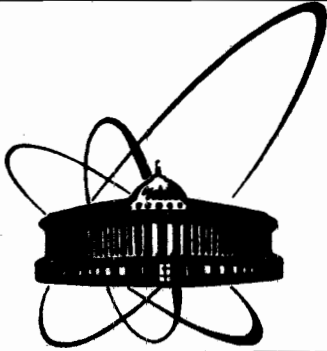


86-711



**СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

8-86-711

**А.Б.Давыдов, А.Ш.Кобулашвили, В.Д.Щербаков,
Н.Н.Агапов, В.В.Крылов**

**ПАРОЖИДКОСТНЫЙ ТУРБОДЕТАНДЕР
КРИОГЕННОЙ ГЕЛИЕВОЙ УСТАНОВКИ**

1986

**ОИЯИ
БИБЛИОТЕКА**

Замена дроссельного вентиля на детандер в ступени окончательного охлаждения криогенной гелиевой установки /КГУ/ - действенное средство повышения ее термодинамической эффективности. В зависимости от параметров, режимов работы и КПД детандера холодопроизводительность КГУ при прочих равных условиях может быть увеличена в 1,2 - 1,8 раза.

Условия работы детандера для ступени окончательного охлаждения существенно отличаются от условий работы газовых детандеров ступени предварительного охлаждения КГУ. Так, линия процесса расширения этого детандера начинается, как правило, в критической области, пересекает левую ветвь пограничной кривой и заканчивается в области влажного пара. Детандер работает на вскипающем потоке криогенной жидкости, поэтому называется парожидкостным /ПЖД/. Степень влажности на выходе из ПЖД в зависимости от параметров может колебаться от 40 до 100%.

Естественно, применение ПЖД вместо дросселя связано с определенным усложнением КГУ и становится целесообразным только в том случае, если система останется достаточно надежной и не потребует заметного увеличения трудозатрат при эксплуатации.

Вначале вместо дросселя применялись машины только поршневого типа /1,2/. В дальнейшем поршневые парожидкостные детандеры создавались во многих организациях, и полученный опыт показал, что такие машины, хотя и имеют достаточно высокий КПД, сложны по конструкции и не всегда обеспечивают длительную надежную работу. Трудоемкость их изготовления, ремонта и обслуживания сравнительно велика. Как правило, они устанавливаются на специальном дополнительном криостате, что увеличивает металлоемкость и потери холода криогенной установки. Поэтому в НПО "Гелиймаш" были начаты работы по созданию парожидкостных турбодетандеров /ПЖТД/, которые имеют целый ряд преимуществ перед поршневыми машинами. Основные из них - высокая надежность, простота обслуживания, малые габариты и полная уравнированность, позволяющие устанавливать их, как и дроссельный вентиль, в непосредственной близости от сборника жидкого криоагента. Эти преимущества полностью подтверждены опытом длительной эксплуатации воздушного ПЖТД, включенного вместо дроссельного вентиля на крупной воздухоразделительной установке высокого давления КЖ-1,6 АР^{3/}.

Опытный образец парожидкостного гелиевого турбодетандера был создан в НПО "Гелиймаш" для крупной рефрижераторно-ожижительной гелиевой установки КГУ-1600/4,5^{4/}. Доводка и испытания его проводились в ОИАИ.

Турбодетандер был рассчитан для рефрижераторного режима работы установки с частичным подучением жидкого гелия и имел следующие проектные параметры:

ВАШИНГТОНСКОЕ
БИБЛИОТЕКА

- давление на входе 18,0 МПа
- температура на входе 5,2 К
- давление на выходе 1,5 МПа
- расход рабочей среды 2400 куб.м/час
- мощность 0,85 кВт

В целях обеспечения однотипности расширительных машин, комплектующих установку КГУ-1600/4,5, гелиевый ПЖТД был выполнен по принципиальной схеме, принятой ранее и для газовых турбодетандеров предварительного охлаждения. В турбодетандере использована центростремительная реактивная турбинная ступень с радиально-осевым полуоткрытым колесом. Наружный диаметр колеса - 15 мм, частота вращения - 140000 - 180000 об./мин, высота лопаток направляющего аппарата - 0,5 мм.

Турбинная ступень с коммуникациями подвода и отвода помещена в вакуумный кожух. В конструкции ПЖТД использована система подвески ротора, состоящая из газостатического и масляного гидростатического подшипников, которая удачно сочетает в себе положительные стороны машин с масляными и газовыми подшипниками [5]. Газовый и масляный подшипники выполнены с близкими квазиупругими характеристиками. В гидростатическом подшипнике предусмотрены условия интенсивного образования эмульсии масла, благодаря чему момент сопротивления вращению достаточно мал. Гидростатический подшипник является единственным нагрузочным устройством, воспринимающим мощность, развиваемую турбинной ступенью. Турбодетандер имеет вертикальное расположение вала.

Отрицательное влияние на холодопроизводительность КГУ внешней утечки холодного газа и теплопритока к проточной части у ПЖТД значительно больше, чем в газовых турбодетандерах: ступени предварительного охлаждения. Для снижения этих потерь холода требовались специальные меры. Величина утечки холодного газа, например, была снижена путем общего повышения противодавления газа на выходе из подшипников. Это оказалось возможным вследствие того, что динамическими характеристиками газостатического подшипника допускается степень понижения давления газа в подшипнике до 0,2 - 0,25. Существенно ограничило величину утечки холодного газа и то, что благодаря очень малой виброамплитуде резонансных и прецессионных колебаний ротора общий зазор в лабиринтных уплотнениях практически не превышает зазор в подшипниках.

Опытный образец гелиевого ПЖТД со своим вакуумным кожухом устанавливался на дополнительный криостат взамен поршневого детандера. Это позволило проводить испытания КГУ с различными типами расширительных машин. Как указывалось выше, в дальнейшем ПЖТД может быть смонтирован непосредственно на сборнике жидкого гелия. Для подачи масла в масляный подшипник ПЖТД подсоединялся к системе смазки газовых турбодетандеров.

Гелиевый ПЖТД показан на рис.1.

Рост производительности установки КГУ-1600/4,5 при замене дросселя на ПЖТД иллюстрирует рис.2. Экспериментальные точки

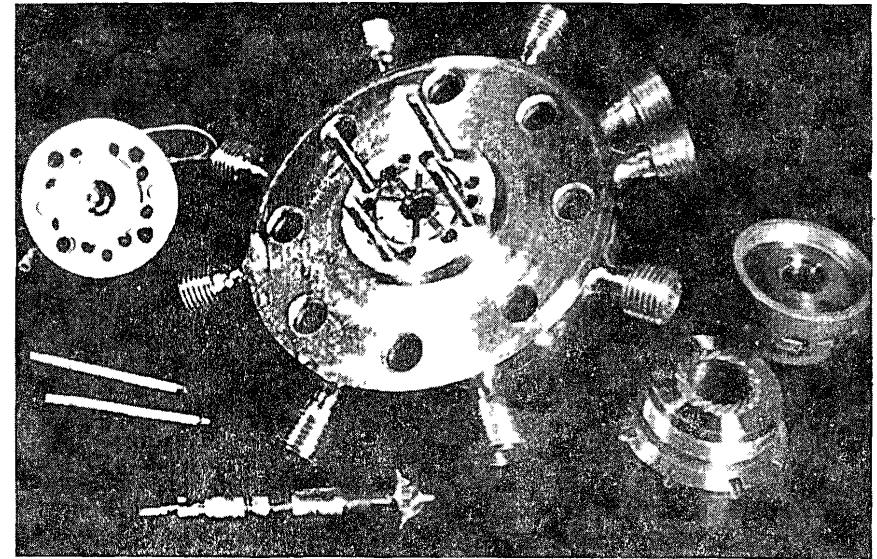
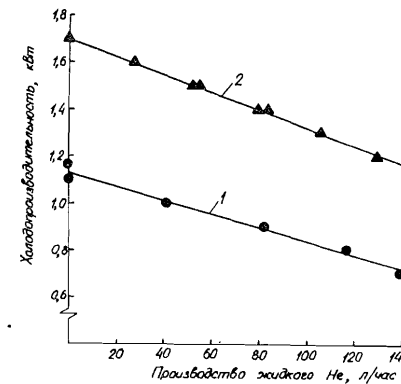


Рис.1. Парожидкостный турбодетандер установки КГУ-1600/4,5.

получены в комбинированных режимах работы, когда одновременно вырабатывается холод на уровне 4,5 К и жидкий гелий. Методика эксперимента заключалась в том, что при заданной холодопроизводительности, равной мощности электронагревателя, помещенного в сборник жидкого гелия, определяли скорость падения уровня газгольдера, эквивалентную скорости ожигения. Расход сжатого гелия на установку составлял 3600 куб.м/час. Зависимость 1 получена в режимах с дросселированием в ступени окончательного охлаждения, 2 - с использованием ПЖТД. Из рисунка видно, что в сравнении с дроссельным режимом применение ПЖТД повышает холодопроизводительность в чисто рефрижераторном режиме с 1,13 до 1,7 кВт /в 1,5 раза/.



Имеются резервы дальнейшего повышения эффективности ПЖТД путем оптимизации параметров турбинной ступени и совершенствования уплотнений вала с целью сни-

Рис.2. Характеристики установки КГУ-1600/4,5 при одновременном производстве холода на уровне 4,5 К и жидкого гелия: 1 - режим с дросселированием в ступени окончательного охлаждения; 2 - режим с расширением в парожидкостном турбодетандере.

жения холодной утечки, которая очень сильно влияет на эффективность установки.

Однако уже и сейчас при длительных и ответственных сеансах работы КГУ-1600/4,5 мы предпочитаем использовать описанный выше опытный образец: испытания показали, что он прост и удобен в эксплуатации, отличается стабильностью во всех исследованных режимах. В ходе пятнадцати пусков в течение трех месяцев работы неисправностей и отказов не наблюдалось.

Кроме того, были получены и другие данные, позволяющие сравнить некоторые характеристики поршневого и турбодетандера. Так, вес поршневого детандера с дополнительным криостатом - 830 кг, вес ПЖТД с вакуумным кожухом - 30 кг, а трудоемкость его изготовления меньше в 10 раз. Специально был проведен хронометраж по замене ПЖТД в рабочих условиях: время снятия и установки нового турбодетандера составило лишь 40 минут.

Сказанное позволяет сделать вывод, что применение парожидкостных турбомашин может оказаться целесообразнее из соображений повышения надежности, уменьшения затрат на обслуживание и ремонт, а также габаритов и материалоемкости даже при некотором снижении общей термодинамической эффективности КГУ по сравнению с вариантом использования поршневого парожидкостного детандера. Это полностью подтверждается и результатами, полученными в [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Johnson R.M., Collins S.C. Advances in Cryogenic Engineering, 1971, v.16, p.171.
2. Белушкин В.А. и др. Криогенное, кислородное и автогенное машиностроение. ЦИНТИхимнефтемаш, М., 1971.
3. Давыдов А.Б. и др. Химическое и нефтяное машиностроение, 1984, № 2, с.29.
4. Пронько В.Т., Краковский Б.Д. ОИЯИ, P18-12147, Дубна, 1979, с.347.
5. Давыдов А.Б. и др. Авт.свид.СССР № 361364, от 02.02.71 г. Бюл.ОИПОТЗ, 1973, № 1, с.98.
6. Quack H. In: Proc.of the Eighth International Conference in Cryogenic Engineering, 1980, p.343.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 октября 1986 года.

Давыдов А.Б. и др.

8-86-711

Парожидкостный турбодетандер криогенной гелиевой установки

Описывается конструкция и результаты испытаний парожидкостного турбодетандера для криогенной гелиевой установки КГУ-1600/4,5. Отмечается, что опытный образец турбодетандера прост и удобен в эксплуатации, отличается стабильностью во всех исследованных режимах. При замене дросселя на парожидкостный турбодетандер холодопроизводительность рефрижератора повышается с 1,13 до 1,7 кВт /в 1,5 раза/.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С.Виноградовой

Davydov A.B. et al.

8-86-711

Vapour-Liquid Turboexpander of a Cryogenic Helium Refrigerator

The construction and results of testing a vapour-liquid turboexpander for the cryogenic helium refrigerator KGU-1600/4.5 are described. It should be noted that a test model of the turboexpander is simple and convenient in operation. It works stable under all conditions being studied. When a throttle is changed for the vapour-liquid turboexpander, the refrigeration capacity of cryogenic plant increases from 1.13 to 1.7 kW (by a factor of 1.5).

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986