

УДК 532.551

Определение потерь давления на трение при естественной циркуляции восходящего двухфазного потока в вертикальном канале

*Мартынов Д.Р., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Ядерные реакторы и установки»*

*Научный руководитель: Исаков Н.Ш., ассистент кафедры
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
en7@power.bmstu.ru*

Введение

При проектировании водоохлаждаемых ЯЭУ и обоснования их надежности и безопасности используются расчетные соотношения, требующие верификации. Технологические контуры пассивной безопасности водоохлаждаемых ЯЭУ функционируют в режимах естественной циркуляции. Эти контуры представляют собой замкнутые системы с запасом теплоносителя (вода), который, циркулируя, осуществляет теплообмен с активной зоной или парогенератора в аварийных ситуациях, при этом фазовый состав теплоносителя изменяется – становится двухфазным.

Двухфазные потоки представляют сложность в определении их характеристик в связи со сложностью структуры и большого количества взаимосвязанных параметров (скоростей фаз, истинного и расходного паросодержания и др.). Расчетные соотношения для условий естественной циркуляции восходящих двухфазных потоков, характеризующиеся массовой скоростью ниже $1000 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, выбраны на основании обзора источников [1]-[2], а их верификация проведена по экспериментальным данным, полученным в работе [3].

Корреляции и расчеты

Выбранные корреляции, а также использованные параметры и обозначения, примененные в расчете, приведены в таблицах 1-2.

Параметры и обозначения

<i>Параметр</i>	<i>Обозначение</i>
(Δp_0)	сопротивление трения при движении в трубе однофазного потока
$A(p)$	функция, зависящая от давления
ξ	коэффициент гидравлического сопротивления трения однофазного потока
C_f	коэффициент трения
Fr	критерий Фруда
Re	критерий Рейнольдса
φ	истинное объемное паросодержание
x	массовое расходное паросодержание
ψ	коэффициент негомогенности
ρ'	плотность жидкой фазы
ρ''	плотность газообразной фазы
$\rho_{см}$	плотность смеси
w_0	скорость циркуляции
$G_{см}$	расход смеси

Таблица 2

Корреляции

<i>Автор</i>	<i>Корреляция</i>	<i>Примечание</i>
[1, стр. 39]	$\Delta p_{тр1} = (\Delta p_0) \cdot \frac{A(p)}{1 - \varphi} \cdot (Fr)^{\frac{0,75}{p}}$	(1.1)
[1, стр. 39]	$\Delta p_{тр2} = \xi \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho' w_0^2}{2} \cdot \left(1 + \psi \cdot x \cdot \left(\frac{\rho'}{\rho''} + 1 \right) \right)$	(1.2)
[2, стр. 39]	$\Delta p_{тр3} = C_{f1} \cdot \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{\rho_{см} \cdot w_0^2}{2} \right)$	(1.3) $C_{f1} = 0,005,$
[2, стр. 39]	$\Delta p_{тр4} = C_{f2} \cdot \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{\rho_{см} \cdot w_0^2}{2} \right)$	(1.4) $C_{f2} = 0,02,$
[2, стр. 39]	$\Delta p_{тр5} = C_{f3} \cdot \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{\rho_{см} \cdot w_0^2}{2} \right)$	(1.5) $C_{f3} = 0,079 Re^{-0,25}$

[2, стр. 39]	$\Delta p_{\text{тр6}} = 2 \cdot C_{f1} \cdot \frac{l}{d} \cdot \left(\left(\frac{G_{\text{см}}}{f_{\text{тр}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\rho_{\text{см}}} \right)$	(1.6) $C_{f1} = 0,005,$
[2, стр. 39]	$\Delta p_{\text{тр7}} = 2 \cdot C_{f2} \cdot \frac{l}{d} \cdot \left(\left(\frac{G_{\text{см}}}{f_{\text{тр}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{\rho_{\text{см}}} \right)$	(1.7) $C_{f3} = 0,079Re^{-0,25}$

Выбранные корреляции используются при турбулентном течении двухфазного адиабатического потока, при атмосферном давлении, при пузырьковом и пузырьково-снарядном режиме течения, при диаметре труб 30 мм, при температурах фаз 10 ... 20 °С.

Краткое описание эксперимента и установки

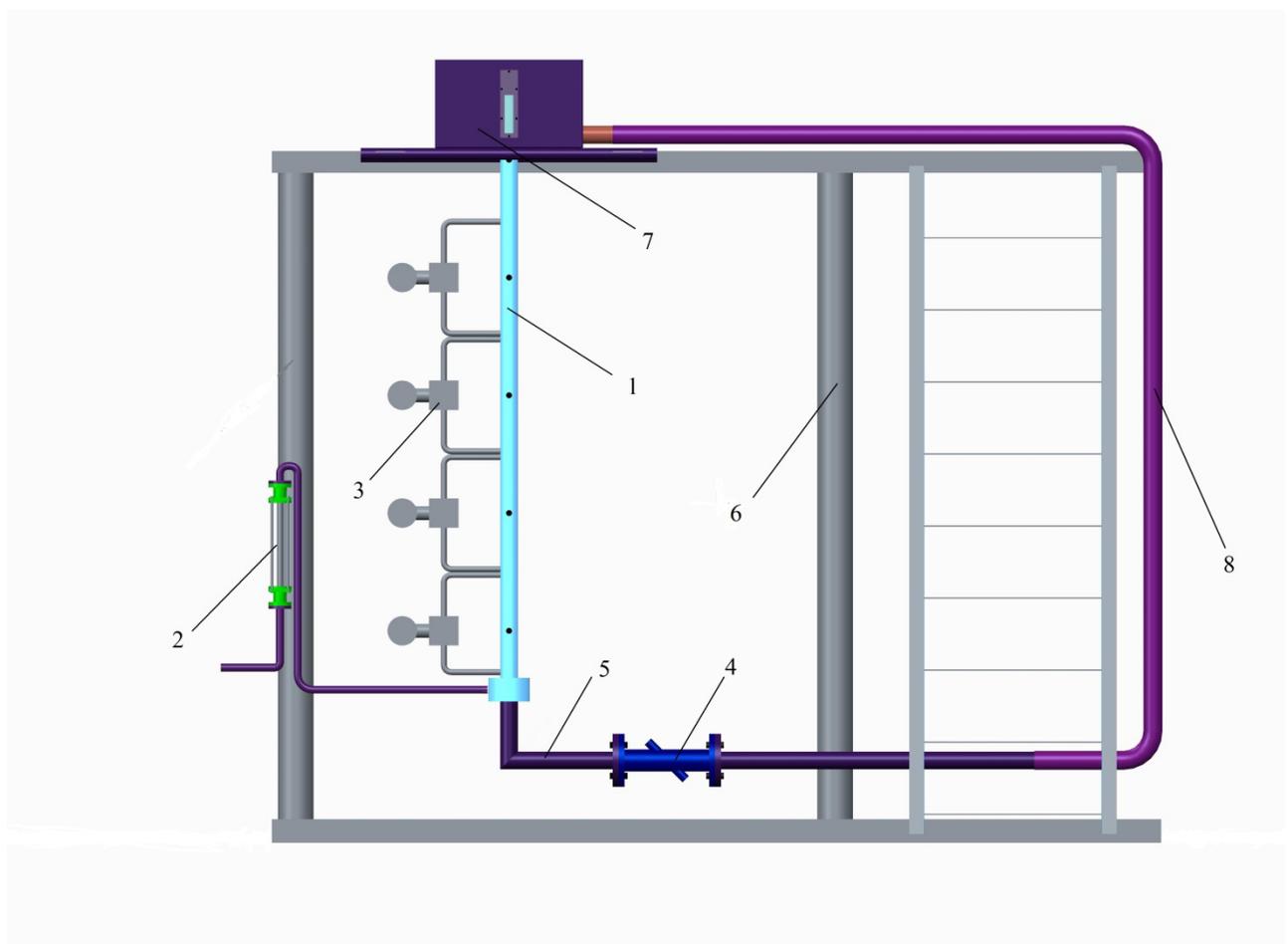


Рис. 1. Экспериментальный стенд

Экспериментальный стенд предназначен для получения экспериментальных данных о гидродинамических характеристиках двухфазного теплоносителя при естественной циркуляции в вертикальных каналах. Экспериментальный стенд

представляет собой адиабатический контур циркуляции, оснащенный средствами измерений (см. Рис. 1). В состав контура входит сменный экспериментальный участок *1*, выполненный из оргстекла, подводный участок *5* и опускной участок *4*, бак-сепаратор *7*. В состав экспериментального стенда входит измерительное оборудование: ротаметр *2*, расходомер *4*, преобразователь разности давлений типа «*Sanfir*», *3*.

Результаты расчета и сравнение

Для верификации выбранных расчетных соотношений потерь давления на трение использовано *55* экспериментальных точек (*11* точек в каждом из *пяти* функциональных режимов экспериментального стенда с соответствующим гидравлическим сопротивлением). Каждой точке соответствует определенные значения расходов каждой компоненты, значение истинного объемного паросодержания.

По сравнению с другими выбранными, результаты для корреляций 1.1 и 1.4 (формулы 1.1 и 1.4), наиболее близко описывающие экспериментальные данные, представлены в виде соответствующих диаграмм (см. Рис. 2-3).

Обозначения на диаграммах:

- – Закрашенные точки соответствуют расчетным значениям потерь давления на трение для пяти функциональных режима.
- – Незакрашенные точки соответствуют экспериментальным значениям потерь давления на трение для пяти функциональных режима.

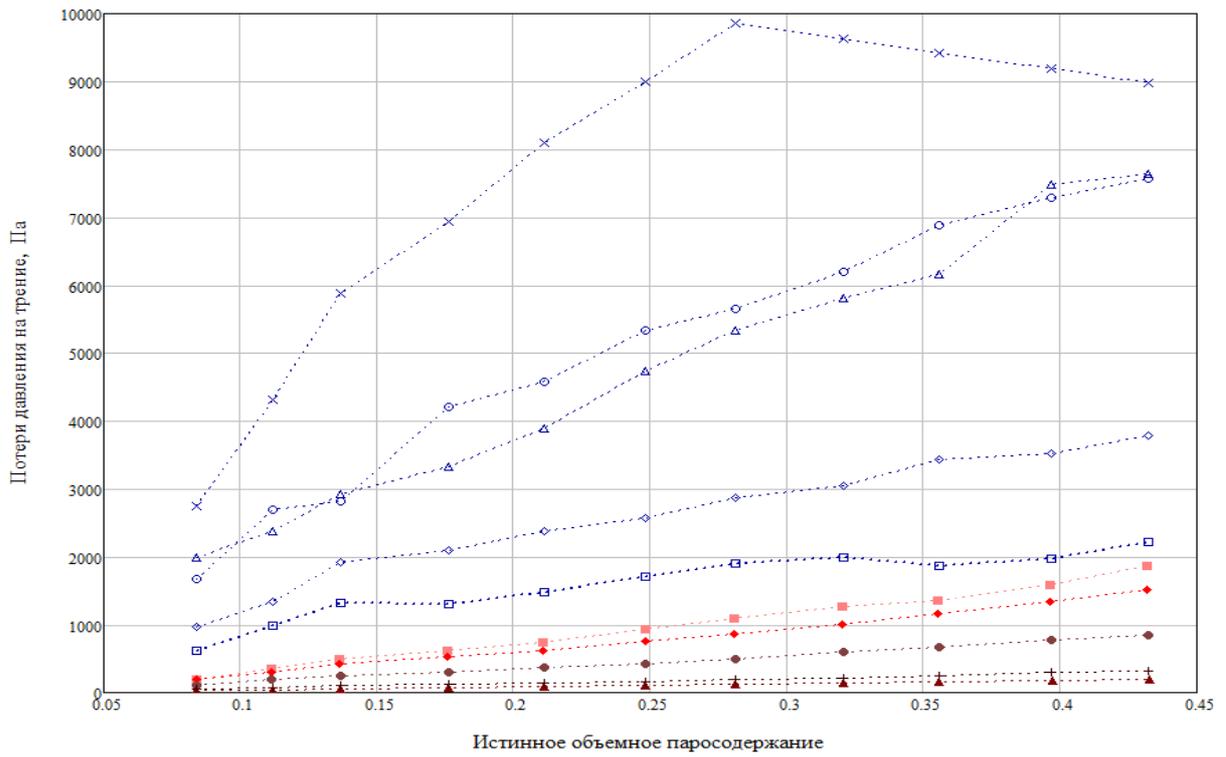


Рис. 2. Корреляция 1.1

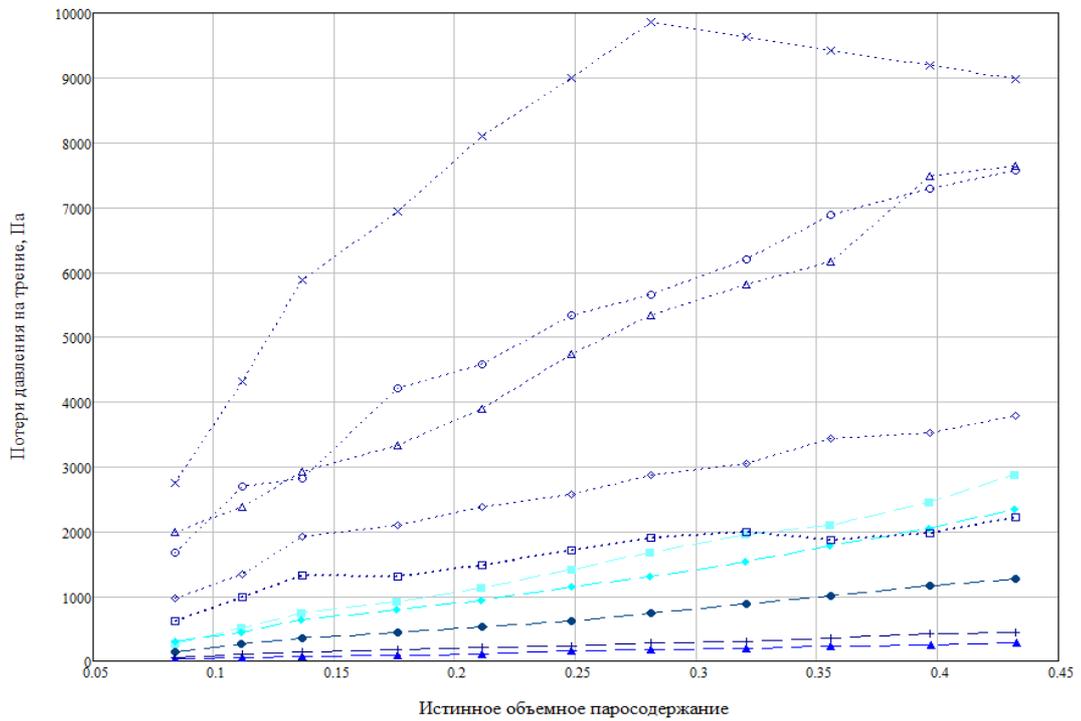


Рис. 3. Корреляция 1.4

Режимы течения двухфазного потока:

- $\varphi = 0,08 \dots 0,25$ – пузырьковый режим течения потока,

- $\varphi = 0,25 \dots 0,45$ – снарядный режим течения потока.

При анализе выбранных расчетных соотношений 1.1 и 1.4 (формулы 1.1 и 1.4) были сделаны следующие выводы:

1. отклонение расчетных результатов от экспериментальных данных находится в диапазоне относительной погрешности для первого и второго функциональных режима:

- при пузырьковом режиме течения: 2 ... 45 %,
- при снарядном режиме течения: 45 ... 69 %,

2. отклонение расчетных результатов от экспериментальных данных, для обоих режимов течения двухфазного потока, составляет более 70 %.

Заключение

На основании выполненных расчетов была проведена верификация выбранных расчетных соотношений. Корреляции 1.1 и 1.4 (формулы 1.1 и 1.4) наиболее точно отражают данные, полученные в ходе эксперимента. Относительная погрешность при использовании этих корреляций, при пузырьковом режиме течения двухфазного потока составляет 2 ... 45 % и снарядном режиме течения двухфазного потока составляет 45 ... 69 %. Такие значительные величины погрешности связаны со сложностью описания переходов из пузырькового в снарядный режим течения и снарядного режима течения и отсутствием обобщенных данных по расчету потерь давления на трение для условий, реализованных на экспериментальном стенде.

Список литературы

1. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П., Справочник по теплогидравлическим расчетам. М.: Энергоатомиздат, 1984. 290 с.
2. Уолис Г. Одномерные двухфазные течения. М.: Мир, 1972. 440 с.
3. Исаков Н.Ш. Экспериментальные исследования гидродинамических характеристик двухфазных потоков в каналах ЯЭУ в режимах естественной циркуляции // XIX школа-семинар молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева: тезисы докладов. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. С. 261-262.