

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

57

2416/2-81

1/6-81

P8-81-40

И.С.Мамедов, Ю.П.Филиппов

СТРУКТУРА ПОТОКА ДВУХФАЗНОГО ГЕЛИЯ
В КАНАЛЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ

1981

При создании протяженных /крупных/ систем различных физических установок одно из важных мест занимают вопросы криогенного обеспечения. Предварительная оценка различных способов криостатирования таких систем показывает^{/1,2/}, что предпочтительным может быть способ, основанный на вынужденном движении гелия в каналах. При этом может применяться поток как двухфазного, так и однофазного гелия за критических параметров. Выбор конкретного варианта может быть осуществлен в результате изучения закономерностей гидродинамики и теплопередачи для отмеченных сред, поскольку объем экспериментальной информации, представляющей исходные данные для проектирования отдельных узлов протяженных физических объектов и систем их криогенного обеспечения, явно недостаточен. Так, практически отсутствуют работы, посвященные исследованиям гидродинамики, теплопередачи и структуры потока гелия в горизонтальных каналах, а использование для этого случая относительно небольшого числа данных для вертикальных^{/3,4/} и других^{/5,6/} каналов не может считаться обоснованным. Экспериментальные данные, связанные, в частности, со структурой двухфазного потока гелия как в адиабатном, так и в парогенерирующем канале различной ориентации, представляют существенный практический интерес, поскольку на их основе возможны наглядное объяснение происходящих явлений, обоснование конструкций криостатируемых объектов, построение корректных физико-математических моделей процессов гидродинамики и теплопередачи.

Конструкция узла, использованного в данной работе для исследования структуры двухфазного потока гелия в горизонтальном канале, показана на рис. 1. В качестве прозрачного элемента была применена трубка из молибденового стекла^{/6/}, соединенная с обеих сторон с трубкой из кобальта^{/3/} методом высокочастотной сварки. Для исключения возможных наплывов во всех местах соединений сварка осуществлялась с поддувом аргона внутрь трубки. Толщина стенки стеклянной трубки определялась как разность между среднеквадратичными величинами внешнего и внутреннего радиусов, причем последний находился по результатам взвешивания с помощью аналитических весов соответствующей массы дистиллированной воды. Камера для отбора давления и датчик температуры /германиевый термометр сопротивления, изготовленный и проградуированный в Институте полупро-

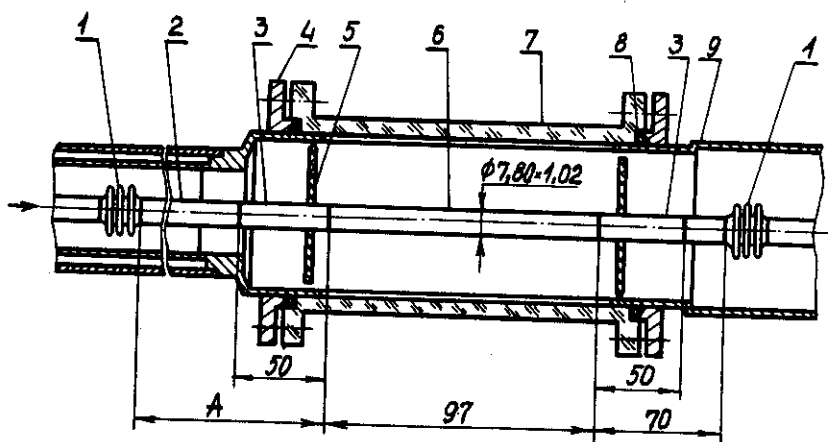


Рис. 1. Узел для исследования структуры двухфазного потока гелия: 1 - сильфон; 2 - трубка из стали 12Х18Н10Т; 3 - трубка из ковара; 4 - фланец; 5 - фторопластовая вставка треугольной формы; 6 - трубка из молибденового стекла; 7 - полированный цилиндр из органического стекла; 8 - резиновая прокладка; 9 - вакуумный корпус; А - участок гидродинамической стабилизации, $l = 200$ мм.

водников АН УССР /12/ располагались на расстоянии 200 мм от выходного отверстия стеклянной трубки.

Циркуляция гелия осуществлялась посредством установки ХГУ-250/4,5 /7,8/. При этом поток проходил последовательно дроссельный вентиль установки, теплообменник для достижения состояния недогретой до насыщения жидкости, диафрагму для измерения расхода гелия, формироваель входного паросодержания, прозрачный элемент /6/ /рис. 1/, магистраль возврата гелия и регулирующий вентиль, соединенный с гелиевым сосудом ХГУ-250/4,5.

Погрешности измерения расхода и паросодержания гелия, обусловленные методикой и использованными приборами, составляли соответственно около 3 и 7%.

Величина удельного теплового потока за счет излучения q , отнесенная к внутренней поверхности канала, определялась с помощью уравнения Стефана-Больцмана /9/ при известных тем-

пературах, степенях черноты поверхностей и их геометрических размерах. Расчеты показали, что величина q составляла около $1,8 \text{ Вт/м}^2$.

Регистрация структуры двухфазного потока производилась с помощью 35-миллиметровой фотокамеры "Practica" и специального источника света. Последний был выполнен на базе осветителя от микроскопа, в который были вмонтированы независимые по электрическому питанию лампы ИФК-120 и КГМ 6,3-15, служащие соответственно в качестве импульсного и стационарного* источника света. Источник питания лампы ИФК-120 позволял регулировать длительность t световой вспышки в пределах $8 \div 80 \cdot 10^{-6}$ с на уровне 30% от максимальной мощности.

На рис. 2 ÷ 4** показана структура двухфазного потока гелия при различных величинах массовой скорости и паросодержания. Характерная особенность режима движения при относительно малых массовых скоростях ρ_w состоит /рис. 2/ в расслоенности парожидкостной смеси, движущейся под действием гравитационных сил вниз трубки, и паровой фазы, которая занимает верхнюю часть канала. Рис. 2а-г показывают, что по мере роста паросодержания структура парожидкостной смеси становится более "рыхлой" в области, граничащей с чистым паром, а пристенный слой, обогащенный жидкостью, утоньшается.

С увеличением массовой скорости примерно на 50% относительно предыдущего случая растет площадь сечения потока /рис. 3/, занимаемая парожидкостной смесью. Повышение паросодержания до определенного предела не приводит к заметному изменению этого сечения /рис. 3б и 3в/. Вместе с тем для относительно больших значений массового паросодержания x характерна расслоенная структура потока /рис. 3г/.

Дальнейший рост ρ_w приводит к тому, что в довольно широком диапазоне паросодержаний режим движения становится близким к эмульсионному /9/ /рис. 4а-в/, переходящему, однако, в расслоенный для $x > 0,55 \div 0,60$ /рис. 4г/.

В ряде случаев расслоенный режим движения может накладываться ограничения на возможность применения двухфазного потока гелия, движущегося в горизонтальных парогенерирующих каналах физического объекта. Оценка такой возможности, например, для дипольного магнита^{11/}, может производиться /при известных

* Стационарный источник использовался при оптической настройке системы фоторегистрации.

** Справа внизу различимы контуры осветителя.

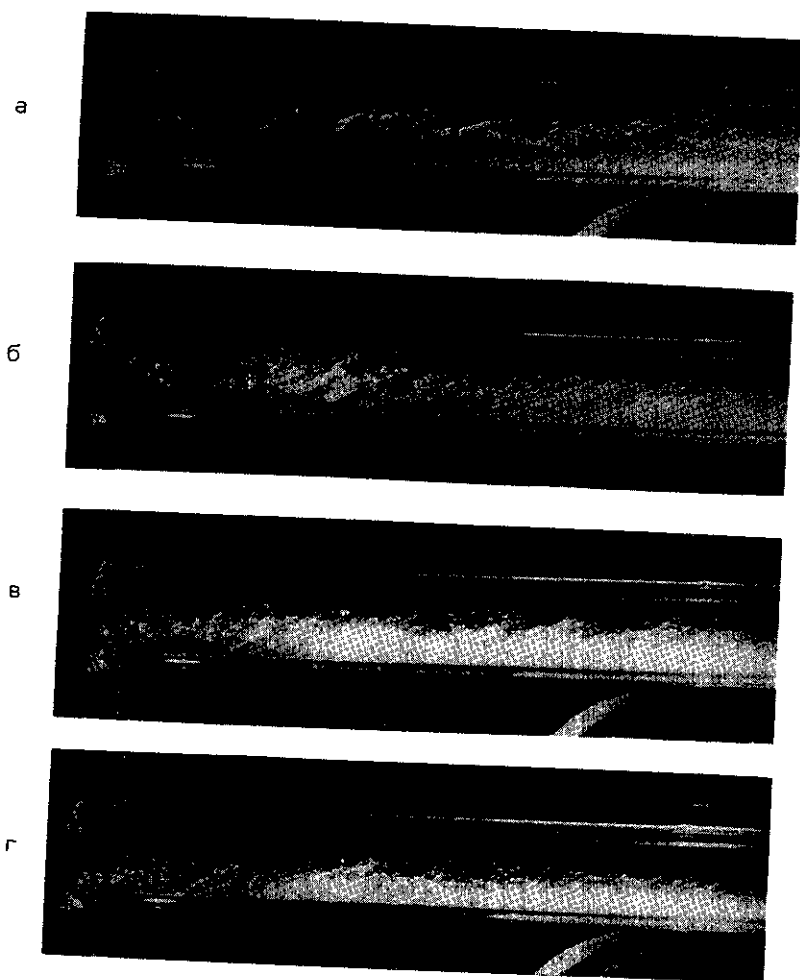


Рис.2. Структура двухфазного потока гелия при $t = 80$ мкс; $\rho_w = 79,8$ кг/м²с; $P = 1,29 \cdot 10^5$ Па; $q = 1,8$ Вт/м²: а/ $x=0,10$; б/ $x=0,22$; в/ $x=0,35$; г/ $x=0,48$.

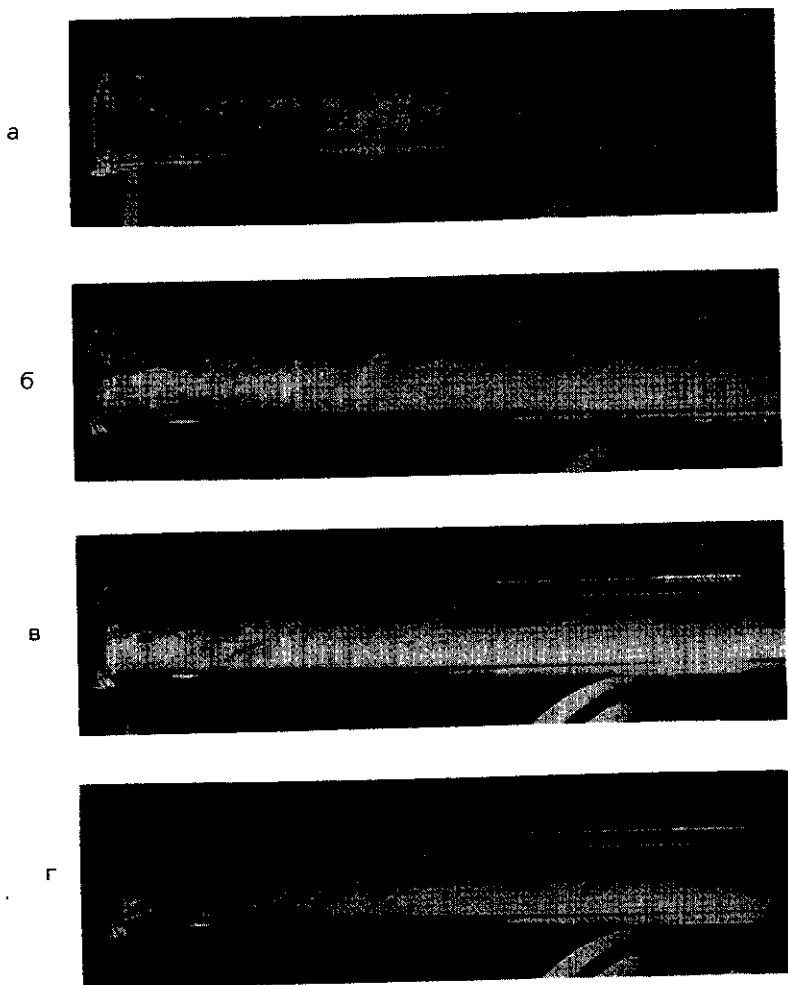


Рис.3. Структура двухфазного потока гелия при $\bar{t} = 80$ мкс; $\rho_w = 125,9$ кг/м³с; $P = 1,34 \cdot 10^5$ Па; $q = 1,8$ Вт/м²: а/ $x = 0,05$; б/ $x = 0,28$; в/ $x = 0,44$; г/ $x = 0,60$.

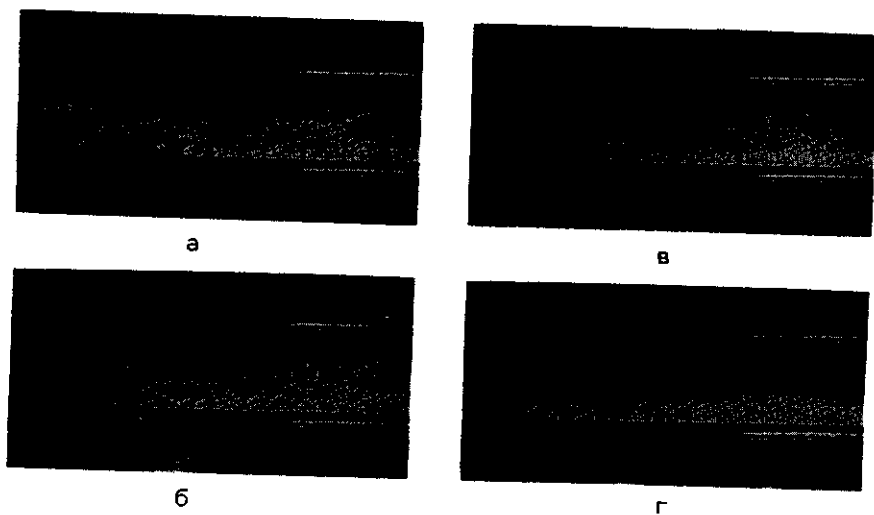


Рис. 4. Структура двухфазного потока гелия: а/ $t = 15$ мкс; $x = 0,06$; $\rho_w = 137,6$ кг/м²с; $P = 1,30 \cdot 10^5$ Па; $q = 1,8$ Вт/м²; б/ $t = 15$ мкс; $x = 0,06$; $\rho_w = 218,2$ кг/м²с; $P = 1,35 \cdot 10^5$ Па; $q = 1,8$ Вт/м²; в/ $t = 15$ мкс; $x = 0,10$; $\rho_w = 218,2$ кг/м²с; $P = 1,38 \cdot 10^5$ Па; $q = 1,8$ Вт/м²; г/ $t = 15$ мкс; $x = 0,56$; $\rho_w = 218,2$ кг/м²с; $P = 1,40 \cdot 10^5$ Па; $q = 1,8$ Вт/м².

гидродинамических характеристиках канала/ на основе решения, в частности, следующей трехмерной задачи теплопроводности: рассчитать температурное поле цилиндрической стенки с внутренними объемными источниками тепла мощностью q_v , наружная поверхность R_2 которой адиабатно изолирована, по внутренней трубе R_1 движется расслоенный поток двухфазного криоагента с равновесной температурой T_g , причем коэффициенты теплоотдачи со стороны пара и парожидкостной смеси /рис. 2/ различны и равны соответственно $\alpha_{п}$ и $\alpha_{пж}$, а поверхность, омываемая паром /парожидкостной смесью/, изменяется по длине канала в зависимости от q_v .

Таким образом, при массовых скоростях примерно до $140 \div 150$ кг/м²с режим движения двухфазного потока гелия в горизонтальном канале / $q \approx 1,8$ Вт/м²/ оказывается расслоенным практически во всем диапазоне паросодержаний. При увеличении ρ_w вплоть до 220 кг/м²с аналогичная структура потока наблюдается для паросодержаний $x > 0,55 \div 0,60$, хотя при $0 < x < 0,55 \div 0,60$ режим движения носит эмульсионный характер. Отмеченное рас-

слоение может приводить как к неравномерности температур по периметру стенки, так и к коллекторному эффекту^{/10/} при распределении двухфазного потока в системе параллельных каналов, характеризующемуся неравномерностью расхода криоагента. Расслоенность структуры должна учитываться при разработке соответствующих физико-математических моделей процессов теплопередачи и гидродинамики, а также при создании конструкций, предполагающих использование в качестве криоагента двухфазного потока гелия.

В заключение авторы благодарят В.П.Саранцева, Н.Б.Рубина, А.И.Агеева, В.И.Пряничникова, С.А.Коренева, Е.С.Кузьмина, В.М.Микляева и Т.Б.Белову за помощь в подготовке и проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keilin V.E. et al. Cryogenics, 1970, v. 10, No. 3, p.224-232.
2. Keilin V.E. et al. Cryogenics, 1972, v. 12, No. 4, p. 292-296.
3. Деев В.И. и др. АЭ, 1977, т. 42, 4, с. 339-340.
4. Bald W.B. et al. Cryogenics, 1977, v. 17, No. 1, p.33-42.
5. Keilin V.E. et al. Cryogenics, 1969, v. 9, No. 1, p. 36-38.
6. De la Harpe A. et al. Advances in Cryogenic Engineering, 1969, v. 14, p. 170-177.
7. Никиткин В.Д. и др. Холодильная гелиевая установка ХГУ-250/4,5. Информационный листок, сер. 116, 19 М. "ЦИНТИхимнефтемаш", М., 1975.
8. Агеев А.И. и др. ОИЯИ, 8-10477, Дубна, 1977.
9. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. "Энергия", М., 1975.
10. Петров П.А. Гидродинамика прямоточного котла. Госэнергоиздат, М., 1960.
11. Дайковский А.Г. и др. Препринт ИФВЭ, СРИ 77-139, Серпухов, 1977.
12. Зарубин Л.И., Немиш И.Ю. ПТЭ, 1971, №4, с. 260.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 января 1981 года.