \rightarrow \infty} \langle \alpha_c \rangle = \langle \alpha_c \rangle_{23} = \alpha_{c_1}. \quad (\text{П11})$$

При этом среднее по сечению канала паросодержание рассчитывается по зависимости

$$\langle \alpha \rangle_{23} = \langle \alpha_w \rangle_{23}(1 - R_\Gamma^\gamma) + \langle \alpha_c \rangle_{23}R_\Gamma^\gamma. \quad (\text{П12})$$

Расчеты указанных параметров, проведенные для условий опытов [6] (см. рис. 3), вынесены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры [6]	α_{w_2}	γ_Γ	α_Γ	n_{y_2}	$\langle \alpha_w \rangle$	$\langle \alpha_c \rangle$	$\langle \alpha \rangle$
	α_{c_1}	R_Γ	n_1	n_2	$\langle \alpha_w \rangle_{23}$	$\langle \alpha_c \rangle_{23}$	$\langle \alpha \rangle_{23}$
Режим А	0.	0.02	0.29	0.383	0.15	0.121	0.122
	0.11	0.98	29.74	12.51	0.145	0.11	0.1114
Режим В	0.	0.02	0.43	0.253	0.23	0.113	0.118
	0.085	0.98	26.42	22.97	0.215	0.085	0.0902

Здесь следует заметить, что режимы А и В (см. рис.3 и опыты [6]) соответствуют двум различным профилям седлообразных распределений истинного объемного газосодержания *) с различными значениями показателей степеней и величин граничных газосодержаний.

В первых четырех колонках табл. 2 приведены значения расчетных параметров, соответствующие двухзонной модели (см. рис. 1а и уравнения (П1) и (П2)). Ясно, что в общем случае оптимизация параметров двухзонной модели для седлообразных профилей паро(газо)содержания требует статистической обработки соответствующих баз опытных данных и может составить предмет отдельных исследований. Поэтому приведенные в табл. 2 параметры следует считать лишь первым приближением, используемым в дальнейшем для оценки точности осредненных по сечению величин. Как видно из табл. 2, погрешность аппроксимации экспериментальных профилей истинного объемного газосодержания степенными зависимостями, оцененная сопоставлением с осредненными значениями (см. последние три колонки) не превосходит 2÷4%.

*) Причины существования в экспериментах [6] различных форм седлообразных профилей истинного объемного газосодержания и переход режима А в режим В связаны с размерами пузырьков и эффектами их взаимодействия и влияния на поле скорости жидкой фазы. Анализ этих явлений требует разработки локальных двухжидкостных моделей гидродинамики для турбулентных двухфазных неравновесных потоков и выходит за рамки настоящей работы.

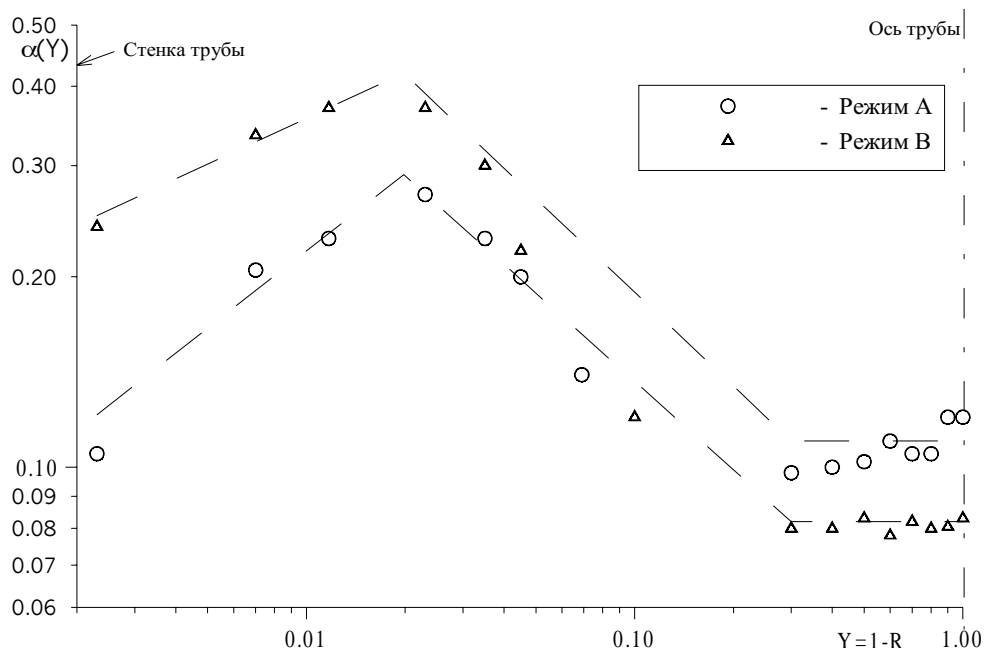


Рис. 3. Профили локального газосодержания седлообразной формы [6]: скорость жидкости на входе 0.79 м/с; расходное объемное газосодержание 0.147, диаметр трубы 86.4 мм

К сожалению в литературе отсутствуют опытные данные по одновременному измерению профилей скорости жидкой и паровой(газовой) фаз по сечению канала, что позволило бы провести тестирование принятых допущений и верификацию полученных замыкающих соотношений для параметров распределений с неоднородным профилем паро(или газо)содержания.

Литература

1. Корниенко Ю.Н. Параметры распределений квазиодномерных моделей двухфазных неравновесных потоков. Часть 1. Обобщение для течений в каналах простой геометрии // Известия вузов. Ядерная Энергетика. – 2002. – № 4. – С. 54–65.
2. Корниенко Ю.Н. Обобщение параметров распределений для квазиодномерных моделей двухфазных неравновесных потоков. Течения с неравномерным профилем параметров, в каналах кольцевой формы и сборках стержней. Препринт ГНЦ РФ-ФЭИ – 2899. – Обнинск, 2001. – 42 с.
3. Зубер Н., Финдлей Д. Средняя объемная концентрация фаз в системах с двухфазным потоком. Теплопередача. Сер. С. – М.: Мир, 1965. – Т. 87. – № 4. – С. 29–47.
4. Hancox W.T., Nicoll W.B. A general technique for the prediction of void distribution in non-steady two-phase forced convection // Int. J. Heat Mass Trans.. – 1972. – V. 14. – P. 1377.
5. Kornienko Yu.N., Kuzevanov V.S., Sorokin A.P. The technique of calculation of non-equilibrium two-phase flow in pin bundles using quasi-2D approaches and sub-channel approximation. Proc. Intern. Symp. on gas-liquid two-phase flows. ASME, 1990, FED. – V. 99. – P. 321–330.
6. Nakoryakov V.E., Kashinsky O.N., Burdukov A.P., Odnoral V.P. Local characteristics of upward gas-liquid flows // Int. J. Multiphase Flow. – 1981. – V. 7. – P. 63–81.
7. Кузеванов В.С., Корниенко Ю.Н. Осреднение параметров двухфазного потока при немономтонном распределении концентрации легкой фазы в поперечном сечении канала: В сб. научн. тр. Уральского политехнического института. Теплофизика ЯЭУ. Вып. 4. – Свердловск: Изд. УПИ, 1985. – С. 44–51.
8. Балакин П.П., Корниенко Ю.Н., Кузеванов В.С. Уточнение описания двухфазного неравновесного потока в одномерном приближении: Сб. докл. VII Всесоюзной конф. «Двухфазный поток в энергетических машинах и аппаратах». Т.1. – Л., 1985. – С. 59–61.

9. *Слехнович А.Н., Похвалов Ю.Е., Субботин В.И.* Влияние распределения газосодержания по сечению на проскальзывание фаз в двухфазном потоке: В сб. Расчетные и экспериментальные методы в теплофизике ядерных реакторов. - М.: Энергоиздат, 1982. - С. 75-82.
10. *Селиванов В.М., Болтенко Э.А., Корниенко Ю.Н. и др.* Оценка погрешности определения истинного объемного паросодержания по измеренным значениям средней плотности смеси в термически неравновесных двухфазных потоках: В сб. Вопросы атомной науки и техники, Сер. Физика и техника ядерных реакторов. Вып. 6, 1987. - С. 95-98.
11. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике. - М.: Наука, 1978.
12. *Слэттери Дж.* Теория переноса импульса, энергии и массы в сплошных средах. - М.: Энергоиздат, 1978. - 448 с.

Поступила в редакцию 14.11.2002

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-

ing). - Obninsk, 2002. - 13 pages, 3 illustrations, 2 tables. - References, 12 titles.

The generalized hierarchically closed analytical relationships are derived for distribution parameters C_{ks} of the quasi-one-dimensional (drift flux model) form of continuity, energy and momentum equations for two-phase non-equilibrium flow with non-uniform profiles. The main assumptions are superposition method and power approximations of the local phase profiles for derivation of the quadratures of distribution parameters and for their assessment. The complementarity and mirror symmetry properties are presented for parameter distributions for flows with non-uniform parameter profiles.

УДК 621.039.534

Distribution Parameters for the Quasi-One-Dimensional Two-Phase Non-Equilibrium Flow Models. Generalization for Annular Channel and Rod Bundle 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, 5 illustrations. - References, 12 titles.

The derived in the previous articles [1,2] relationships for two-phase non-equilibrium flow distribution parameters C_{ks} are generalized for an annulus and pin bundle geometry. The main assumptions are superposition method and power approximations of the local phase profiles for derivation of the quadratures of distribution parameters and for their assessment. There are derived the limiting analytical forms for C_{ks} relationships for symmetrical subchannel in the tight packet pin bundle and also with taking into account the azimuthal profiles of the variables.

УДК 621.039.534

Heat Transfer and Temperature Fields in the Core of Fast BREST Reactor with Lead Cooling \ J.A. Kuzina, A.V. Zhukov, A.P. Sorokin, A.I. Filin, V.P. Smirnov, V.N. Leonov, A.G. Sila-Novitsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 9 pages, 8 illustrations. - References, 10 titles.

The results of thermohydraulic research for the experimental demonstration lead-cooled fast reactor BREST-OD-300 are considered.

УДК 621.039.534

Investigation of the Acoustic Probe System for Analysis of a Level of Boiling Water Coolant \ V.I. Melnikov, A.V. Dunzev, A.B. Vjugin; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher Schools. Nuclear Power Engineering). - Obninsk, 2002. - 7 pages, 7 illustrations. - References, 7 titles.

The developed acoustic probe system for analysis of a level and amount of liquid phase on the data of a vapor space distribution in control boiling water volume has been investigated. The acoustic probe system allows to determine the state of phase into 8 local volume by probes placed along the height of vessel, and to study dispersing properties of the vapor-liquid water mixture.

The construction of the acoustic device, computer program, laboratory and testing unit experiments are described.