

УДК 621.515

И.Г. Хисамеев

ОАО «Казанькомпрессормаш», ул. Халитова, 1, г. Казань, РФ, 420029

А.Г. Сафиуллин, Я.З. Гузельбаев, А.П. Харитонов

ЗАО «НИИТурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа», ул. Сибирский тракт, 40, г. Казань, РФ, 420029

e-mail: niitk@kazan.ru

СОЗДАНИЕ НОВОГО РЯДА КИСЛОРОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ НА БАЗЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ СТУПЕНЕЙ СЖАТИЯ

Кислородные центробежные компрессоры применяются для подачи кислорода под необходимым давлением в сеть предприятий. Энергопотребление компрессоров, а также их надёжность существенно влияют на общие экономические показатели предприятий, реализующих кислородоиспользующие технологии. Сообщается о разработке кислородных компрессоров нового поколения на базе высокоэффективных лицензионных проточных частей фирмы «Дрессер Кларк» (США). Они обладают рядом преимуществ перед применяемыми сейчас компрессорами старых выпусков. Например, современные компрессоры на IV-ой и II-ой базах имеют показатели удельной мощности на 12-15 % ниже, чем у используемого сейчас компрессора КТК-12,5/35. Компрессорные установки с компрессорами нового поколения комплектуются системами автоматического управления и защиты на базе промышленного микропроцессорного контроллера LOGIX-5500 фирмы «Allen-Bredley» (Rokwell Automation, США).

Ключевые слова: Кислород. Центробежный компрессор. Ступень сжатия. Рабочее колесо. Диффузор. Помпаж. Надёжность. Автоматизация. Безопасность.

I.G. Hisameev, A.G. Safiullin, Ya.Z. Guzelbaev, A.P. Kharitonov

CREATION OF NEW LINES OF OXYGEN CENTRIFUGAL COMPRESSORS ON THE BASIS OF HIGHLY EFFECTIVE STEPS OF COMPRESSION

Oxygen centrifugal compressors are applied to submission of oxygen under necessary pressure in a network of the enterprises. Energy consumption of compressors and also their reliability are essentially influence to general economic parameters of the enterprises realizing oxygen using technologies. It is informed on development of oxygen compressors of new generation on the basis of highly effective license flowing parts of firms «Dresser Clarks» (USA). They possess by a number of advantages in compared of compressors of old releases used now. For example, modern compressors on the IVth and IInd bases have parameters of specific capacity on 12-15 % below, than at compressor «КТК-12,5/35» used now. Compressor installations with compressors of new generation are completed by systems of automatic control and protection on the basis of industrial microprocessor controller LOGIX-5500 of firm «Allen-Bredley» (Rokwell Automation, USA).

Keywords: Oxygen. Centrifugal compressor. Step of compression. Driving wheel. Diffuser. Surge. Reliability. Automation. Safety.

1. ВВЕДЕНИЕ

Центробежные компрессоры для сжатия кислорода широко применяются в производствах продуктов разделения воздуха, где необходимо газообразный кислород низкого давления после воздуходелительной установки подавать в сеть основного производства [1]. Наибольшее применение они находят на металлургических предприятиях и химических комбинатах. Производительности указанных компрессоров,

а также обеспечиваемые ими давления нагнетания зависят от технологических условий тех процессов, в которых конкретно используется сжатый кислород.

Производство кислородных центробежных компрессоров началось в СССР в 50-60-ые гг. В связи с выпуском крупнотоннажных кислородных установок, реализующих термодинамический цикл низкого давления академика *П.Л. Капицы*, во «ВНИИКимаш» были разработаны первые кислородные центробежные компрессоры. Для их выпуска по инициативе ака-

демика П.Л. Капицы был создан Казанский компрессорный завод, который отсчёт своего существования ведёт с 17.07.1951 г., когда был выпущен первый кислородный поршневой компрессор 2РК-1,5/220. Затем на заводе стали производить и центробежные компрессоры для кислорода.

В настоящей статье рассмотрено, как на разных этапах совершенствовались выпускаемые нами кислородные центробежные компрессоры.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРВЫХ КИСЛОРОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Одним из самых широко применяемых компрессоров для сжатия кислорода является центробежный компрессор КТК-12,5/35 производительностью 210 м³/мин с конечным давлением 3,5 МПа при начальном давлении 0,1 МПа. Мощность, потребляемая компрессором, — 3000 кВт при частоте вращения ротора 13800 мин⁻¹.

Компрессор имеет 11 ступеней сжатия, разделённых на три корпуса: низкого, среднего и высокого давлений. В нём применяется внешнее охлаждение сжимаемого газа в четырёх промежуточных и одном конечном водяных охладителях [1].

Компрессор устанавливают на железобетонном двухэтажном рамном фундаменте. На втором этаже фундамента размещены корпуса сжатия, мультипликатор, электродвигатель, промежуточные газоохладители. Концевой газоохладитель и влагоотделитель располагаются на первом этаже. Всё вспомогательное оборудование и коммуникации — в межэтажном пространстве. Корпуса — литые чугунные, с бездиффузорными улитками и внешним перепуском кислорода из ступени в ступень. Корпуса отлиты из чугуна с добавками меди.

Корпус низкого давления конструктивно отличается от других изделий тем, что вход газа в рабочие колёса и выход из них выполнены двусторонними. Такое решение позволило при большей производительности уменьшить габариты и массу корпуса. В роторе корпуса низкого давления применяются рабочие колёса с двусторонним входом газа (один основной диск и два покрывных). Рабочие лопатки основного диска — цельнофрезерованные. Соединение покрывного диска с основным осуществляется заклепками.

Все роторы компрессора — неразборного типа. Рабочие колёса изготовлены из высокопрочной нержавеющей стали, устойчивой при работе в кислороде, а также при значительных окружных скоростях и высоких температурах. Колёса закреплены на валу с гарантированным натягом. Закладные детали корпусов, уплотнительные гребни выполнены из материалов, пригодных для работы в среде кислорода. Расположение колёс в корпусах низкого и среднего давления — «спина к спине», что позволяет снизить осевые нагрузки на упорные подшипники корпусов. В корпусе высокого давления в последних трёх ступенях (9, 10, 11 ступени) предусмотрены водяные рубашки

для дополнительного отвода тепла. Поскольку на валу ротора закреплено 5 рабочих колёс, между колесами 10-ой и 11-ой ступеней установлен думмис для снижения осевых нагрузок на упорный подшипник.

Мультипликатор — горизонтального типа, с одноступенчатой зубчатой передачей. Корпус отлит из серого чугуна, детали зубчатой пары изготовлены из конструкционной стали. Соединение корпусов между собой и мультипликатором — при помощи зубчатых муфт с промежуточными зубчатыми валами, а между мультипликатором и электродвигателем — зубчатой специальной муфтой. Газоохладители — кожухотрубного типа. Трубный пучок изготавливается из медных трубок с накатанным оребрением. Соединение трубок с трубной доской — методом пайки. Кожухи газоохладителей — сварные из нержавеющей стали. Система смазки — циркуляционная, принудительная со свободным сливом масла в бак.

С 1962 г. Казанский компрессорный завод изготовил более 370 шт. таких компрессоров. С их выпуском впервые в СССР была освоена новая технология выплавки стали на крупнотоннажных конвертерных производствах металлургических предприятий России (Череповецкий, Ново-Липецкий, Магнитогорский, Нижне-Тагильский и др. металлургические комбинаты), стран ближнего (Украина, Казахстан) и дальнего (Болгария, Польша, Румыния, Югославия, Индия, Китай, Турция, Иран) зарубежья.

В процессе разработки и эксплуатации компрессоров КТК-12,5/35 специалисты ЗАО «НИИтурбокомпрессор им. В.Б. Шнеппа» (ЗАО НТК) и ОАО «Казанькомпрессормаш» (ОАО ККМ) приобрели большой практический опыт, который использовался при создании кислородных компрессоров новых поколений [2].

3. ОСОБЕННОСТИ КИСЛОРОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

В 1973-1988 гг. был создан расширенный ряд компрессоров производительностью 100-440 м³/мин и конечным давлением 2,5-40 кгс/см² с использованием баз универсальных центробежных компрессорных машин (УЦКМ), разработанных ещё под руководством В.Б. Шнеппа [3].

В компрессорных установках 2-го поколения для сжатия кислорода, создаваемых на базе УЦКМ-1, были использованы практически все наработки, накопленные нами при создании и эксплуатации компрессоров КТК-12,5/35:

- исполнение корпусов сжатия и газоохладителей;
- конструкции безлопаточных диффузоров;
- переход на многоклиновые колодочные подшипники;
- облегчение обслуживания (простота центровки, повышение надёжности подшипников);
- агрегатирование основных систем и узлов машин;
- использование вибромониторинга и современ-

ной на тот период автоматики;

- усовершенствование системы уплотнений для уменьшения содержания азота в кислороде в процессе сжатия и возможность использования воздуха для наддува уплотнений;

- применение конструкции, позволяющей производить модернизацию машин.

С учётом этого были разработаны и освоены в производстве компрессоры для сжатия кислорода: КТК-7/14, 3ЦКК-100/3,5, 4ЦКК-200/3,5, 4ЦКК-250/5, 43ЦКК-250/15, 543ЦКК-400/40 (см. табл. 1, рис. 1).



Рис. 1. Корпус кислородной компрессорной установки 3ЦКК-100/3,5М

Все эти компрессоры работают на предприятиях чёрной и цветной металлургии, химической и нефтехимической промышленности и многих других.

4. РАЗРАБОТКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПУСКА КИСЛОРОДНЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ КОМПРЕССОРОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В настоящее время указанные компрессоры, несмотря на высокую надёжность и отсутствие нареканий в ходе их эксплуатации, имеют большие сроки работы, морально устарели и подавляющее большинство из них, вследствие физического износа, потребуют замены в ближайшее время.

Поэтому ЗАО НТК, выполнив необходимые конструктивные проработки, предложило к освоению в производстве несколько типоразмеров новых, удовлетворяющих современному техническому уровню, кислородных компрессоров 3-го поколения [2]. Компрессоры предназначены для замены пока широко

эксплуатируемых компрессоров КТК-7/14, КТК-12,5/35, модернизации действующих и строительства новых кислородных компрессорных станций.

Два типоразмера новых двухкорпусных компрессоров на давление нагнетания до 35 кгс/см² и диапазоны производительностей по условиям всасывания 150-250 м³/мин и 250-410 м³/мин устанавливаются на существующие фундаменты компрессоров КТК-12,5/35.

Новые однокорпусные компрессоры на давление нагнетания до 15 кгс/см² охватывают диапазон производительности по условиям всасывания 250-350 м³/мин.

Конструктивная схема новых компрессоров и автоматическая система регулирования обеспечивают сохранение начальной чистоты компримируемого кислорода, что исключает азотирование стали и повышает её качество при конвертерном способе производства.

Обоснованный выбор материалов и внедрение апробированных конструктивных решений с учётом опыта эксплуатации обеспечивают высокую надёжность новых компрессоров при длительной эксплуатации и резко снижают их потенциальную пожароопасность.

Охарактеризуем преимущества предлагаемых новых кислородных установок по сравнению с эксплуатирующимися сейчас КТК-12,5/35, 543ГЦ1-400/40:

- компрессоры могут быть установлены на существующие фундаменты;
- применена новая высокоэффективная проточная часть на базе лицензионных ступеней фирмы «Дрессер Кларк» (США);
- параметры обеспечиваются за счёт использования двух корпусов сжатия вместо трёх;
- гарантированно сохраняется начальная концентрация компримируемого кислорода;
- уменьшено количество газоохладителей с пяти до четырёх;
- применён современный агрегат смазки, удовлетворяющий всем требованиям стандарта API-614;
- применена современная аппаратура контроля вибрации и осевого сдвига роторов компрессора;
- компрессоры оснащаются современной микропроцессорной системой автоматизации, в том числе надёжной антипомпажной защитой.

Рассмотрим особенности новой проточной части кислородных компрессоров третьего поколения на

Таблица 1. Характеристики кислородных центробежных компрессоров 2-го поколения

Марка компрессорной установки	Производительность, м ³ /мин	Давление, МПа (кгс/см ²)		Мощность привода, кВт	Габариты установки, м	Масса, кг
		начальное	конечное			
КТК-12,5/35	208	0,1 (1,02)	3,43 (35)	3150	20,5×5,5×5,0	38815
КТК-7/14	117	0,1 (1,02)	1,37 (14)	1250	11,0×5,0×5,7	24885
3ЦКК-100/3,5	100	0,1 (1,02)	0,34 (3,5)	500	10,5×5,0×6,1	23000
4ГЦ1-200/3,5	200	0,1 (1,02)	0,34 (3,5)	800	10,3×5,2×6,3	27000
4ГЦ1-250/5	250	0,09 (0,93)	0,49 (5,0)	1600	11,4×5,3×6,9	32200
4ГЦ1-250/5	250	0,1 (1,02)	1,47 (15)	2500	15,9×6,1×6,1	54700
543ГЦ1-400/40	400	0,1 (1,02)	3,93 (40)	6300	17,8×7,2×6,9	102000

примере компрессора 43ГЦ1-210/31:

- использование более напорных рабочих колёс с пространственными лопатками;

- применение входных направляющих аппаратов на входе в каждое колесо для выравнивания потока газа;

- использование безлопаточных диффузоров для получения более пологой рабочей характеристики компрессора и большей зоны его устойчивой работы.

Новые кислородные центробежные компрессоры на давление нагнетания 35 кгс/см² предлагаются в двухкорпусном исполнении. Корпус низкого давления (КНД) машин — четырёхступенчатый двухсекционный с одним промежуточным охлаждением. Корпус высокого давления — шестиступенчатый двухсекционный с одним промежуточным охлаждением газа. Корпус компрессора на конечное давление 15 кгс/см² унифицирован с КНД компрессора на 35 кгс/см².

Компрессоры нового поколения комплектуются межступенчатыми и концевыми охладителями газа. Все охладители газа — с плавающей трубной доской.

Оба корпуса компрессора с мультипликатором устанавливаются на общей раме и монтируются на существующие фундаменты КТК-12,5/35. Все узлы маслосистемы (маслобак, маслонасосы, маслофильтры, арматура и пр.) объединены в едином агрегате смазки, который монтируется на нулевой отметке

компрессорного цеха. Подшипники (опорный и опорно-упорный) — многоклиновые со сменными опорными и упорными колодками.

Предлагаются компрессоры для диапазона производительностей 250-410 м³/мин по условиям всасывания на основе корпусов сжатия V и III баз с диаметрами рабочих колёс, соответственно, 600 и 380 мм; в диапазоне производительностей 150-250 м³/мин — на основе корпусов сжатия IV и II баз с диаметрами рабочих колёс 480 и 300 мм.

Основные показатели и расчётные параметры в возможных границах диапазонов производительностей компрессоров на основе корпусов сжатия II-V баз, приведены в табл. 2.

Данные о сравнении характеристик новых компрессоров с показателями компрессора КТК-12,5/35 приведены в табл. 3. Из неё видно, что эффективность новых компрессоров на 12-15 % выше, чем у КТК-12,5/35.

Предложения по поставкам кислородных компрессоров нового поколения взамен КТК-12,5/35 типа 53ГЦ1-250/31 (см. рис. 2 и табл. 4) и 43ГЦ1-210/31 были направлены на основные металлургические комбинаты и ряд других предприятий.

В этом году ОАО «Казанькомпрессормаш» заключило договор на поставку первой кислородной компрессорной установки нового поколения 43ГЦ1-210/31 с ОАО «Ново-Липецкий МК». В настоящее время ЗАО «НИ-Итурбоком-прессор им. В.Б. Шнеппа» активно занимается разработкой рабочей документации, необходимой для изготовления данного компрессора.

5. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И ЗАЩИТА КОМПРЕССОРОВ

Система автоматического управления и защиты новых компрессоров построена на базе промышленного микропроцессорного контроллера LOGIX-5500 фирмы «Allen-Bredley» (Rokwell Automation, США).

Антипомпажная защита выполняется с использованием специализированного модуля из состава контроллера «Allen-Bredley», реализующего самые современные алгоритмы распознавания помпажа компрессора.

Контроллеры LOGIX-5500 являются последней разработкой фирмы и сочетают в себе высокую надёжность и отличные функциональные возможности. Они сертифицированы TÜV.

Контроллер комплектуется промышленной графической цветной жидкокристаллической панелью оператора «Allen-Bradley» серии «Panel View 1000». Панели имеют исполнение IP65. Панель обеспечивает высокую эффек-

Таблица 2. Показатели компрессоров нового поколения

Параметры	Ед. изм.	Компрессоры на основе	
		V, III баз	IV, II баз
Производительность по условиям всасывания	м ³ /мин	250-410	150-250
Конечное давление	кгс/см ²	35	35
Давление после 1-го корпуса	кгс/см ²	14,5	14,8-15
Частота вращения ротора	мин ⁻¹	9400-9445	11800-11850
Потребляемая мощность	кВт	2880-4330	1800-2700
Мощность электродвигателя	кВт	3150-5000	2000-3150

Примечание: Параметры компрессоров определены при начальном давлении газа $p_n=1$ кгс/см²; начальной температуре газа $t_n=35$ °С; содержании кислорода 99,99 % по объёму; температуре воды на входе в охладители газа $t_w=28$ °С; температуре газа после охладителей $t_c=45$ °С.

Таблица 3. Данные о сравнении характеристик компрессоров

Параметры	Ед. изм.	Компрессор на основе IV, II баз	
		КТК-12,5/35	Компрессор на основе IV, II баз
Производительность по условиям всасывания	м ³ /мин	208	150-250
Давление всасывания	кгс/см ²	1	1
Температура всасывания	°С	20	20
Давление нагнетания	кгс/см ²	35	35
Потребляемая мощность	кВт	2700	1800-2700
Мощность привода	кВт	3150	2000-3150
Частота вращения ротора	мин ⁻¹	13800	11800-11850
Количество корпусов	шт.	3	2
Количество промежуточных охладителей	шт.	4	3
Удельная мощность	кВт·ч/м ³	0,22	0,18-0,20

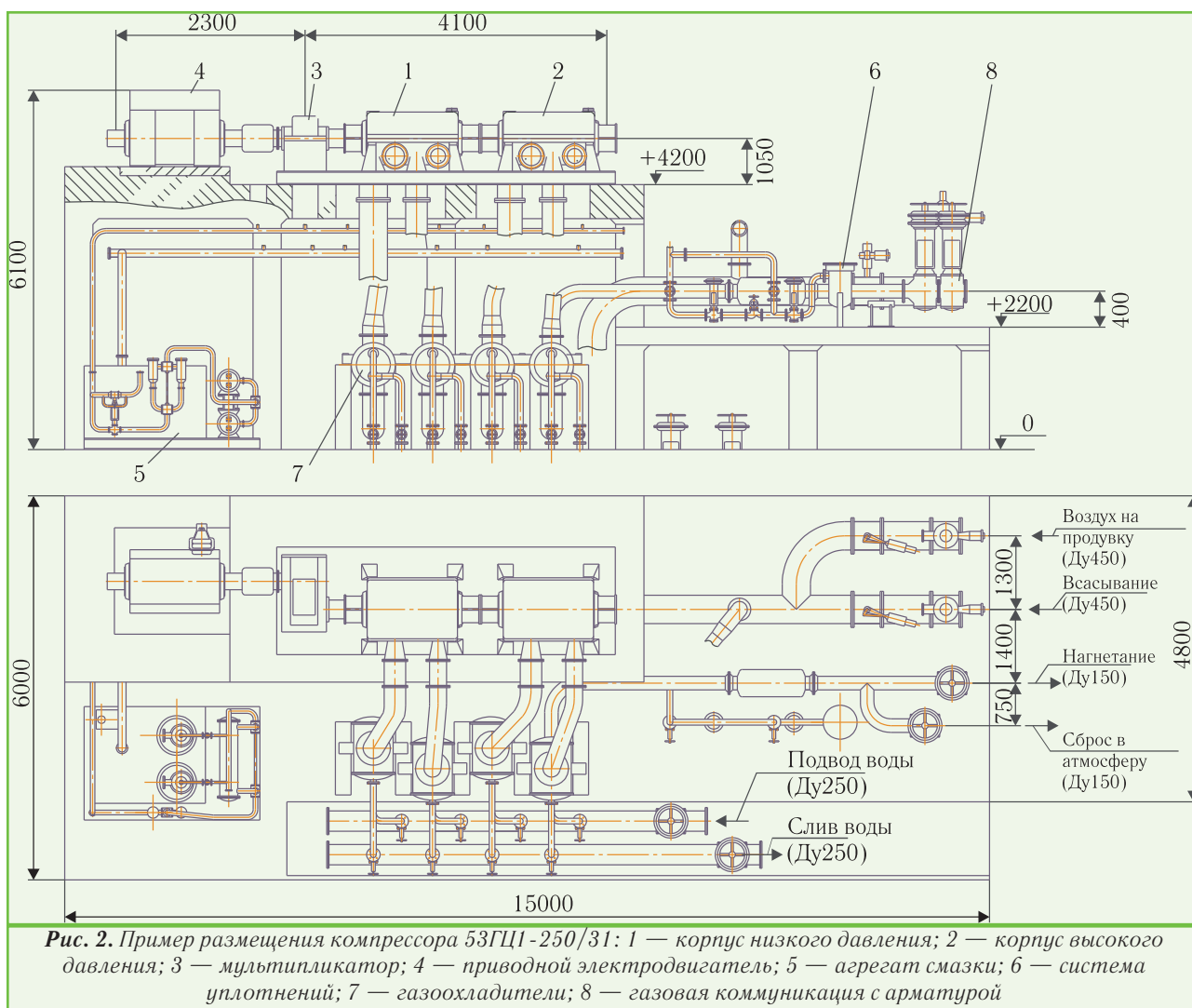


Рис. 2. Пример размещения компрессора 53ГЦ1 - 250/31: 1 — корпус низкого давления; 2 — корпус высокого давления; 3 — мультипликатор; 4 — приводной электродвигатель; 5 — агрегат смазки; 6 — система уплотнений; 7 — газоохладители; 8 — газовая коммуникация с арматурой

тивность и предоставляет широкие функциональные возможности при управлении компрессором. Панель имеет цветной дисплей, который допускает большие углы обзора. На дисплей выводится вся необходимая

информация, полностью характеризующая процесс компримирования и состояние компрессора в виде различных мнемосхем с изображением компрессора, вспомогательного оборудования, арматуры, значений

параметров в цифровом виде и в виде гистограмм, таблиц, предаварийных и аварийных уставок, сообщений и т.п. Управление оборудованием, арматурой, изменением аварийных и предаварийных уставок режимов, заданием настроечных коэффициентов регуляторов и т.п. осуществляется шестнадцатью функциональными клавишами с перестраиваемой конфигурацией и цифровой клавиатурой. Доступ к изменению аварийных, предаварийных уставок, настроечных коэффици-

Таблица 4. Техническая характеристика одного из предлагаемых кислородных компрессоров

Параметры	53ГЦ1-250/31 УХЛ4
Привод	электродвигатель
Производительность при нормальных условиях, $\text{м}^3/\text{мин}$	250
Давление на входе, $\text{кгс}/\text{см}^2$ (абс.)	1,033
Давление на выходе, $\text{кгс}/\text{см}^2$ (абс.)	31
Температура на входе, $^{\circ}\text{C}$	20
Температура на выходе, $^{\circ}\text{C}$	40
Число оборотов ротора компрессора, мин^{-1}	10570
Потребляемая мощность, кВт	2700
Количество корпусов сжатия	2
Количество ступеней сжатия, шт.	4/6
Диаметр рабочих колёс, мм	508/400
Наличие промежуточного охлаждения	имеется
Расход охлаждающей воды, $\text{м}^3/\text{ч}$	280
Расход воздуха на уплотнения, $\text{м}^3/\text{ч}$	200
Потребляемая мощность вспомогательных механизмов, кВт	40

ентов регуляторов, отключению аварийных защит и т.п. защищён пароями.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные нами и освоенные в производстве кислородные центробежные компрессоры нового поколения должны прийти на смену компрессорам старых моделей. Для их размещения подходят фундаменты, на которых располагаются находящиеся в эксплуатации компрессоры.

Новые компрессоры характеризуются экономичными процессами сжатия, они более надёжны и долговечны; компрессорные установки на их базе комплектуются системой автоматического управления и защиты.

В пределах обеспечиваемых параметров считаем целесообразным создание кислородных компрессоров с их разработкой по индивидуальным заказам на заданные конкретные параметры, что даст возможность

эксплуатировать их на каждом объекте в оптимальном энергосберегающем режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. В 2-ух томах. Под ред. **В.И. Епифановой и Л.С. Аксельрода**. Т.2. Промышленные установки, машинное и вспомогательное оборудование. — М.: Машиностроение, 1973. — 568 с.

2. Создание нового ряда кислородных центробежных компрессоров на базе высокоэффективных ступеней сжатия/ **Я.З. Гузельбаев, И.Г. Хисамеев, А.Г. Сафиуллин, А.П. Харитонов**// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2008. — № 1. — С. 26-29.

3. **Хисамеев И.Г., Сафиуллин А.Г.** О состоянии развития компрессоростроения в республике Татарстан// Компрессорное и энергетическое машиностроение. — 2008. — № 2. — С. 14-24.

ООО «Дары природы» — официальный представитель в Украине компании «TAYLOR-WHARTON»

Поставляем:

- криогенные ёмкости различного объёма от 2 м³ до 100 м³ для газификации и хранения жидких аргона, азота, кислорода, диоксида углерода, закиси азота;
- наполнительные станции;
- транспортные ёмкости;
- сосуды Дьюара;
- испарители.



Taylor-Wharton

ГАРАНТИЯ • МОНТАЖ • СЕРВИС

Отдел продаж:
84610, Украина, Донецкая обл., г. Горловка,
ул. Горловской дивизии, 58
тел.: +38(062)339-79-69; (06242)7-27-87
моб.: +38(050)347-79-78

E-mail: vishnevskiy@kislород.com.ua
www.kislород.com.ua

Дары природы

Все лучшее только Вам!