

УДК 621.59(075.8)

А.Ф. Громов, Н.Н. Почуева*

ОАО «Криогенмаш», пр. Ленина, 67, г. Балашиха Московской области, РФ, 143900

*e-mail: pochueva@cryogenmash.ru

АЗОТНЫЕ И АЗОТНО-КИСЛОРОДНЫЕ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

ОАО «Криогенмаш» изготовил и ввёл к эксплуатацию до 1990 г. около 70-ти азотных воздухоразделительных установок (ВРУ) большой производительности. С 1991 г. предприятие разрабатывает и создаёт более эффективные и менее энергоёмкие ВРУ нового поколения средней производительности. Типовой ряд установок в последние годы расширен с целью обеспечения потребителей не только азотом, но также кислородом и аргоном. ВРУ нового поколения имеют блочно-модульное исполнение. Приводятся схемы и характеристики азотных и азотно-кислородных ВРУ, создаваемых на базе современных схемных и конструкторских решений.

Ключевые слова: Воздухоразделительная установка. Компримирование воздуха. Охлаждение. Очистка воздуха. Ректификация. Производство холода. Регулирование. Продукты разделения. Техническая характеристика. Энергозатраты.

A.F. Gromov, N.N. Pochueva

NITRIC AND NITRIC-OXYGEN AIR SEPARATION PLANTS OF AVERAGE PRODUCTIVITY OF NEW GENERATION

JSC «Cryogenmash» has made and has entered into operation till 1990 year about 70 ton-nages nitric air separation plants (ASP). Since 1991 year the enterprise develops and creates more effective and less power-intensive ASP of new generation of average productivity. A model line of plants during last years is expanded with the purpose of maintenance of consumers not only by nitrogen but also by oxygen and argon. ASP of new generation have block-module version. The circuits and specification of nitric and nitric-oxygen ASP created on the basis of modern circuit and design decisions are resulted.

Keywords: Air separation plant. Compressed air. Cooling. Clearing of air. Rectification. Manufacture of cold. Regulation. Separation products. Specification. Power inputs.

1. ВВЕДЕНИЕ

ОАО «Криогенмаш» выполняет полный цикл работ, включая исследование, разработку, изготовление и введение в эксплуатацию криогенного оборудования. Основное направление деятельности — создание воздухоразделительных установок (ВРУ), предназначенных для получения кислорода, азота, аргона, без которых сегодня невозможно представить функционирование и дальнейшее развитие металлургической, химической и других отраслей промышленности.

Широкую рыночную нишу занимают производимые нами азотные и воздухоразделительные установки средней производительности. Об этой стороне деятельности предприятия и пойдёт речь в настоящей статье.

Разработку и внедрение азотных установок ОАО «Криогенмаш» осуществлял, начиная с конца 60-ых

гг. прошлого века. До 1990 г. для химической и нефтехимической промышленности было выпущено 40 установок А-8 и А-8-1, а также 28 установок типа А-6 и ААж-6. Характеристики и параметры этих установок известны и широко представлены в каталогах [1-3]. Все они построены по схеме с одной основной ректификационной колонной, регенераторами в качестве основного узла теплообмена и детандером на отбросном газе, т.е. по классической схеме азотных ВРУ. Для получения кислорода в схему этих ВРУ включалась колонна технического кислорода с насосом высокого давления.

Установки средней производительности в период до 1990 г. ОАО «Криогенмаш» не создавал. Тогда в стране с учётом специализации предприятий криогенного машиностроения их изготовлением занимался ОАО «Кислородмаш» (Украина).

Начиная с 1991 г., ОАО «Криогенмаш» присту-

Таблица 1. Типовой ряд азотных установок

Установка	ААж-0,7	ААж-1,5	ААж-2	ААж-3	ААж-4	ААж-6,5	ААж-8
Расход воздуха, $\text{нм}^3/\text{ч}$	1750	3650	5000	7500	10000	16000	19300
Газовый режим, 5 ppm O_2							
Азот, $\text{нм}^3/\text{ч}$	715	1500	2114	3060	4175	6780	8200
Газовый режим, 1 ppm O_2							
Азот, $\text{нм}^3/\text{ч}$	700	1480	2080	3025	4110	6650	8050
Газожидкостный режим, ≤ 1 ppm O_2							
Азот, $\text{нм}^3/\text{ч}$	430	1050	1200	1500	2300	5780	7150
Жидкий азот, $\text{кг}/\text{ч}$	50	90	140	200	300	410	490
Режим с максимальным получением жидкого кислорода							
Азот, $\text{нм}^3/\text{ч}$	415	1245	1480	2590	3570	6000	6760
Жидкий кислород, $\text{кг}/\text{ч}$	50	95	120	160	235	335	440

пил к разработке и созданию более эффективных и менее энергоёмких установок нового поколения (см., например, табл. 1). Физически и морально устаревший парк азотных установок требовал замены. В условиях недостатка средств на создание новых крупных азотных установок потребителями предпринимались систематические попытки проведения модернизации устаревших азотных ВРУ. Так, нами была осуществлена модернизация установки А-8-1 на предприятии ООО «Томскнефтехим» [4] и разработан проект модернизации ВРУ, эксплуатировавшейся на предприятии ОАО «Нижнекамскнефтехим».

Одновременно началось создание азотных и азотно-кислородных установок средней производительности для получения газообразных и жидких кислорода и аргона. Для конкретных заказчиков были разра-

ботаны и изготовлены несколько азотных установок, таких как ААж-0,65 и ААж-0,65-1 (г. Ефремов, Сырань, Горный), АКДж-1,2/0,15 (г. Волжский), АКД-2 (г. Оренбург). Характеристики и схемы этих установок также представлены в табл. 2 и на рис. 1. По результатам расчётно-теоретических исследований [5] были созданы несколько установок с повышенным до 0,6 теоретическим извлечением газообразного азота под давлением. Две установки ААж-5 были изготовлены для Новоуренгойского газохимического комплекса (г. Новый Уренгой), две установки А-7 — для Московского нефтеперерабатывающего завода. К сожалению, они ещё не введены в эксплуатацию. В настоящее время идёт поставка оборудования 2-ух установок Ад-16 в ООО «Танеко» (г. Нижнекамск).

2. СОЗДАНИЕ РЯДА АЗОТНЫХ УСТАНОВОК

Таблица 2. Характеристики выпущенных азотных установок нового поколения

Наименование	Значения для режимов и установок				
	ААж-0,65-1		АКДж-1,2/0,15		АКД-2
Тип установки	Режим 1	Режим 2	Режим 1	Режим 2	
Воздух на входе в установку:					
— объёмный расход, $\text{м}^3/\text{ч}^*$	1800	1800	4750	4750	6000
— абсолютное давление, МПа	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
— температура, К	323	323	323	323	323
Воздух перерабатываемый:					
— объёмный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$	1650	1650	4600	4600	5850
Продукты разделения					
Азот газообразный:					
— объёмный расход, $\text{м}^3/\text{ч}^*$	650	500	1200	1200	2000
— абсолютное давление, МПа	0,75-0,8	0,75-0,8	0,75	0,75	0,75
— объёмная доля кислорода, %	0,0005	0,0005	0,0002	0,0002	0,0005
Азот жидкий:					
— массовый расход, $\text{кг}/\text{ч}$	—	40	—	145	—
— абсолютное давление, МПа	—	0,75	—	0,75	—
— объёмная доля кислорода, %	—	0,0005	—	0,0002	—
Кислород газообразный:					
— объёмный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$	—	—	150	—	90
— абсолютное давление, МПа	—	—	20	—	20
— объёмная доля кислорода, %	—	—	99,7	—	99,7

Примечание: *) Объёмные расходы приведены к условиям: давление — 0,1013 МПа; температура — 293 К; относительная влажность — 0 %.

Проведена работа по обобщению параметров и созданию типоразмерного ряда эффективных азотных установок нового поколения, который перекрывал бы большинство потребностей потенциальных заказчиков как в основном продукте разделения — газообразном и жидком азоте, так и в газообразном и жидком кислороде. Основные характеристики установок представлены в табл. 1.

Приведённые в таблицах 2 и 3 характеристики разработанных азотных установок и сравнение их с характеристиками установок типоразмерного ряда свидетельствует о том, что созданные установки не перекрывают всего требуемого диапазона производительностей по газообразному азоту. Это означает, что для соз-

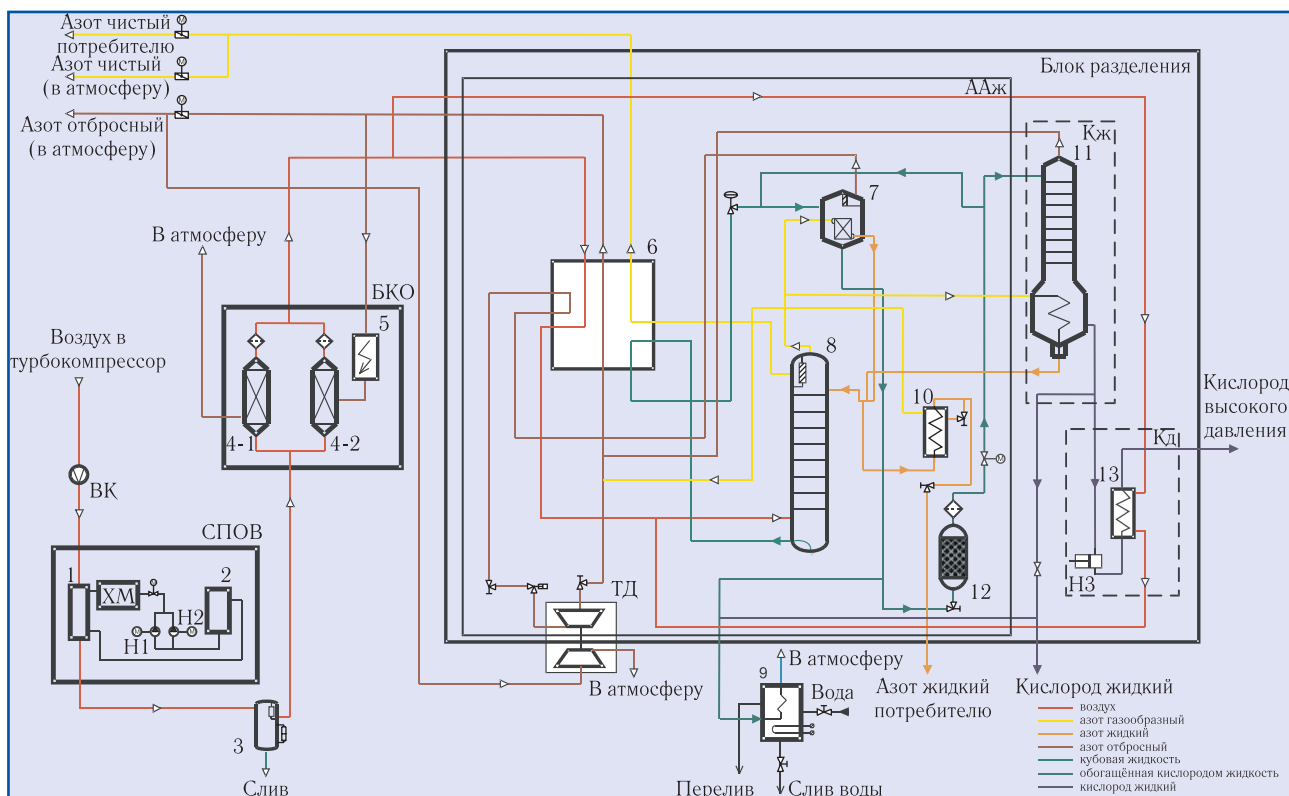


Рис. 1. Принципиальная схема установок типа ААЖКЖКД (ААЖ-0,7/0,05, АКДАЖ-1,2/0,15, А-1,5, ААЖ-6,5, АКД-2): ВК — воздушный компрессор; БКО — блок комплексной очистки; СПОВ — система предварительного охлаждения воздуха; ТД — агрегат турбодетандерный; Н1, Н2 — водяные насосы; Н3 — криогенный насос; ХМ — холодильная машина; 1 — теплообменник воздушный; 2 — влагоотделитель; 3 — ёмкость промежуточного хладоносителя; 4-1, 4-2 — адсорберы; 5 — электронагреватель; 6 — основной теплообменник; 7 — основной конденсатор; 8 — нижняя колонна; 9 — испаритель; 10 — переохладитель жидкого азота; 11 — колонна технического кислорода; 12 — адсорбер жидкого кислорода; 13 — теплообменник высокого давления

Таблица 3. Характеристики разработанных за последние два года азотных установок

Наименование	Значения для режимов и установок						
	ААЖ-0,7/0,05		А-1,5	ААЖ-6,5		АД-16	
	Режим 1	Режим 2		Режим 1	Режим 2	Режим 1	Режим 2
Воздух на входе в установку:							
— объёмный расход, м ³ /ч ¹⁾	1750	1750	3650	16200	16200	35400	35400
— абсолютное давление, МПа	0,9	0,92	0,9	0,9	0,9	1,02	1,02
— температура, К	323	323	323	313	313	376	376
Воздух перерабатываемый:							
— объёмный расход, м ³ /ч	1680	1680	3550	15800	15800	35000/ 31000 ³⁾	35000/ 29300 ³⁾
Азот газообразный:							
— объёмный расход, м ³ /ч ¹⁾	700	400	1480 ²⁾	6700	5400	16000	15000
— абсолютное давление, МПа	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,95	0,95
— объёмная доля кислорода, %	0,0001	0,0001	0,0001	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Азот газообразный выс. давл.:							
— объёмный расход, м ³ /ч ¹⁾	—	—	—	—	—	—	500
— абсолютное давление, МПа	—	—	—	—	—	—	6,4
— объёмная доля кислорода, %	—	—	—	—	—	—	0,0005
Азот жидкий:							
— массовый расход, кг/ч	—	50	—	—	400	—	150 ⁴⁾
— абсолютное давление, МПа	—	0,75	—	—	0,75	—	0,5
— объёмная доля кислорода, %	—	0,0001	—	—	0,0005	—	0,0005

Примечания: ¹⁾ Объёмные расходы приведены к условиям: давление — 0,1013 МПа; температура — 293 К; относительная влажность — 0 %. ²⁾ Может быть получен жидкий азот в количестве до 80 кг/ч за счёт сокращения количества газообразного. ³⁾ На входе в основной теплообменник / на входе в нижнюю колонну (отличаются на величину детандерного потока, воздух которого не участвует в ректификации и служит только для получения холода в детандере). ⁴⁾ Допускается увеличение количества жидкого азота до 450 кг/ч за счёт уменьшения производительности по газообразному азоту.

дания полного ряда установок требуется провести разработку установок производительностью 3000, 4000, 8000 и 10000 м³/ч азота.

Большинство разработанных азотных установок являются серийными и многофункциональными. Они рассчитывались для работы в режимах: газовом с получением газообразного азота; в газожидкостном с производством достаточного количества газообразного и жидкого азота; для получения жидкого и газообразного кислорода под высоким давлением. В отдельных случаях, например, в установке ААж-0,7/0,05, когда заказчику не требовался кислород, обеспечивалась возможность включения в схему ВРУ узла технического кислорода для получения соответствующего

продукта другими потенциальными заказчиками. Когда у заказчика отсутствовала необходимость в азоте высокой чистоты, оборудование установки всё равно рассчитывалось на его получение с учётом потребностей других заказчиков и с целью исключения необходимости разработки специальных установок для каждого заказчика в отдельности и т.д.

Перечень и характеристики установок, созданных за последние два года, представлены в таблицах 3 и 4, а схемы — на рисунках 1-5. Рассмотрим технические особенности и преимущества вновь созданных установок.

3. ОСОБЕННОСТИ АЗОТНЫХ УСТАНОВОК

Таблица 4. Характеристики разработанных за последние два года азотно-кислородных установок средней производительности

Наименование Тип установки	Показатели для режимов и установок					
	КжААрж-1,2/5	КААр-1,5/0,3	КдКжАрж-1,6/0,8		КдКжАрж-1,6/0,2	
			Режим 1	Режим 2	Режим 1	Режим 2
Воздух на входе в установку:						
– объёмный расход, м ³ /ч ¹⁾	8900	10400	11000	11000	14650	14650
– абсолютное давление, МПа	3,1	0,9	3,6	3,6	0,75	0,75
– температура, К	323	323	313	313	313	313
Воздух перерабатываемый:						
– объёмный расход, м ³ /ч	8600	10200/ 8150 (7250) ³⁾	10650	10650	14500/ 11500 ³⁾	14500/ 9700 ³⁾
Кислород жидкий:						
– массовый расход, кг/ч	1200	–	600	1000	–	400
– абсолютное давление, МПа	0,25	–	0,25	0,25	–	0,15
– объёмная доля кислорода, %	99,7	–	99,7	99,7	–	99,8
Кислород газообразный:						
– объёмный расход, м ³ /ч	725	1600 ²⁾	1600	1000	2300	1600
– абсолютное давление, МПа	0,125	0,11	3,1	3,1	0,12	0,12
– объёмная доля кислорода, %	99,6	99,7	99,7	99,7	99,8	99,8
Азот газообразный:						
– объёмный расход, м ³ /ч ¹⁾	5000	3000	1400	1400	–	–
– абсолютное давление, МПа	0,105	0,11	0,105	0,105	–	–
– объёмная доля кислорода, %	0,0001	0,0005	0,0002	0,0002	–	–
Азот газообразный выс. давл.:						
– объёмный расход, м ³ /ч	–	100	–	–	–	–
– абсолютное давление, МПа	–	0,65	–	–	–	–
– объёмная доля кислорода, %	–	0,0005	–	–	–	–
Аргон жидкий:						
– массовый расход, кг/ч	70	60	80	80	100	100
– абсолютное давление, МПа	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25
– объёмная доля кислорода, %	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
– объёмная доля азота, %	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
Азот жидкий:						
– массовый расход, кг/ч	–	–	100	100	50	50
– абсолютное давление, МПа	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6
– объёмная доля кислорода, %	–	–	0,0002	0,0002	0,0005	0,0005

Примечания: ¹⁾ Объёмные расходы приведены к условиям: давление — 0,1013 МПа; температура — 293 К; относительная влажность — 0 %. ²⁾ Может быть получен жидкий кислород в количестве до 200 кг/ч за счёт сокращения количества газообразного. ³⁾ На входе в основной теплообменник / на входе в нижнюю колонну (отличаются на величину детандерного потока, воздух которого не участвует в ректификации и служит только для получения холода в детандере). В скобках для режима с получением жидкости.

Основная особенность особенность азотных установок нового поколения — высокая степень извлечения азота, а, следовательно, минимальные энергозатраты на его получение. Как видно из представленных данных, доля производимого газообразного азота по отношению к перерабатываемому воздуху в новых азотных установках достигает 0,42 и очень близка к теоретическому пределу [5,6], составляющему 0,42-0,44 в зависимости от давления в узле ректификации. Она существенно превышает степень извлечения азота в установках типа А-8-1 и ААж-6, которая была не выше 0,35. Исключением являются первые установки ААж-0,65 с расчётной степенью извлечения 0,36. Одна-

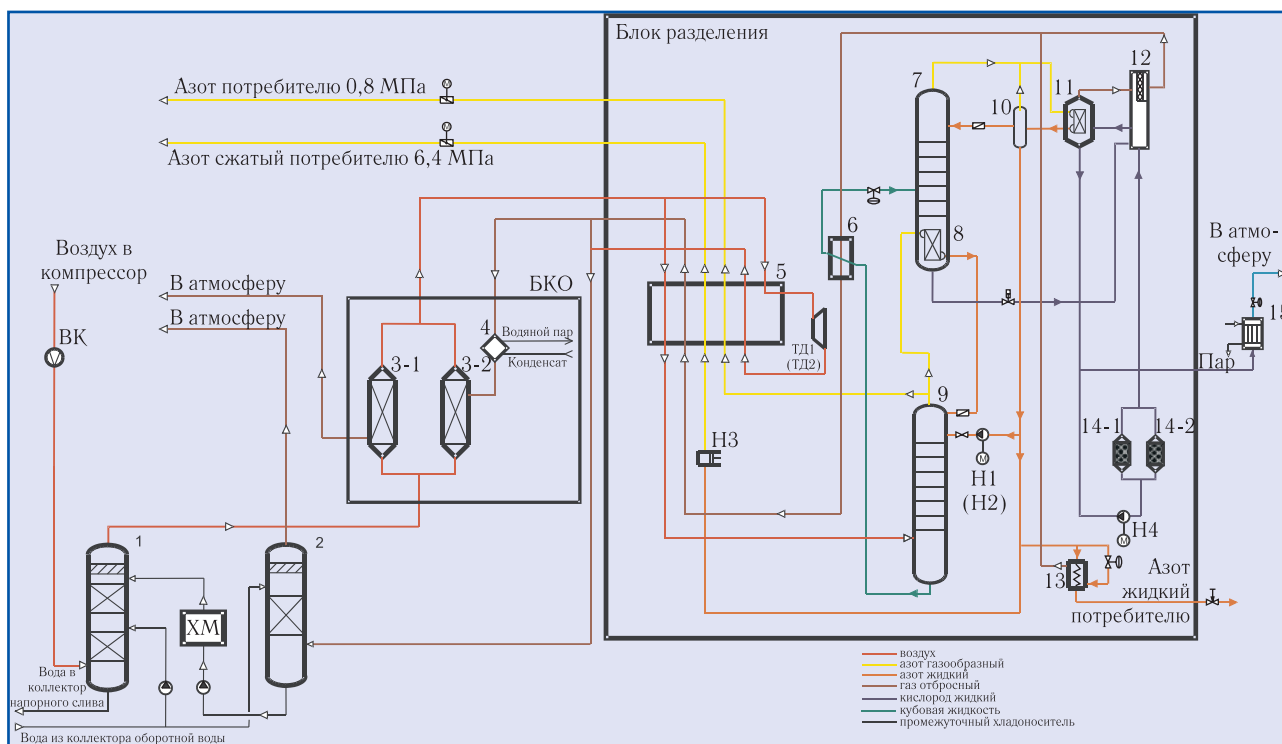


Рис. 2. Принципиальная схема ВРУ типа Ад-16 с повышенным извлечением азота: ВК — компрессор воздушный; БКО — блок комплексной очистки; ТД1 (ТД2) — агрегат турбодетандерный; Н1, Н2, Н3, Н4 — криогенные насосы; 1 — воздушный скруббер; 2 — азотный скруббер; 3-1, 3-2 — адсорберы; 4 — паронагреватель; 5 — основной теплообменник; 6 — переохладитель кубовой жидкости; 7 — колонна верхняя; 8 — основной конденсатор 1; 9 — колонна нижняя; 10 — сборник жидкого азота; 11 — основной конденсатор 2; 12 — сепаратор; 13 — переохладитель жидкого азота; 14-1, 14-2 — адсорберы жидкости, обогащённой кислородом; 15 — испаритель жидкого кислорода

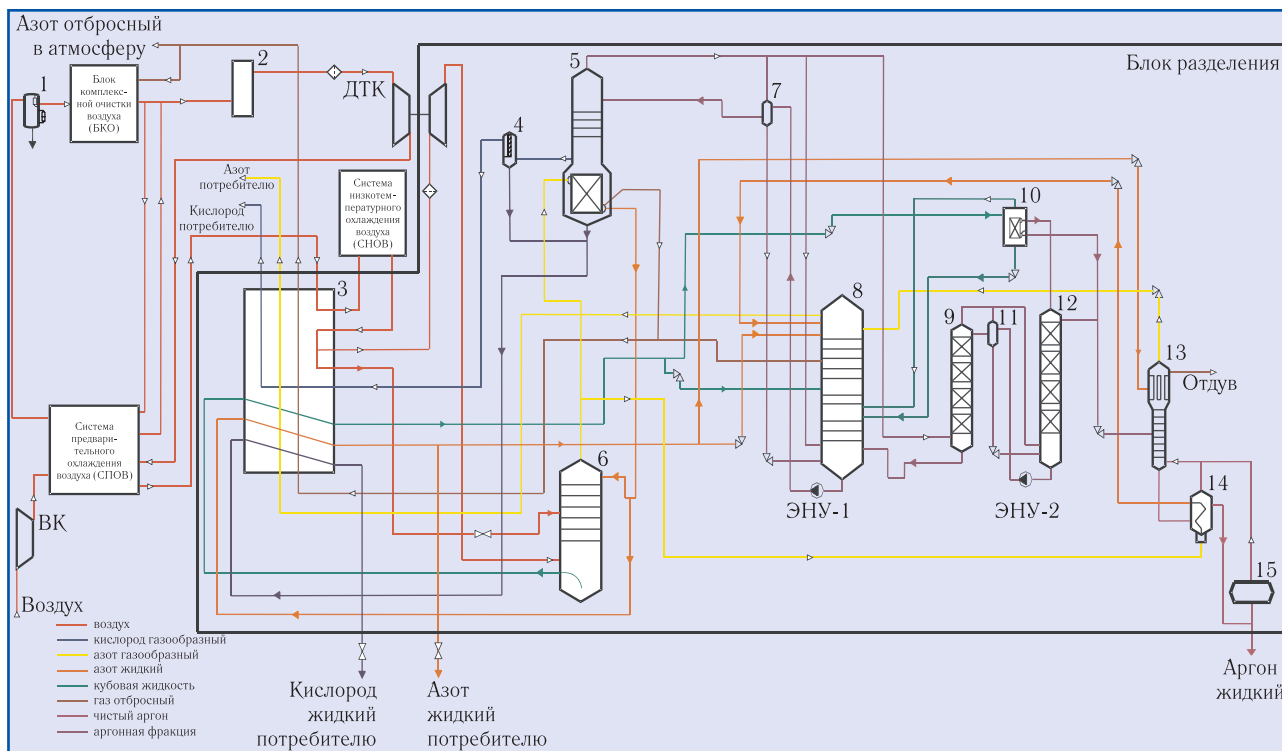


Рис. 3. Принципиальная схема установки КжААрж-1,2/5: ВК — компрессор воздушный; ТДК — агрегат турбодетандер-компрессорный; ЭНУ1, ЭНУ2 — электронасосные установки; 1 — влагоотделитель; 2 — ресивер; 3 — основной теплообменник; 4 — сепаратор; 5 — колонна отгонная; 6 — колонна нижняя; 7 — сборник-распределитель; 8 — колонна концентрационная; 9 — колонна сырого аргона; 10 — конденсатор колонны технического аргона; 11 — сборник-распределитель; 12 — колонна технического аргона; 13 — колонна чистого аргона; 14 — конденсатор колонны чистого аргона; 15 — сборник чистого аргона

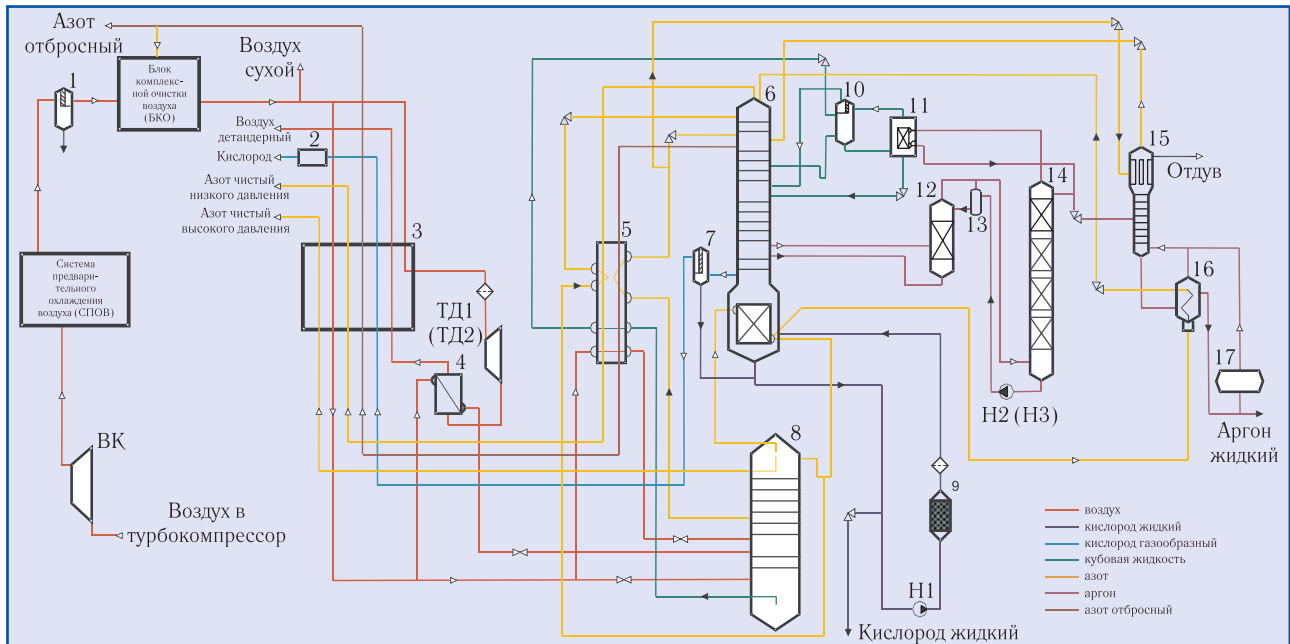


Рис. 4. Принципиальная схема установки КААр-1,5/0,3: ВК — компрессор воздушный; ТД1 (ТД2) — агрегат турбодетандерный; Н1, Н2, Н3 — криогенные насосы; 1 — влагоотделитель; 2 — испаритель жидкого кислорода; 3 — основной теплообменник; 4 — подогреватель детандерного потока; 5 — переохладитель; 6 — колонна верхняя; 7 — сепаратор; 8 — колонна нижняя; 9 — адсорбер жидкого кислорода; 10 — сепаратор; 11 — конденсатор колонны технического аргона; 12 — колонна сырого аргона; 13 — сборник жидкой аргонной фракции; 14 — колонна технического аргона; 15 — колонна чистого аргона; 16 — нижний конденсатор колонны чистого аргона; 17 — сборник чистого аргона

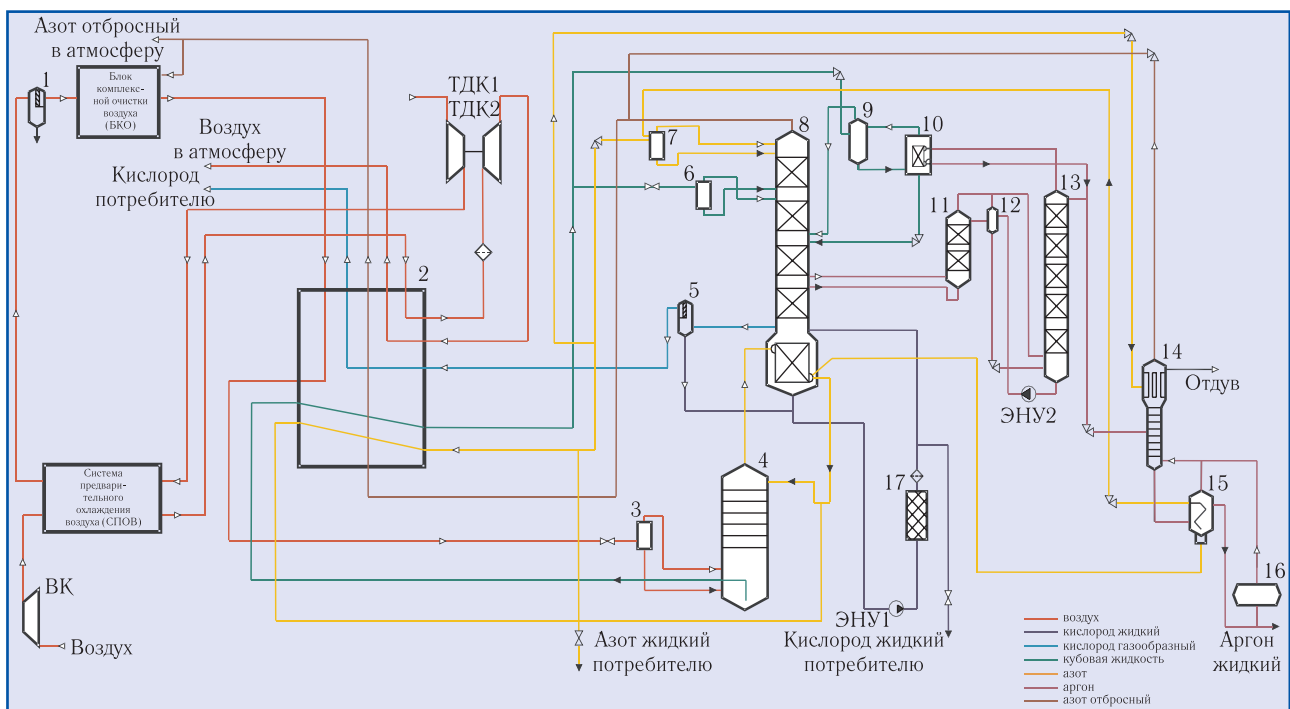


Рис. 5. Принципиальная схема установок типа КдКжАрж-1,8/0,2, КдКжАрж-1,6/0,9: ВК — компрессор воздушный; ТДК1, ТДК2 — агрегаты турбодетандер-компрессорные; ЭНУ1, ЭНУ2 — криогенные насосы; 1 — влагоотделитель; 2 — основной теплообменник; 3 — сепаратор воздуха; 4 — колонна нижняя; 5 — сепаратор кислородный; 6 — сепаратор кубовой жидкости; 7 — сепаратор чистой азотной флегмы; 8 — колонна верхняя; 9 — сепаратор кубовой жидкости; 10 — конденсатор колонны технического аргона; 11 — колонна сырого аргона; 12 — сборник жидкой аргонной фракции; 13 — колонна технического аргона; 14 — колонна чистого аргона; 15 — нижний конденсатор колонны чистого аргона; 16 — сборник чистого аргона; 17 — адсорбер жидкого кислорода

ко, как показывают результаты испытаний, в реальности извлечение азота в этих ВРУ оказалось выше расчётного и составило 0,38-0,39.

Большинство азотных ВРУ нового поколения, как и установки раннего периода, строятся по традиционной схеме с одной основной ректификационной колонной и детандером на парах кубовой жидкости из основного конденсатора. Очистка воздуха от примесей осуществляется в блоках комплексной очистки с цеолитовыми короткоцикловыми адсорберами. Охлаждение его до рабочих температур производится в пластинчато-ребристых нереверсивных теплообменниках.

В соответствии с результатами расчётно-теоретических исследований [5] схемные решения установок с повышенным извлечением азота под давлением существенно отличаются от традиционных (табл. 3, рис. 2). Подобные схемные решения применяются для установок с производительностью, превышающей 10 тыс. м³/ч азота. Основной узел ректификации — двухсекционный. В первой ступени (нижней колонне) воздух разделяется на чистый газообразный азот и кубовую жидкость. Продукционный азот отбирается из этой ступени. Во второй ступени кубовая жидкость разделяется на обогащённую кислородом жидкость и также газообразный чистый азот. Часть сконденсированного жидкого азота отбирается из второй ступени ректификации и направляется в первую ступень в качестве дополнительной азотной флегмы. Благодаря этому достигается повышенное извлечение газообразного азота. Затраты холода покрываются с помощью турбодетандер-компрессорного агрегата или детандера на воздухе, который не участвует в ректификации. Наличие этого потока несколько снижает общую эффективность извлечения азота, которая в этом случае в большей степени зависит от масштабов установки и холодопотерь в ней.

Почти всем вновь созданным азотным установкам присуща возможность получения азота в жидком и газообразном состояниях. Их оснащают узлами получения жидкого и газообразного кислорода. Для надёжного обеспечения взрывобезопасности в схему установок включается циркуляционный контур с адсорберами на жидкости из основного конденсатора. Особенность недавно разработанных азотных установок, таких как А-1,5 и ААж-6,5, заключается в организации этого циркуляционного контура. В качестве движущей силы используется энергия дросселирования кубовой жидкости из нижней колонны в основной конденсатор.

Важной отличительной особенностью конструкций азотных установок нового поколения является блочно-модульное их исполнение с максимальной заводской готовностью. По мере разработки новых установок степень объединения оборудования в модули постоянно повышалась. Если в первых установках ААж-0,65-1 в качестве отдельных модулей поставлялись блок разделения, турбодетандерный агрегат, блок комплексной очистки и система предварительного охлаждения воздуха, то в установках ААж-

0,7/0,05, АКДАж-1,2/0,15 и А-1,5 к ним добавился блок арматуры с электронагревателем. Турбодетандер в этих установках встраивался в блок разделения. Испаритель быстрого слива со сливным коллектором также был объединён с блоком разделения. Таким образом, всё оборудование установки было заключено в блоки, производимые на заводе-изготовителе. Монтаж установки сводился к разводке гладких трубопроводов, связывающих готовые блоки. Трудоёмкость монтажа уменьшалась, а продолжительность его сокращалась.

Приведём краткие характеристики произведённых нами установок.

3.1. Установка ААж-0,65

Это первая ВРУ средней производительности, созданная ОАО «Криогенмаш».

3.2. Установка ААж-0,7/0,05

Это первая из азотных ВРУ, которая разрабатывалась (см. табл. 1) как серийная. Её отличают простота, надёжность, минимальное количество оборудования и средств контроля и измерения. Использованное в ней комплектующее оборудование, например, СПОВ, прошло проверку в составе установки ААж-0,65-1. Она перерабатывает 1680 м³/ч воздуха с абсолютным давлением до 0,92 МПа и работает с воздушным турбокомпрессором производительностью 1800 м³/ч. Установка имеет три режима работы:

1. Газовый для производства 715 м³/ч азота с объёмной долей в нём кислорода 0,0005 %.

2. Газовый для выдачи 700 м³/ч азота с объёмной долей в нём кислорода 0,0001 %.

3. Газожидкостный для получения 400 м³/ч газообразного азота, 50 кг/ч жидкого азота с объёмной долей кислорода в азоте менее 0,0001 %.

Установка поставляется с воздушным компрессором и рядом готовых модулей.

В соответствии с современными подходами установка не имеет нагревателей для отогрева холодного блока. Осушка блока разделения осуществляется воздухом из БКО с точкой росы не ниже, чем -70 °С. Установка в настоящее время отгружается в ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» (г. Ярославль).

3.3. Установка А-1,5

Установка разработана и должна поставляться в ЗАО «ГК Титан» (ОАО «Омский каучук»). В ней перерабатывается 3550 м³/ч воздуха с абсолютным давлением до 0,9 МПа, который подаётся воздушным турбокомпрессором с производительностью 3750 м³/ч. Установка имеет три режима работы:

1. Газовый для производства 1500 м³/ч азота с объёмной долей кислорода в нём до 0,01 % (в соответствии с договором на поставку).

2. Газовый для производства 1480 м³/ч азота с объёмной долей кислорода в нём 0,0001 %.

3. Газожидкостный для выработки 1000 м³/ч газообразного азота, 80 кг/ч жидкого азота с объёмной долей кислорода в азоте менее 0,0001 %.

Для обеспечения взрывобезопасных условий эксплуатации в схему блока разделения включён циркуляционный адсорбер на потоке кубовой жидкости основного конденсатора. В составе установки имеется воздушный компрессор. Она состоит из готовых модулей.

3.4. Установка ААж-6,5

Установка создана для ОАО «Газпромнефть-Омский НПЗ». В ней перерабатывается 15850 м³/ч воздуха, подаваемого воздушным центробежным компрессором с производительностью 16200 м³/ч и давлением нагнетания 0,9 МПа. Установка может работать в газовом и газожидкостном режимах:

1. Газовый с производительностью 6700 м³/ч азота, содержащего объёмную долю кислорода в нём до 0,0005 %.

2. Газожидкостный с производительностью 5400 м³/ч газообразного и 400 кг/ч жидкого азота с объёмной долей кислорода в азоте до 0,0005 %.

Установка поставляется с воздушным компрессором и несколькими готовыми модулями.

3.5. Установка Ад-16

Установка создана для обеспечения потребностей производств ОАО «Танеко» (г. Нижнекамск, Татарстан) в азоте и снабжения им других потребителей региона. Она занимает особое место среди созданных в последние два года азотных установок. Во-первых, по своим масштабам она тяготеет к крупным воздуходелительным установкам. Во-вторых, установка строится по схеме с увеличенным выходом азота под повышенным давлением и имеет двухступенчатый узел ректификации. Кроме того, в этой установке азот выдаётся под избыточным давлением 0,85 МПа, что существенно выше традиционного, составляющего 0,65 МПа, а давление сжатого воздуха на входе в установку превышает 1 МПа. Наряду с газообразным азотом, отбираемым из нижней колонны, установка позволяет получить азот под давлением 6,4 МПа и жидкий азот. Как и в большинстве крупных ВРУ, узел предварительного охлаждения воздуха Ад-16 оснащается высокоэффективными скрубберами со структурированной насадкой, которые позволяют охлаждать воздух с температурой до 100 °С и исключают необходимость применения концевых холодильников в воздушных компрессорах. В схеме установки используются три группы криогенных насосов: для подачи дополнительной азотной флегмы в колонну первой ступени, для организации циркуляции кубовой жидкости в основном конденсаторе через адсорбер, для выдачи азота под давлением 6,4 МПа.

Установка может работать в газовом и газожидкостном режимах:

1. Газовый для производства 16000 м³/ч азота под давлением 0,85 МПа с объёмной долей кислорода в нём до 0,0005 %.

2. Газожидкостный с производительностью 15000 м³/ч газообразного азота под давлением 0,85 МПа, 500 м³/ч газообразного азота под давлением 6,4 МПа

и более 150 кг/ч жидкого азота с объёмной долей кислорода в азоте до 0,0005 %.

4. ОСОБЕННОСТИ АЗОТНО-КИСЛОРОДНЫХ УСТАНОВОК

Кроме азотных ВРУ, за последние годы были разработаны и поставлены несколько установок средней производительности с расширенным набором продуктов разделения, включая кислород, аргон, азот. Среди них установки: КААр-1,5/0,3 для ОАО «Ашинский металлургический завод»; КдКжАрж-1,8/0,2 для ОАО «Мотовилихинские заводы» (г. Пермь); КдКжАрж-1,6/0,8 для ООО «ОМЗ Нефтегазовые проекты (Ижорские заводы)»; КжААрж-1,2/5, созданная для ООО «Усольехимпром». Параметры и схемы установок представлены, соответственно, в табл. 3 и на рисунках 3-5.

Сформированы и реализованы подходы к разработке и созданию таких установок. Схемные решения основного узла ректификации и аргонного узла практически полностью повторяют построение аналогичных узлов крупных воздуходелительных установок и выполняются с применением насадочных колонн и секций. Исключение может составлять основной узел теплообмена, который строится в виде единого теплообменника, включающего, кроме функций охлаждения воздуха, функции переохладителей кубовой жидкости и азотной флегмы. Такое построение этого узла возможно только благодаря небольшой производительности ВРУ и минимальным габаритам аппаратов. Как и азотные ВРУ, кислородные установки средней производительности также изготавливаются в блочно-модульном исполнении. Однако при одинаковом стремлении к максимальной степени заводской готовности установок реализация блоков и модулей отличается от реализации аналогичных устройств азотных установок. Это связано с существенно большей высотой блоков разделения из-за применения насадочных аргонных колонн. В этой связи приходится идти на нетрадиционные решения, например, применять разрезные верхние колонны и колонны сырого и технического аргона с дополнительными криогенными насосами. Рассмотрим каждую из указанных установок в отдельности.

4.1. Установка КжААрж-1,2/5

Установка КжААрж-1,2/5 предназначена, главным образом, для получения относительно большого количества жидкого кислорода с одновременным получением жидкого аргона, а также большого количества чистого газообразного азота.

Установка строится по схеме среднего давления с одним воздушным компрессором на 3 МПа. Особенностью этой и других установок среднего давления является повышенный до 20 °С и более рост температуры воздуха на выходе из БКО сразу после переключения адсорберов («тепловая пробка»). Это требует включения в схему дополнительных устройств для ликвидации «тепловой пробки». С этой целью в схему

системы предварительного охлаждения воздуха включён дополнительный теплообменник, в котором реализуется такой процесс.

Установка построена в блочно-модульном исполнении. Блок разделения состоит из двух модулей: блока ректификации и аргонного блока, которые поставляются на монтаж в собранном виде и стыкуются в один блок на месте монтажа. Для создания транспортальных модулей блока разделения воздуха верхняя колонна была выполнена из двух отдельных частей в виде законченных аппаратов. Причём верхняя её часть размещалась на полу блока разделения, а нижняя вместе с основным конденсатором устанавливалась над нижней колонной. Для подачи орошающей жидкости из одной части колонны в другую в схему включены дополнительные криогенные насосы. Как и во всех крупных установках, колонна технического кислорода также выполнена разрезной. Кроме этих основных модулей, в состав ВРУ включаются воздушный компрессор в виде единого модуля, блок системы предварительного охлаждения воздуха, блок низкотемпературного охлаждения воздуха, блок турбодетандер-компрессорного агрегата (ТДКА), два блока криогенных насосов.

4.2. Установка КдКжАрж-1,6/0,8

Установка КдКжАрж-1,6/0,8 предназначена для получения самых разнообразных продуктов разделения. Основные из них — газообразный кислород под давлением 3 МПа и жидкий кислород. Кроме того, установка позволяет получить газообразный чистый азот низкого давления, жидкие азот и аргон. Установка может работать в двух режимах. В одном из них производительность по газообразному кислороду составляет 1600 м³/ч, по жидкому — 600 кг/ч. В другом — соответственно 1000 м³/ч и 1000 кг/ч. Остальные продукты получают в этих режимах в одинаковом количестве.

Установка строится по схеме среднего давления с одним воздушным компрессором на 3,6 МПа. В этой связи установка имеет те же особенности, что и установка КжААрж-1,2/5, например, увеличенные «тепловые пробки». В отличие от КжААрж-1,2/5 в установке КдКжАрж-1,6/0,8 «тепловые пробки» устраняются за счёт изменения режима работы БКО. С этой целью в программе переключения адсорберов БКО увеличена продолжительность их параллельной работы, что позволило снизить величину «тепловых пробок» примерно до 12 °С. Система предварительного охлаждения воздуха поставляется россыпью и имеет тот же состав оборудования, что и в установке ААж-6,5. Дополнительно в её состав включён теплообменник охлаждения дожатого в ТДКА воздуха. Блок разделения составлен из двух полностью готовых модулей. Причём, реализованы те же подходы к их созданию, что и в установке КжААрж-1,2/5.

4.3. Установки КдКжАрж-1,8/0,2 и КААр-1,5/0,3

Как видно из представленных в табл. 4 данных, аббревиатуры в обозначениях установок не соответ-

ствуют их характеристикам. Это связано с тем, что они являются установками низкого давления и построены по одинаковой схеме с детандером на воздухе, который после расширения и подогрева выбрасывается в атмосферу и не участвует в ректификации. Установки отличаются производительностью и набором продуктов разделения. Кроме того, в первой установке воздух подаётся из цехового коллектора заказчика, а во второй — от компрессора, которым установка комплектуется. Существенной особенностью первой установки является расширенный диапазон регулирования производительности от 100 до 50 %. Поэтому верхняя колонна в этой установке выполнена насадочной. В этой же связи были существенно изменены подходы к проектированию аппаратов, турбодетандеров и схемы установки. Обе установки поставляются россыпью и поэтому компоновка этих установок не отличается от компоновок серии крупных ВРУ.

Установка КААр-1,5/0,3 поставлена заказчику и испытана в 2007 г. Результаты испытаний подтвердили достижение заданных параметров.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До 1990 г. ОАО «Криогенмаш» изготовил и ввёл в эксплуатацию около 70-ти азотных воздухоразделительных установок А-6, ААж-6, А-8 и А-8-1. В них использовались технологические схемы с одной ректификационной колонной, переключающимися регенераторами и детандером на отбросном газе.

С 1991 г. предприятие разрабатывает и создаёт более эффективные и менее энергоёмкие ВРУ нового поколения. Анализ рынка позволил создать типовой ряд азотных установок средней производительности. Одновременно с выпуском новых установок ведутся работы по модернизации устаревших азотных производств [4].

Типовой ряд установок в последние годы расширен с целью обеспечения потенциальных заказчиков как основным продуктом (газообразным и жидким азотом), так и газообразным и жидким кислородом.

Основная особенность ВРУ нового поколения — более высокая степень извлечения азота. При изготовлении установок стремятся к их блочно-модульному исполнению с максимально возможной заводской готовностью.

Кроме этого, ОАО «Криогенмаш» разрабатывает и выпускает по заявкам конкретных заказчиков азотно-кислородные установки средней производительности для производства, наряду с азотом и кислородом, ещё и аргона. В установках используются современные схемные и конструкторские решения, которые обеспечивают их высокую конкурентоспособность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Криогенное оборудование. Каталог. Часть 2. — М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1976. — 79 с.

2. Криогенное оборудование. Каталог. Издание второе. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1980. — 88 с.

3. Криогенное оборудование. Каталог. Издание третье. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1985. — 119 с.

4. **Громов А.Ф., Пухной Е.П.** Модернизация воздухо-разделительной установки А-8-1// Технические газы. — 2007. — № 1. — С. 37-42.

5. **Писарев Ю.Г., Громов А.Ф., Гарин В.А.** Термодина-

мический анализ азотных воздухо-разделительных устано-вок// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 1998. — № 3. — С. 38-42.

6. **Скородумов Б.А., Писарев Ю.Г., Карпов В.Н.** Воз-духо-разделительные установки ОАО «Криогенмаш»// Сб. научных трудов «50 лет. Юбилейный выпуск. Криогенная техника. Процессы, аппараты, установки, системы». — Ба-лашиха: ОАО «Криогенмаш», 1999. — С. 9-18.

ДЕСЯТЫЙ ЮБИЛЕЙНЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР





СЕМИНАР ПРОВОДИТСЯ
УКРАИНСКОЙ АССОЦИАЦИЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ "УА-СИГМА"



ПОД ЭГИДОЙ:
 – МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ УКРАИНЫ
 – МИНИСТЕРСТВА ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ РФ
 – ОДЕССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ ХОЛОДА
 – МЕЖДУНАРОДНОЙ АКАДЕМИИ ХОЛОДА

И ПРИ УЧАСТИИ:
 – ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА УКРАИНЫ
 ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ОХРАНЕ ТРУДА
 И ГОРНОМУ НАДЗОРУ
 – ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,
 ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ



Секретариат оргкомитета:
 65026, Украина, Одесса-26, а/я 271
 Тел/факс: + 380 48 777 00 87
 E-mail: uasigma@paco.net
 Http://www.uasigma.odessa.ua



Генеральный информационный спонсор



«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА»

5-9 октября 2009 г.
г. Одесса







Место проведения семинара:
 Гостиница «Виктория», расположенная
 в знаменитом курортном районе
 г. Одессы — Аркадии.

Условия проживания:
 Одноместные номера со всеми
 удобствами.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА:

