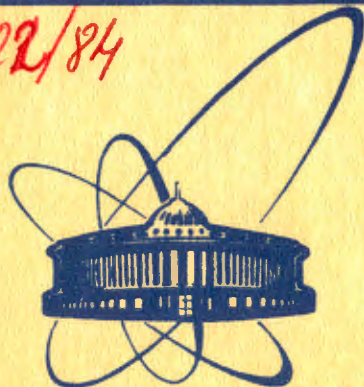


84-156

2822/84



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
Дубна

С 393 Ж

P8-84-156

И.С.Мамедов, С.Е.Салимов, Ю.П.Филиппов

РЕЖИМЫ ТЕЧЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГЕЛИЯ  
В ГОРИЗОНТАЛЬНОМ КАНАЛЕ

1984

Экспериментальные данные, связанные со структурой двухфазного потока гелия как в адиабатическом, так и в парогенерирующем горизонтальных каналах, представляют существенный практический интерес, поскольку на их основе возможны обоснование конструкций протяженных криостатируемых объектов и систем их криогенного обеспечения, построение корректных физико-математических моделей процессов теплопередачи и гидродинамики в криогенных системах, наглядное объяснение происходящих явлений. Однако объем таких данных весьма ограничен<sup>1-3/</sup>, а использование для этих целей относительно небольшого числа данных, полученных для вертикальных каналов<sup>4,5/</sup>, не может считаться обоснованным.

Схема криогенного стенда, с помощью которого исследовалась структура потока двухфазного гелия в горизонтальном обогреваемом канале, представлена на рис.1. В соответствии с этой схемой поток гелия из установки ХГУ-250/4,5<sup>6/</sup> проходит последовательно дроссельные вентили 1 и 2, магистраль 3, теплообменник 4, устройства для измерения расхода гелия /диафрагмы/ 5, формирова- тель входного паросодержания 6, подающую магистраль 7 с азот- ным экраном, участок для визуального наблюдения за структурой потока в трубке 8, экспериментальные участки 9 для исследования гидравлического сопротивления в каналах кругового и кольцевого сечений. После этого гелий может направляться по магистрали 10 в сосуд 25 установки ХГУ-250/4,5, либо через вентиль 12, на- греватель 13 мощностью 10 кВт, ресивер 14, газовый счетчик 15, магистраль 16 и вентиль 17 в газогольдер /при работе на запа-

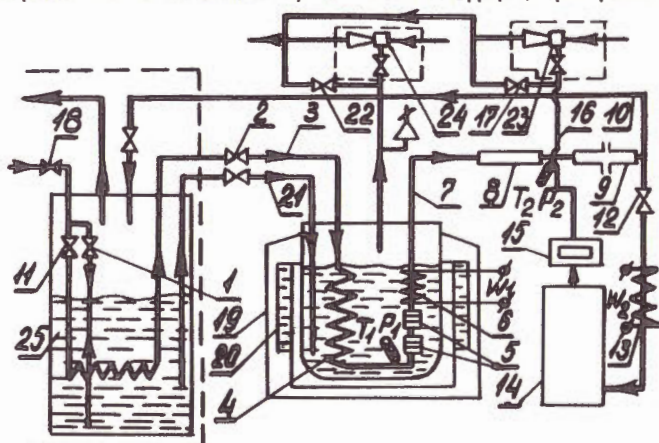


Рис.1. Схема экспериментального стенда.

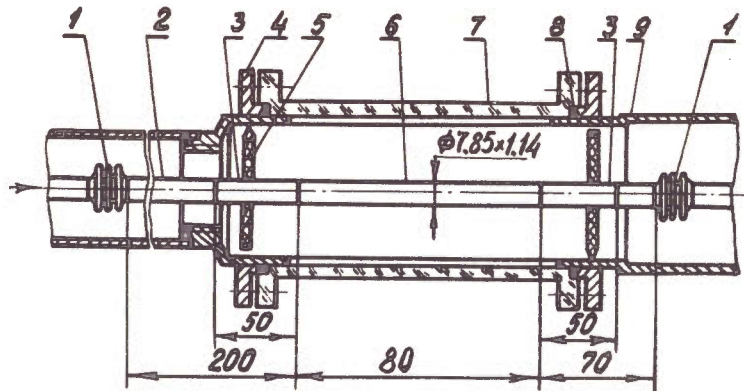


Рис.2. Узел для исследования структуры потока двухфазного гелия: 1 - сильфон; 2 - трубка из стали 12X18H10T; 3 - трубка из ковара; 4 - фланец; 5 - центрирующая вставка; 6 - трубка из молибденового стекла; 7 - корпус из органического стекла; 8 - резиновая прокладка; 9 - вакуумный корпус.

сенном в сосуде 25 гелия/. Во втором случае вентиль 18 закрыт, вентили 11, 1, 2, 12 и 17 открыты, а циркуляция гелия осуществляется за счет избыточного давления в сосуде 25. Подпитка криостата 19 с азотным экраном 20 осуществляется через магистраль 21. Криостат соединяется через вентиль 22 с газгольдером. За счет разности давлений в теплообменнике 4 и криостате 19 поток гелия конденсируется, затем охлаждается до состояния недогретой до насыщения жидкости, после чего поступает для измерения расхода на диафрагмы 5 с пределами соответственно  $0,65 + 4,2 \cdot 10^{-3}$  и  $3,5 + 22 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Для понижения давления в экспериментальных элементах 8, 9 и в криостате 19 ниже атмосферного предполагается установить соответственно эжекторы 23 и 24. На первом этапе эксперименты проводились совместно с установкой ХГУ-250/4,5 при давлениях  $1,2 \cdot 10^5$  Па и выше.

Участок для визуального исследования структуры потока двухфазного гелия показан на рис.2. Он включает трубку 6  $\varnothing 7,85 \times 1,14$  мм из молибденового стекла длиной 80 мм. Эта трубка методом высокочастотной сварки соединена с обеих сторон с трубками из ковара 3  $\varnothing 6 \times 0,3$ , которые, в свою очередь, сварены аргонодуговой сваркой с трубками 2  $\varnothing \times 0,2$  из стали 12X18H10T. Перед стеклянной трубкой 6 предусмотрен участок гидродинамической стабилизации длиной 200 мм. Для снятия температурных и механических напряжений с обоих концов канала для гелия установлены сильфоны 1. В вакуумном корпусе 9 выполнены специальные "окна" для освещения и наблюдения за структурой потока. Герметизация вакуумного объема осуществлялась посредством толстостенного

корпуса 7 из полированного органического стекла, резиновых прокладок 8, фланцев 4 и струбцин. Камера для отбора давления и датчик температуры /германиевый термометр сопротивления /7/ / располагались на расстоянии около 200 мм от выходного отверстия стеклянной трубки.

Величина удельного теплового потока  $q$  за счет излучения, отнесенная к внутренней поверхности исследуемого канала, составляла около  $370 \text{ Вт/м}^2$ .

Регистрация структуры двухфазного потока производилась с помощью 35-миллиметровой фотокамеры "Praktica" и специального источника света, который был выполнен на базе осветителя от микроскопа и лампы ИФК-120. Источник питания лампы обеспечивал длительность световой вспышки около  $10^{-5}$  с на уровне 30% от максимальной мощности. Фотосъемка осуществлялась против источника света.

Необходимые измерения и съемка производились при фиксированных расходе /массовой скорости  $m$  /, давлении  $P$  и изменяемой с помощью специального нагревателя 6 /рис. 1/ относительной энтальпии /паросодержание/  $x$  двухфазного потока. Величины  $x$  рассчитывались на основе уравнения теплового баланса. При этом погрешность определения  $x$  составляла около 10%.

С помощью полученных фотографий удалось выявить пузырьковый, расслоенный волновой, прерывистый и дисперсный режимы. В качестве примера волновой режим показан на рис.3. Всего было получено более шестисот фотографий.

Анализ полученных данных показал, что они неудовлетворительно идентифицируются с помощью известных карт режимов течения двухфазных горизонтальных потоков в адиабатических условиях. Так, большинство экспериментальных точек для двухфазного гелия в картах Тайтла и Даклера /8/ и Бейкера /9/ располагаются соответственно в областях кольцевого и пузырькового режимов. На карте Мандхэйна /10/, построенной для водовоздушной смеси при атмосферных давлении и температуре /штриховые линии/, полученные данные для гелия располагаются в трех областях - пузырькового, прерывистого и волнового режимов. Однако в количественном отношении соответствие границ переходов между режимами для водовоздушной смеси и двухфазного гелия неудовлетворительное. Это иллюстрирует рис.4, на котором сплошными линиями выделена карта режимов течения двухфазного гелия в горизонтальном канале. Эта карта получена для давления около  $1,3 \cdot 10^5$  Па. По рекомендации авторов /10/ для смесей, отличных от атмосферного воздуха и воды, перемещение границ переходов между режимами может определяться с помощью соотношений

$$X = (\rho_G / \rho_A)^{0,333} (\rho_L \sigma_W / \rho_W \sigma)^{0,25} (\mu_G / \mu_A)^{0,2},$$

$$Y = (\mu_L / \mu_W)^{0,2} (\rho_L \sigma_W / \rho_W \sigma)^{0,25},$$

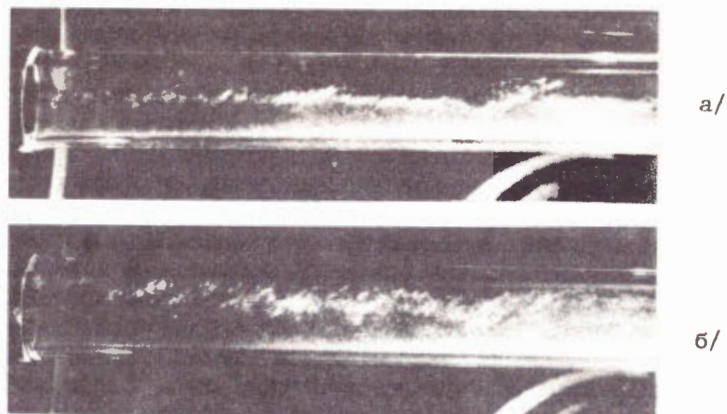


Рис.3. Структура потока двухфазного гелия: а/расслоенный волновой режим; б/ расслоенный волновой режим, переходящий в прерывистый.

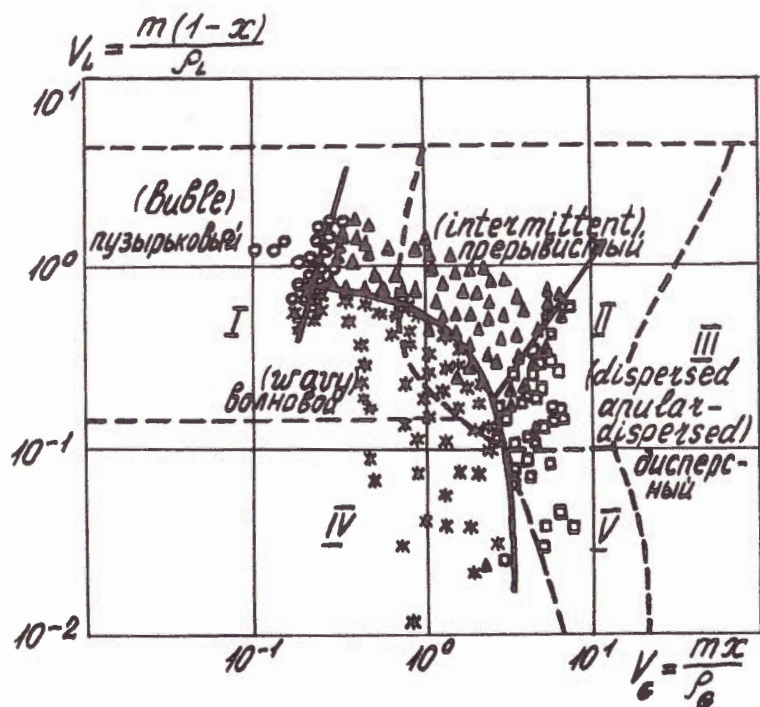


Рис.4. Сравнение полученной карты режимов течения двухфазного гелия с картой режимов течения водовоздушной смеси Мандхэйна;  $V_L$  - приведенная скорость жидкости,  $V_G$  - приведенная скорость пара.

где  $\rho$  - плотность,  $\mu$  - вязкость, а  $\sigma$  - поверхностное натяжение. Индексы G и L относятся к газовой и жидкой фазам рассматриваемой системы, а A и W - к воздуху и воде при атмосферном давлении и температуре окружающей среды. С учетом этого для течения двухфазного гелия границы переходов между пузырьковым и прерывистым, прерывистым и дисперсным, волновым и дисперсным режимами /штриховые линии на рис.4/ должны переместиться в сторону больших приведенных скоростей жидкости. Однако расхождение между полученными экспериментальными данными /сплошные линии/ и картой режимов по Мандхэйну, перестроенной для двухфазного гелия, остается значительным. Это может быть связано с тем, что экспериментальные данные получены для обогреваемого канала, а соответствующие карты построены для адиабатических условий. Кроме того, предложенные соотношения для X и Y могут быть несправедливы для случаев течения двухфазного гелия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамедов И.С., Филиппов Ю.П. ОИЯИ, Р8-81-40, Дубна, 1981.
2. Ерошенко В.М. и др. В кн.: "Тепло- и массообмен при кипении и течении криогенных жидкостей". Изд-во АН БССР, Минск, 1980, с. 50-62.
3. Rubin N.B., Filippov Yu.P. III International ICFA Workshop, p. 172-191, Protvino, USSR, 1981.
4. Bald W.B. et al. Cryogenics, 1977, vol. 17, No 1, p. 33-42.
5. Zust H.K., Bald W.B. Cryogenics, 1981, vol. 21, No 11, p. 657-666.
6. Никиткин В.Д. и др. Холодильная гелиевая установка ХГУ-250/4,5. Информационный листок, сер. 116-19М, ЦИНТИхимнефтемаш, М., 1975.
7. Зарубин Л.И., Немиш И.Ю. ПТЭ, 1971, №4, с. 260.
8. Yamada Taitel, Dukler A.E. AIChE Journal, 1979, vol. 22, No 1, p. 47-55.
9. Two-Phase Flow and Heat Transfer. Edited by D.Butterworth and G.F.Hewitt. Oxford University Press, 1977, p.21-23.
10. Mandhane T.M. et al. Int. Journal of Multiphase Flow 1974, 1, p. 537-553.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 марта 1984 года.

Мамедов И.С., Салимов С.Е., Филиппов Ю.П.  
Режимы течения двухфазного гелия в горизонтальном канале

P8-84-156

На основе полученных экспериментальных данных построена карта режимов течения двухфазного гелия в горизонтальном обогреваемом канале. Приведено сравнение с известными картами режимов течения.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Mamedov I.S., Salimov S.E., Filippov Yu.P.  
Two-Phase Helium Flow Regimes in a Horizontal Channel

P8-84-156

On the base of obtained experimental data, a map of regimes of two-phase helium flow in a horizontal heated channel has been built up. Comparison with the known maps of the two-phase flow regimes is in horizontal channels presented.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984