

91-575

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна



8-91-575

Н.Н.Агапов, В.В.Крылов, Г.В.Никиткина*

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КГУ-1600/4,5
В ОЖИЖИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

*Московский институт химического машиностроения

1991

Крупная рефрижераторно-ожижительная установка КГУ-1600/4,5 спроектирована и создана в НПО "Гелиймаш" с участием специалистов Лаборатории высоких энергий ОИЯИ¹¹.

Криогенный цикл установки включает предварительное азотное охлаждение, три последовательно включенных турбодетандера и парожидкостный детандер на прямом потоке в ступени ожижения. Агрегат охлаждения состоит из пяти блоков: основной блок охлаждения с турбодетандерным агрегатом, два блока "встроенной" очистки, блок с гелиевым сосудом, теплообменниками ступени ожижения и неоновым адсорбером, блок с парожидкостным детандером.

В течение десяти лет эксплуатации на установке проведен ряд конструктивных изменений, в частности:

1) введена в действие пусковая схема с тремя вентилями, позволяющая уменьшить время запуска при экономном расходовании электроэнергии и жидкого азота¹²;

2) для повышения производительности отключен первый турбодетандер;

3) поршневой парожидкостный детандер заменен на турбодетандер^{13,4};

4) усовершенствована система очистки гелия, подаваемого на газовые подшипники турбодетандеров.

Установка эксплуатируется в рефрижераторном, комбинированном и ожижительном режимах, при этом используются одни и те же турбодетандеры. При нерегулируемых турбомашинах изменение параметров (давления, температуры, расхода) приводит к некоторому снижению эффективности по сравнению с расчетными характеристиками турбин на определенный режим работы.

В течение 21 дня КГУ-1600/4,5 непрерывно работала без отказов на криостатирование с одним суперпериодом нуклотрона.

Рассмотрим некоторые параметры установки, работающей в режиме слива жидкого гелия в транспортные цистерны емкостью 500 л. Как правило, установка работает в течение одной смены, остальное время суток жидкий гелий, находящийся в 800-литровом сосуде блока, испаряется, и холодные пары, проходя через все теплообменники, поддерживают их при достаточно низкой температуре. Время запуска из холодного состояния 50-60 минут.

В пусковом и установившемся режимах работы измерялись давления перед агрегатом охлаждения, в сборнике жидкого гелия, расходы основного и детандерного потоков, давления и температуры на входе и выходе детандеров, частоты вращения турбин. Изознтропные КПД газовых машин определялись по входным и выходным параметрам, доля жидкости на выходе из парожидкостного турбодетандера находилась из теплового баланса сосуда по известно-

Таблица I

Экспериментальные и расчетные характеристики КТУ-1600/4,5

Наименование	Д а т ы и с п ы т а н и й					
	:12.03.90	:13.03.90	:14.03.90	:15.03.90	:19.03.90	:20.03.90
Время с момента начала ожидания, ч	2,20	4,10	3,10	3	4,20	2,40
Давление перед агрегатом охлаждения, МПа	2,38	2,34	2,38	2,48	2,51	2,40
Давление на входе в турбо- детандеры: МПа						
2-й	1,98	1,99	1,99	1,99	2,08	1,98
3-й	1,06	1,04	1,07	1,10	1,09	1,06
парожидкостный	2,23	2,19	2,23	2,33	2,35	2,24
Давление на выходе из турбо- детандера: МПа						
2-го	1,09	1,07	1,11	1,14	1,17	1,09
3-го	0,125	0,125	0,126	0,126	0,125	0,126
парожидкостного	0,155	0,158	0,158	0,158	0,155	0,158
Температура на входе в турбо- детандер: К						
2-й	59,77	59,61	59,97	60,45	60,14	58,48
3-й	25,94	26,11	26,50	26,46	26,79	25,98
парожидкостный	8,79	8,62	8,61	8,64	8,79	8,56

Продолжение таблицы I

Наименование	Д а т ы и с п ы т а н и й					
	12.03.90	13.03.90	14.03.90	15.03.90	19.03.90	20.03.90
Температура на выходе из турбодетандера, К						
2-го	52,71	52,59	53,00	53,06	53,26	51,62
3-го	16,73	17,03	17,01	16,52	17,12	16,88
парожидкостного	4,71	4,76	4,80	4,81	4,75	4,77
Частота вращения ротора, тис.об/мин						
2-го	162	156	159	168	162	159
3-го	165	162	162	174	174	167
парожидкостного	174	168	168	174	186	171
Расход через турбодетандер:						
2-й кг/с	0,0866	0,0844	0,0823	0,0848	0,0869	0,0843
3-й кг/с	0,0866	0,0844	0,0823	0,0848	0,0869	0,0845
парожидкостный кг/с	0,0790	0,0813	0,0837	0,0813	0,0788	0,0813

Наименование	Д а т ы и с п ы т а н и й									
	12 03 90	13 03 90	14 03 90	15 03 90	16 03 90	17 03 90	18 03 90	19 03 90	20 03 90	21 03 90
Мощность турбодетандера, кВт										
2-го	3,40	3,33	3,15	3,52	3,33	3,33	3,33	3,33	3,26	3,26
3-го	4,04	3,92	3,93	4,34	4,27	4,27	4,27	4,27	3,94	3,94
парожидкостного	0,93	0,86	0,88	0,92	0,97	0,97	0,97	0,97	0,85	0,85
Изоэнтروпный КПД турбодетандера, %										
2-го	56,8	54,8	57,0	61,5	56,1	56,1	56,1	56,1	56,5	56,5
3-го	59,5	58,6	60,1	62,7	60,1	60,1	60,1	60,1	58,8	58,8
парожидкостного	60,5	56,3	55,8	57,6	60,5	60,5	60,5	60,5	55,1	55,1
Коэффициент охлаждения, %	9,48	9,03	9,25	9,70	9,78	9,78	9,78	9,78	9,18	9,18
Производительность по жидкому гелию, л/ч	476	459	463	495	495	495	495	495	468	468

Таблица 2
Проектные и экспериментальные характеристики КГУ-1600/4,5

Наименование	Проект	Эксперимент
Давление перед агрегатом охлаждения, МПа	2,68	2,4 ... 2,5
Количество циркулирующего гелия, кг/с	0,166	0,164 ... 0,166
Расход жидкого азота, кг/ч	210	250
Производительность по жидкому гелию, л/ч	500	460 ... 495
Удельный расход энергии, кВт·ч/л	1,58	1,7 ... 1,9
Турбодетандер 1		
Давление на входе, МПа	26,0	не работает
Давление на выходе, МПа	19,85	
Температура на входе, К	164,2	
Температура на выходе	153,5	
Поток, кг/кг	0,393	
Изоэнтропный КПД	0,65	
Турбодетандер 2		
Давление на входе, МПа	1,96	1,98 ... 2,10
Давление на выходе, МПа	1,19	1,09 ... 1,16
Температура на входе, К	68,1	58,5 ... 60,5
Температура на выходе, К	60,16	51,6 ... 53,3
Поток, кг/кг	0,396	0,49 ... 0,52
Изоэнтропный КПД, %	65	55 ... 61
Турбодетандер 3		
Давление на входе, МПа	1,17	1,04 ... 1,10
Давление на выходе, МПа	0,127	0,125 ... 0,126
Температура на входе, К	36,04	25,0 ... 26,8
Температура на выходе, К	21,96	16,5 ... 17,1
Поток, кг/кг	0,396	0,49 ... 0,52
Изоэнтропный КПД, %	65	59 ... 63
Парожидкостный турбодетандер		
Давление на входе, МПа	2,5	2,20 ... 2,35
Давление на выходе, МПа	0,131	0,155 ... 0,158
Температура на входе, К	9,8	8,7 ... 8,8
Температура на выходе, К	4,5	4,75 ... 4,80
Поток, кг/кг	0,604	0,48 ... 0,51
Изоэнтропный КПД, %	75	56 ... 61

му коэффициенту ожижения. Темп ожижения измерялся по изменению количества гелия в газгольдере.

В табл. 1 приводятся некоторые экспериментальные и расчетные характеристики установки, определенные через 2,5 ÷ 4,5 ч после начала ожижения, для шести выбранных рабочих дней.

При захлаживании установки наблюдается рост ее производительности по жидкому гелию, поэтому при более длительной эксплуатации можно получить больше 500 л/ч.

Парожидкостный турбодетандер работает в установке на основном потоке и запускается немного позже газовых машин. Как в пусковом режиме, так и в режиме ожижения детандер работает устойчиво. Его изоэнтропный КПД меняется в диапазоне 58 ÷ 61%, в отдельных режимах достигая величин 64 ÷ 66%. Доля жидкости на выходе из парожидкостного детандера составляет 18 ÷ 20%, причем увеличение этой доли ведет к росту коэффициента ожижения.

Представляет интерес сравнение проектных параметров установки и ее эксплуатационных характеристик (см. табл.2). По сравнению с проектом установка потребляет больше жидкого азота (250 вместо 210 кг/ч), что приводит к повышению стоимости жидкого гелия. Все турбодетандеры работают с изоэнтропным КПД, более низким, чем заданы в проекте. Однако по производительности установка выходит на параметры, близкие к расчетным. Это можно объяснить влиянием следующих факторов:

- увеличением расхода жидкого азота;
- перераспределением основного и детандерного потоков;
- весьма эффективной работой теплообменной аппаратуры, которая рассчитывалась на более нагруженный рефрижераторный режим и проектировалась с определенным коэффициентом запаса теплообменной поверхности.

Таким образом, опыт эксплуатации КГУ-1600/4,5 в ожижительном режиме показывает, что эта многоцелевая установка является в настоящее время крупнейшим в нашей стране гелиевым ожижителем и может эффективно использоваться для ожижения больших количеств гелия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пронько В.Г. и др. — ОИЯИ, Р18-12147, Дубна, 1979, с.347.
2. Агапов Н.Н. и др. — ОИЯИ, 8-86-368, Дубна, 1986.
3. Давыдов А.Б. и др. — ОИЯИ, 8-86-711, Дубна, 1986.
4. Давыденков И.А. и др. — В кн.: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции "Криогенная техника — науке и производству". М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1991, с.60.

Рукопись поступила в издательский отдел
28 декабря 1991 года.