

УДК 621.59(075.8)

А.В. Кортиков*, Е.Ю. Тарасова, В.В. Шитиков

ОАО «Криогенмаш», пр. Ленина, 67, г. Балашиха Московской области, РФ, 143907

*e-mail: kortikov@cryogenmash.ru

СОЗДАНИЕ СОВРЕМЕННОГО КОМПЛЕКСА ПО ПРОИЗВОДСТВУ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА В Г. ПОЛЕВСКОЙ

Производства продуктов разделения воздуха, создаваемые на условиях on-site, экономически выгодны как для предприятий, нуждающихся в обновлении своих воздуходелительных установок, так и для новых потребителей, использующих технические газы. Приведены характеристики первого цеха разделения воздуха, созданного компанией «Криогенмаш» на условиях on-site, для поставки газов в цехи Северского трубного завода (г. Полевской, Россия). Рассмотрены предпосылки для заключения контракта, приведён состав оборудования цеха разделения. Сочетание воздуходелительной установки для получения газообразных кислорода под давлением и азота, а также жидкого аргона с ожижителем кислорода и азота создало условия для гибкого реагирования на изменения режимов потребления производственных цехов и ситуации на рынке жидких криопродуктов. Современные технические решения, реализованные при разработке оборудования цеха разделения, позволили выйти на уровень энергозатрат в 0,55 кВт·ч/м³ при получении газообразного кислорода под давлением и менее 1 кВт·ч/кг — жидких кислорода и азота.
Ключевые слова: Цех разделения воздуха. Воздухоразделительная установка. Кислород. Азот. Аргон. Ожижитель. Система хранения.

A.V. Kortikov, E.Yu. Tarasova, V.V. Shitikov

CREATION OF MODERN COMPLEX FOR PRODUCTION OF AIR SEPARATION PRODUCTS BY POLEVSKOY

Production of air separation products on the on-site conditions, economically beneficial for both companies who need updating their air separation plants, and for new customers who use technical gases. The characteristics of the first air separation plant, created by «Cryogenmash» by the conditions on-site for delivery gas to the shops of Seversky pipe works (Polevskoy, Russia). The conditions and backgrounds for conclusion of contracts are considered, the composition of the air separation shop equipment is given. The combination of air separation products for production gaseous oxygen under pressure, nitrogen and liquid argon with the oxygen and nitrogen liquefier allows reacting flexibly to variation of the consumption modes of the production shops and to situation in the liquid products market. The modern engineering designs, implemented at time of development of the air separation shop equipment, have allowed to reach a level of power consumption in 0,55 kW·h/m³ for gaseous oxygen under pressure less than 1 kW·h/kg for liquid oxygen and nitrogen.
Keywords: Air separation shop. Air separation plant. Oxygen. Nitrogen. Argon. Liquefier. Storage system.

1. ВВЕДЕНИЕ

В четвёртом квартале 2008 г. на производственной площадке Северского трубного завода (СТЗ) в г. Полевской начал работать и снабжать металлургическое производство главного предприятия города газообразными продуктами первый цех разделения воздуха (ЦРВ) ОАО «Криогенмаш», работающий на условиях on-site (фото 1).

Термин on-site в отношении указанного объекта

означает, что поставщик газов разрабатывает, финансирует и строит вблизи или непосредственно на территории крупного их потребителя производство продуктов разделения воздуха. Поставка газов осуществляется, как правило, по трубопроводам непосредственно в цехи потребителя, который не является при этом владельцем цеха разделения и оплачивает только поставку технических газов.

Это очень удобная форма сотрудничества, так как строительство, текущее обслуживание, ремонт и мо-

дернизация воздуходелительных установок (ВРУ) и сопутствующего оборудования не обременяют потребителя газов. Все эти работы берёт на себя владелец установки. По такому способу работают сотни ВРУ во многих странах мира, но в СССР и, до последнего времени, в России такая схема не использовалась. Практически все металлургические и крупные химические и нефтехимические комбинаты России имеют в своем составе кислородные и азотные производства. Для обеспечения непрерывной работы этих производств они вынуждены содержать достаточно большой штат персонала. Наряду с этим есть и ещё один отрицательный фактор, серьёзно влияющий на экономику и эффективность производства. Так, замена ВРУ, выработавших свой физический ресурс и устаревших морально, требует значительных капитальных затрат. Зачастую именно этот фактор приводит к постоянному переносу сроков покупки новых установок и продолжению эксплуатации старого (до 30 и более лет) и неэффективного, с точки зрения энергопотребления и надёжности, оборудования. Обеспечение газами по схеме on-site позволяет предприятиям сэкономить на капитальных и эксплуатационных затратах и избавиться от обслуживания непрофильного производства.



Фото 1. Цех разделения воздуха ОАО «Криогенмаш» в г. Полевской

2. ПРЕДПОСЫЛКИ, УСЛОВИЯ И ОБЪЁМ СТРОИТЕЛЬСТВА

При заключении договора в 2006 г. и ОАО «Криогенмаш», и ОАО «СТЗ» потребовалась определённая смелость, чтобы на 20 лет потребителю взять на себя новый риск, а поставщику газов — жёсткие обязательства. Ранее для ОАО «Криогенмаш» обязательства ограничивались поставкой оборудования «под ключ» и гарантиями его работоспособности. Опыт ОАО «Криогенмаш», реализованный в сотнях изготовленных и работающих ВРУ, а также наличие квалифицированных специалистов для оперативного решения возможных проблем, гарантированное обеспечение запчастями — все эти факторы сыграли положительную роль в процессе заключения договора поставки газов. На этапе подготовки договора были согласованы графики потребления кислорода, азота и аргона, определены средние и максимальные расходы

газов, а также их параметры. При согласовании условий поставки газов ОАО «Криогенмаш» учитывал возможность производства дополнительного количества жидких продуктов (азота, аргона, технического и медицинского кислорода) для их продажи в Уральском регионе. Последнее является существенным экономическим подспорьем для снижения срока окупаемости проекта.

Проанализировав потребности в продуктах разделения воздуха Северского трубного завода, а также ситуацию на региональном рынке жидких продуктов разделения воздуха, ОАО «Криогенмаш» признал целесообразным строить ЦРВ в г. Полевской на основе воздуходелительной установки КдААр-9/3 и отдельного ожижителя кислорода и азота ОКА-3000. Такое решение позволяет гибко реагировать как на изменения режима работы металлургического комплекса, так и на колебания спроса на рынке продуктов разделения воздуха.

ОАО «Криогенмаш» как инвестор, кроме финансирования и поставок, взял на себя управление всем проектом. Функция управления работами по созданию цеха разделения была возложена на специалистов отдела руководителей проектов. Цель — эффективно использовать ресурсы участников проекта, оптимизировать затраты, минимизировать риски, оптимизировать график работ для своевременного обеспечения продуктами разделения воздуха нового металлургического производства ОАО «СТЗ».

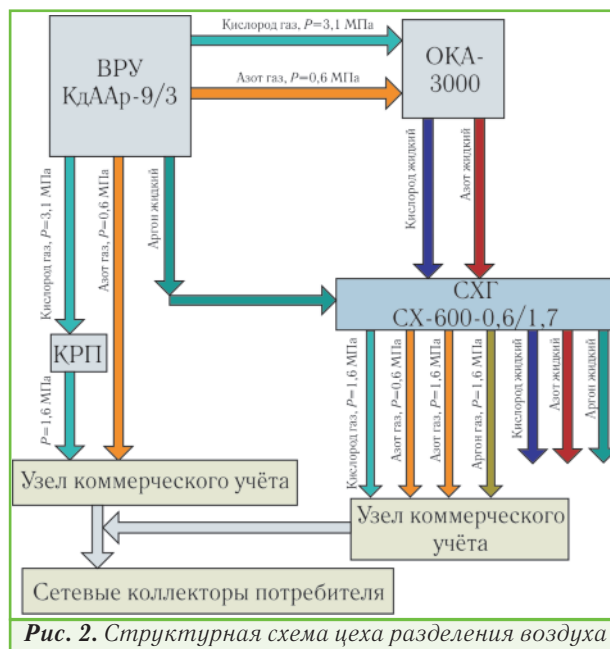


Рис. 2. Структурная схема цеха разделения воздуха

Строительство комплекса началось 05.09.2006 г. на площадке Северского трубного завода. Проект станции был выполнен ОАО «Гипрокислород» и включал в себя собственно цех разделения с установкой КдААр-9/3, ожижителем ОКА-3000, компрессорным и насосным оборудованием, а также градирни, систему хранения и газификации жидких азота, кислорода и аргона CX-600, кислородные рецепиен-

Таблица 1. Технические характеристики ВРУ КдААр-9/3

Наименование параметра	Значение
Перерабатываемый воздух (0,6 МПа абс.), $\text{нм}^3/\text{ч}$	45500
Кислород газообразный технический под давлением (3,1 МПа, 99,7 %), $\text{нм}^3/\text{ч}$	9000
Азот газообразный под давлением (0,5 МПа, 0,0002 % O_2), $\text{нм}^3/\text{ч}$	3300
Аргон жидкий, кг/ч	500
Потребляемая мощность, кВт	5500

Таблица 2. Технические характеристики ожижителя ОКА-3000

Наименование параметра	Значение
Потребляемые ресурсы (из ВРУ КдААр-9/3), $\text{нм}^3/\text{ч}$:	
– кислород на ожижение (3,1 МПа абс.)	1500
– азот на ожижение (0,5 МПа абс.)	1880
Производимые продукты, кг/ч:	
– кислород жидкий производственный	2000
– азот жидкий производственный	1200
Потребляемая мощность, кВт	1400

ты, кислородный распределительный пункт, узел коммерческого учёта технических газов, весовую, участок транспортирования жидких продуктов в авто- и железнодорожных цистернах, лаборатории хроматографическую и общих химических анализов, узел коммерческого учёта (рис. 2). Оборудование связано системой трубопроводов. Общая площадь комплекса составила 2,7 га.

Кроме того, в проект было включено вспомогательное оборудование для обеспечения существующих требований промышленной безопасности, предъявляемых к опасному производственному объекту, а именно системы вентиляции, сигнализации, пожаротушения, охраны.

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Технические характеристики ВРУ и ожижителя представлены соответственно в таблицах 1 и 2.

Отметим, что газообразные кислород и азот выдаются из блока под давлением и поступают по трубопроводам в цехи Северского трубного завода. Периодическая работа ожижителя обеспечивает производство жидких азота и кислорода, которые используются в качестве резерва на случай остановки ВРУ, а также для их реализации на территории Уральского региона. Жидкий аргон из установки поступает в систему хранения, откуда после газификации по трубопроводу направляется на завод. Часть жидкого аргона продаётся.

Технологическая схема ВРУ КдААр-9/3 (рис. 3) базируется на цикле трёх давлений. Весь поток воздуха сжимается в турбокомпрессоре КВ до давления 0,63 МПа и после охлаждения в воздушном скруббере АП101, осушки и очистки в блоке комплексной очистки (БКО) делится на две части. Около 45 % воздуха охлаждают в основном теплообменнике АП301 и вводят в нижнюю колонну АП307. Оставшуюся часть воздуха направляют в дожимающий компрессор КВД.

После первой ступени КВД часть воздуха с давлением около 1,8 МПа отбирают для дожатия в компрессорной ступени турбодетандер-компрессорного агрегата ТДК. После охлаждения в бустерном теплообменнике АП302 и основном теплообменнике АП301 эту часть воздуха отводят из промежуточного сечения последнего и расширяют в детандерной ступени ТДК. Воздух после детандера перед вводом в АП307 объединяют с частью воздуха низкого давления.

Во второй ступени КВД оставшуюся часть воздуха сжимают до давления около 6 МПа, охлаждают последовательно в АП302, АП301 и дросселируют в сборник АП310, после чего вводят частично в нижнюю колонну АП307, а частично — в верхнюю колонну АП308. Производственный кислород отбирают из основного конденсатора АП305 в виде жидкости, сжимают до требуемого давления в насосе ЭНУ1 и после испарения и подогрева в основном теплообменнике направляют в кислородные ресиверы и затем потребителю. Производственный газообразный азот отбирают в газообразном виде из верхней части нижней колонны и перед выдачей в сеть также подогревают в АП301.

Узел разделения выполнен по стандартной схеме двукратной ректификации с переохладителем АП315 на потоке кубовой жидкости и дополнен узлом получения аргона на основе колонн с регулярной насадкой АП335, АП336. В этих колоннах проводят очистку от кислорода аргонной фракции, отбираемой из верхней колонны. Удаление азота из аргона проводят в колонне АП337.

Для снижения гидравлического сопротивления аппаратов и, соответственно, затрат на компрессию воздуха в ВРУ КдААр-9/3 широко применяется структурированная насадка. Помимо аргоновых колонн, насадочной выполнена верхняя колонна. Насадка также используется в воздушном АП101 и азотном АП102 скрубберах. Применение эффективных компрессоров, современной системы предварительного охлаждения без холодильных машин, ТДК собственной разработки с высокими КПД компрессорной и детандерной ступеней позволило достичь энергозатрат на получение кислорода под давлением 0,55 кВт·ч/м³, что соответствует современному мировому уровню для установок такого класса.

Ожижитель азота и кислорода ОКА-3000 построен по схеме с азотным циклом среднего давления на основе азотного компрессора, холодильной машины и турбодетандер-компрессорного агрегата. Азот для

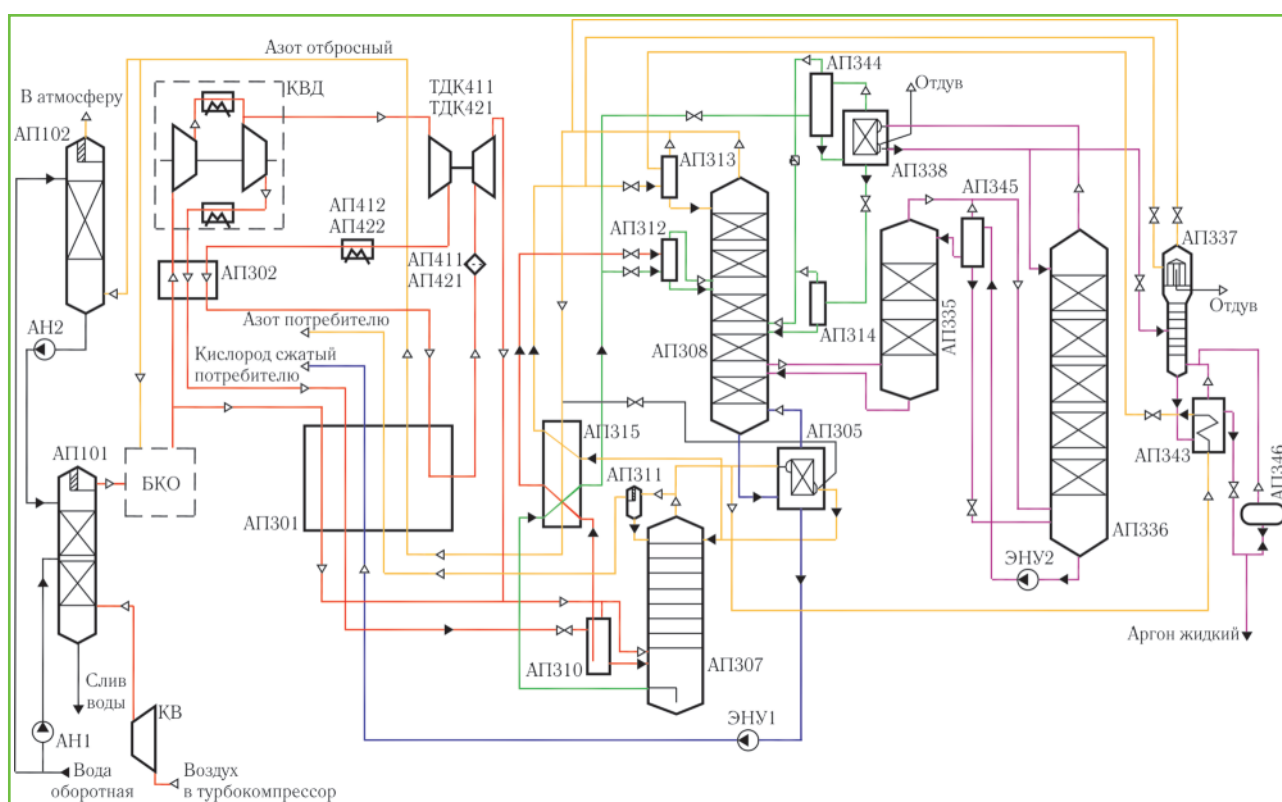


Рис. 3. Технологическая схема ВРУ КдААр-9/3: КВД - компрессор воздушный; АП101, АП102 — воздушный и азотный скрубберы; АН1, АН2 — водяные насосы; БКО — блок комплексной очистки воздуха; АП302 — бустерный теплообменник; КВД — компрессор воздушный дожимающий; ТДК411, ТДК421 — турбодетандер-компрессорные агрегаты; АП411, АП421 — фильтры ТДК; АП412, АП422 — теплообменники компрессорной ступени ТДК; АП301 — основной теплообменник; АП305 — основной конденсатор; АП307, АП308 — нижняя и верхняя колонны; АП310-314, АП344, АП345 — сепараторы, АП315 — переохладитель, АП335, АП336 — колонна технического аргона; АП337 — колонна чистого аргона; АП338 — конденсатор колонны технического аргона; АП343 — конденсатор колонны чистого аргона; АП346 — сборник жидкого аргона; ЭНУ1, ЭНУ2 — насос жидкого кислорода и аргона

циркуляционного цикла, а также кислород и азот для ожижения поступают в ожижитель из продукционных трубопроводов ВРУ КдААр-9/3. С учётом затрат на получение газообразных продуктов в ВРУ энергозатраты на получение жидкого кислорода и азота составляют менее 1 кВт·ч/кг.

В состав системы хранения и газификации входят два горизонтальных резервуара для жидкого кислорода и азота РЦГ-250/0,6 и компактная система хранения БСХ-63/0,6 для жидкого аргона. Это оборудование предназначено для хранения жидких продуктов разделения воздуха, поступающих из ВРУ и ожижителя, создания резервного запаса для снабжения завода при остановке ВРУ, а также для заправки транспортных цистерн. Помимо этого, установлены расходные системы БСХ-26/1,6 для жидкого кислорода и БСХ-5/1,6М (2 шт.) для азота и аргона, а также испарители, с помощью которых осуществляется снабжение производства газообразным кислородом под давлением и азотом низкого давления — в случае остановки ВРУ, а газообразным азотом среднего давления и аргоном — при любом состоянии ВРУ. Заполнение расходных систем жидкими продуктами разделения производится из основных резервуаров системы хранения с помощью насосов, а их дозаправка мо-

жет проводиться одновременно с выдачей газообразных продуктов в сети потребителя. Суточные потери при хранении жидких криопродуктов составляют для кислорода и аргона не более 0,08 %, азота — не более 0,12 %.



Фото 4. Участок отпуска жидких криопродуктов

Узел коммерческого учёта, смонтированный в отдельном здании, представляет собой аттестованный в установленном порядке в структурах РосТеста измерительный комплекс, позволяющий контролировать температуру, давление, состав и количество поставляемых в трубную сеть ОАО «СТЗ» газообразных кислорода, азота низкого давления, азота среднего давления и аргона в соответствии с договорными обя-

зательствами и требованиями законодательства.

Участок транспортирования включает железнодорожный путь с двумя тупиками, железнодорожной и автомобильной эстакадами для приёма (пополнения запаса) и отпуска жидких кислорода, азота, аргона (фото 4).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экономический кризис 2008-2009 гг. несколько затормозил строительство ЦРВ, но не нарушил обязательства ОАО «Криогенмаш» обеспечить кислородом первую плавку в новом металлургическом комплексе ОАО «СТЗ», проведённую 16.10.2008 г. В 2009 г. производство продуктов разделения воздуха было сдано в промышленную эксплуатацию. В результате в цехи ОАО «СТЗ» стали подавать продукты разделения воз-

духа в полном соответствии с контрактом.

Для эксплуатации цеха разделения воздуха было образовано обособленное подразделение (филиал) ОАО «Криогенмаш» в г. Екатеринбурге, в функции которого входит также и продажа продуктов разделения воздуха. Филиал имеет собственный парк автоцистерн типа ППЦ-22 производства ОАО «Криогенмаш» и железнодорожных цистерн для перевозки криогенных продуктов. Персонал, обеспечивающий эксплуатацию цеха, включая аппаратчиков воздухоразделения, прошёл обучение в ОАО «Криогенмаш», а также территориальном центре обучения и аттестации.

Успешная реализация проекта строительства и надёжная эксплуатация ЦРВ убедительно подтвердили новые возможности ОАО «Криогенмаш». В настоящее время на завершающей стадии находится второй on-site-проект цеха разделения воздуха для поставки

АВТО ГАЗО ЗАПРАВочный КОМПЛЕКС

+ Альтернативное топливо



ISSN 2073-8323

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Информационное издание
газотурбинной отрасли

Издаётся с января 2002 г.

Зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати в 2002 г.
Свидетельство о регистрации ПИИ № 77-15873
Подписной индекс Роспечати 84180
Периодичность издания – 6 выпусков в год, объём каждого выпуска – 92 стр.
Международный стандартный серийный номер (ISSN) 2073-8323





Журнал предназначен для руководителей и специалистов НИИ, вузов, заводов, автопредприятий, газовых хозяйств, компаний и фирм, занимающихся переводом транспортных средств на альтернативные виды топлива, для научных работников, аспирантов и студентов высших учебных заведений, а также для всех, кого интересуют вопросы перехода на газотурбинное топливо. Журнал состоит из двух разделов.

Раздел «Наука»: материалы научных разработок в газотурбинной отрасли, исследования, диссертаций, конструирование.

Раздел «Информация»: новости газотурбинной отрасли в России и за рубежом, законодательство, нормативная документация, проектирование и строительство, оборудование – всё о жизни и развитии газотурбинной отрасли.

Журнал доставляется в администрации регионов (комитеты ТЭК), в Государственную Думу и Совет Федерации РФ. По подписке поступает читателям России, стран СНГ и зарубежных стран, открыты представительства на Украине (г. Киев, Севастополь) и в Аргентине (г. Буэнос-Айрес).

ВНИМАНИЕ! Новые адрес и телефоны редакции:
115201, г. Москва, Варшавский 1-й проезд, 2, стр. 12
Тел./факс: (495) 617-04-56; моб.: (915) 095-65-51



