

УДК 621.59(075.8)

**И.А. Тарасенко**

ООО «Red Mountain Ukraine», пр-т Шевченко, 4Д, офис 84, г. Одесса, Украина, 65058

e-mail: irina@redmn.com

**С.В. Руцкий**

Представительство «Red Mountain Energy Corp.» в России и странах СНГ, ул. Автозаводская, 21, корп. 1,

г. Москва, РФ, 115280

e-mail: sr@redmn.com

## СОЗДАНИЕ КРИОГЕННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И ХРАНЕНИЯ ЖИДКОГО АЗОТА В ОАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ»

*В настоящее время растёт потребность в жидком азоте со стороны нефте- и газодобывающих компаний. Для его производства требуются эффективные и надёжные воздухоразделительные установки. Компания «Red Mountain Energy Corp.» поставляет на рынки стран СНГ широкий ряд жидкостных воздухоразделительных установок, построенных на базе термодинамических циклов низкого давления. Компанией пущены в эксплуатацию в СНГ восемь установок этого типа. Оптимизация схемных решений и применение прогрессивных конструкторских разработок обеспечивают высокие показатели эффективности криогенного оборудования и его повышенную надёжность. Особое внимание уделяется адаптации стандартных конструкторских решений к условиям конкретных производств и требованиям заказчиков. Примером такого подхода является реализация проекта для компании «Сургутнефтегаз», в рамках которого был построен и пущен в эксплуатацию криогенный комплекс для производства и хранения жидкого азота. Проект комплекса был разработан при тесном сотрудничестве специалистов указанных компаний, что позволило учесть условия производства и подобрать наиболее эффективные для них конструкторские и технологические решения. В результате строительство воздухоразделительного комплекса «под ключ» было завершено в кратчайшие сроки, и комплекс успешно пущен в эксплуатацию.*

**Ключевые слова:** Нефте- и газодобыча. Азотоиспользующие технологии. Воздухоразделительная установка. Жидкий азот. Термодинамический цикл низкого давления. Криогенная ёмкость. Эффективность. Надёжность.

**I.A. Tarasenko, S.V. Rutskiy**

## CREATION OF CRYOGENIC COMPLEX FOR LIQUID NITROGEN MANUFACTURE AND STORAGE IN «SURGUTNEFTEGAS»

*The growing demand in liquid nitrogen by oil and gas producing companies at present is observed. Efficient and safe air separation plants are necessary for its production. «Red Mountain Energy Corp.» supplies the Commonwealth of Independent States (CIS) markets with a great variety of liquid air separation plants made on the base of low pressure thermodynamic cycles. In the CIS eight plants of this type were put into operation by the company. Circuit design optimization and application of advanced engineering developments provide high efficiency and safety level of cryogenic equipment. It is paid much attention to the adaptation of standard engineering design to the conditions of specific manufactures and customers' demands. Such method is revealed in the fulfilling of a project for «Surgutneftegas» company in which the cryogenic complex for liquid nitrogen production and storage has been made and put into operation. The complex project was developed in close cooperation of the following companies' specialists that let take into consideration manufacture conditions and find the most efficient for its conditions engineering and technological solutions. As a result an air separation complex was designed and built on a turnkey basis in the shortest terms and it was successfully put into operation.*

**Keywords:** Oil and gas production. Nitrogen-used technologies. Air separation plant. Liquid nitrogen. Low pressure thermodynamic cycle. Cryogenic tank. Efficiency. Safety.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Технический прогресс в нефте- и газодобывающих отраслях ряда стран мира в значительной мере обусловлен внедрением азотоиспользующих технологий [1].

Азотные технологии открывают перед добывающими компаниями широкие возможности: от поддержания давления в пласте при эксплуатации газоконденсатных месторождений до интенсификации добычи нефти. Например, закачка азота в США на некоторых месторождениях позволила повысить нефтеотдачу пластов на 15-20 % [2,3].

Наиболее крупным объектом, обеспечивающим использование азотных технологий, является комплекс «Cantarell» (Мексика) [4]. В его составе — четыре криогенных воздухоразделительных установки (ВРУ) с общей производительностью в 1340000 м<sup>3</sup>/ч азота с давлением 12 МПа. Азот по трубопроводу от комплекса подаётся к нефтяному промыслу на океанском побережье и затем для интенсификации нефтедобычи — в буровые скважины.

Принимая во внимание положительный мировой опыт применения азота в процессах нефте- и газодобычи, руководство ОАО «Сургутнефтегаз» несколько лет назад приняло решение о создании криогенного комплекса для производства и хранения жидкого азота.

По итогам организованного тендера в качестве поставщика оборудования была выбрана компания «Red Mountain Energy Corp.» — одна из ведущих инженеринговых компаний, специализирующаяся на поставках оборудования для предприятий нефтегазовой отрасли и представляющая интересы ведущих мировых изготовителей промышленного оборудования. Ключевым фактором при выборе поставщика было наличие у него опыта в реализации комплексных решений в области промышленных технологий и возможности выполнения проектов «под ключ» [5].

Контракт между ОАО «Сургутнефтегаз» и «Red Mountain Energy Corp.» на полнокомплектную поставку станции для получения жидкого азота был подписан 03.06.2008 г. Контрактом были установлены исключительно высокие темпы проектирования комплекса, изготовления оборудования, его монтажа, выполнения пусконаладочных работ. Удалось уложиться в жёсткие сроки. В итоге, в декабре 2009 г. станция была запущена в эксплуатацию. Акт о выполнении пусконаладочных работ, подтверждающий выход станции на запланированные показатели, был подписан 14.12.2009 г.

Таким образом, крупный проект был реализован в кратчайшие сроки — прошло всего 18 месяцев с момента подписания контракта до запуска комплекса в эксплуатацию.

Реализованные специалистами компании «Red Mountain Energy Corp.» современные технические и конструкторские решения, обеспечили высокую эффективность и надёжность комплекса, а также позволили сократить сроки монтажа и затраты на строительство.

Оборудование для комплекса производилось на

ведущих предприятиях США, Европы, Китая и Бразилии. Высокое качество его изготовления обеспечивалось применением передовых технологий и организацией эффективной системы контроля качества. Контроль качества изготовления осуществлялся как специалистами «Red Mountain Energy Corp.» (поставщик), так и представителями ОАО «Сургутнефтегаз» (заказчик), которые принимали участие в приёмке оборудования на предприятиях-изготовителях.

## 2. СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСА

Комплекс расположен на Центральной базе производственного обслуживания по прокату и ремонту электропогружных установок ОАО «Сургутнефтегаз» в посёлке Фёдоровский Тюменской области. Комплекс создан на основе криогенной ВРУ KDON-1500-1650/50Y (см. фото 1). Установка относится к новому поколению жидкостных воздухоразделительных установок и сочетает в себе высокие показатели надёжности, эффективности и экономичности. Некоторые из её характеристик указаны в таблице.



Фото 1. Вид станции разделения воздуха на базе установки KDON-1500-1650/50Y

Технические параметры установки KDON-1500-1650/50Y

Производительность по продуктам	
Жидкий азот	2000 кг/ч (1716 нм <sup>3</sup> /ч)
Жидкий кислород	2100 кг/ч (1577 нм <sup>3</sup> /ч)
Чистота продуктов	
Жидкий азот	не более 5 ppm O <sub>2</sub> (0,0005 % об. O <sub>2</sub> )
Жидкий кислород	99,7 %
Количество перерабатываемого воздуха	9200 нм <sup>3</sup> /ч
Давление перерабатываемого воздуха после возд. компрессора	0,55 МПа
Давление воздуха после дожимающего компрессора	3 МПа

Установка создана на основе современных схемных и конструкторских решений: комплексная очистка воздуха в адсорбционном блоке очистки с двухслойными адсорберами (активная окись алюминия и цеолит); рекуперация тепла в высокоэффективных пластинчато-ребристых теплообменниках; производство холода в эффективном турбодетандер-компрессорном агрегате (ТДКА), энергия расширения воздуха в котором используется для повышения давления в цикле.

ВРУ оснащена современной системой контроля и управления на базе микропроцессорной техники, в том числе программируемых контроллеров, реализующей сбор и обработку информации, формирование и выдачу управляющих сигналов.

### 2.1. Технологическая схема ВРУ

Установка KDON-1500-1650/50Y построена на базе эффективной схемы, разработанной для жидкостных ВРУ средней производительности (от 1500 до 3000 кг/ч). В её основу положен термодинамический цикл низкого давления с воздушным циркуляционным контуром. Сжатие воздуха осуществляется ступенчато в основном и дожимающем воздушных компрессорах, а также в компрессорной ступени ТДКА. С целью повышения холодопроизводительности цикла для охлаждения воздуха используется низкотемпературная холодильная машина.

Принятое схемное решение обеспечивает устойчивую работу цикла установки, её высокую эффективность, и, соответственно, низкие энергозатраты,

что подтверждается реальными эксплуатационными показателями.

Принципиальная схема установки KDON-1500-1650/50Y представлена на рис. 2.

Работа ВРУ организуется следующим образом. Атмосферный воздух, очищенный от механических примесей во входном фильтре, сжимается в основном компрессоре TC1 до давления 0,55 МПа. После прохождения узла предварительного охлаждения и очистки часть воздуха, смешавшись с выводимым из блока потоком детандерного воздуха, подаётся на дожатие в турбокомпрессор TC2 и далее в компрессорную ступень ТДКА. В результате ступенчатого дожатия давление воздуха достигает 4 МПа. Затем воздух после промежуточного охлаждения водой поступает в основной теплообменник.

В основном теплообменнике воздушный поток высокого давления охлаждается в результате теплообмена с обратными потоками. Часть потока отбирается для охлаждения в низкотемпературной холодильной машине. Из средней части основного теплообменника производится отбор части воздуха на детандерную ступень ТДКА. Воздух в ней расширяется до давления 0,5 МПа и через основной теплообменник выводится из блока, после чего поступает в линию всасывания дожимающего компрессора.

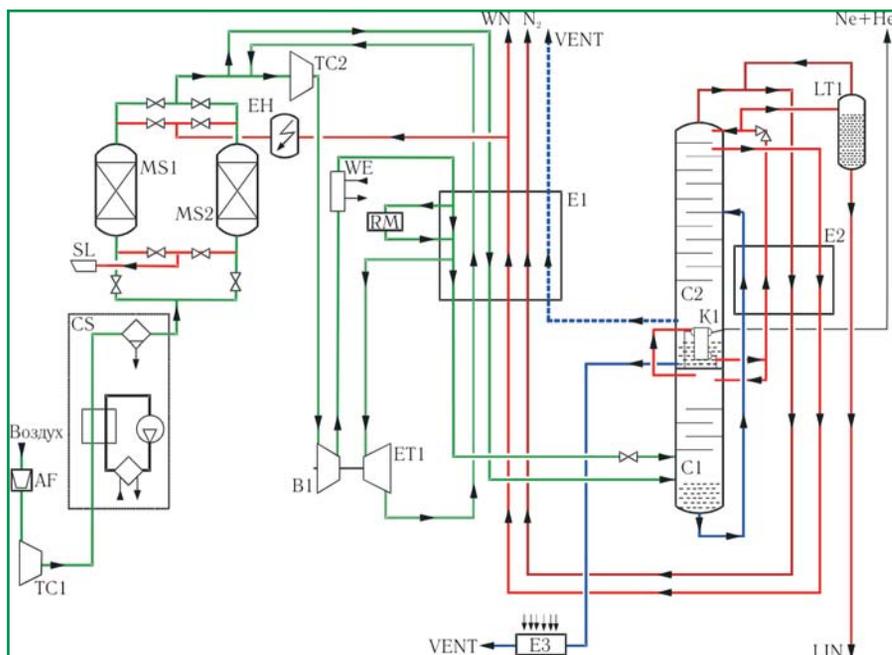
Оставшаяся часть воздуха низкого давления охлаждается в основном теплообменнике и дросселируется в нижнюю колонну C1 узла разделения.

В узле разделения осуществляется низкотемпературная ректификация воздуха,

в результате которой воздух делится на азот с содержанием кислорода не более 5 ppm (0,0005 % об.) и отбросную газообразную фракцию WN. Отбросная газообразная фракция выводится из установки через систему теплообменников. Часть её используется для регенерации блока осушки и очистки воздуха. Жидкий азот LIN сливается в криогенные резервуары. Газообразный азот, выводимый из установки, может быть направлен в азотный ожижитель, который представляет собой отдельно оговариваемую поставку. Также в данной установке предусмотрено получение жидкого кислорода (данный режим не является основным для заказчика).

### 2.2. Воздушные компрессоры

В состав комплекса входят высокоэффективные воздушные турбокомпрессоры ТА6000, ТАЕ50 (фото 3 и 4). Они имеют высокие изотермические КПД.



**Рис. 2.** Принципиальная схема ВРУ: AF — воздушный фильтр; TC1, TC2 — основной и дожимающий воздушные компрессоры; CS — узел предварительного охлаждения воздуха холодильной машиной; MS1, MS2 — адсорберы блока комплексной очистки и осушки воздуха; EH — электроподогреватель регенерирующего газа; SL — глушитель; WE — концевой охладитель; E1 — основной теплообменник; ET1-B1 — ТДКА; RM — низкотемпературная холодильная машина; LT1 — сборник жидкости; C1, C2 — нижняя и верхняя ректификационные колонны; K1 — конденсатор-испаритель; E2 — теплообменник-переохладитель, E3 — испаритель; LIN, N<sub>2</sub>, WN — жидкий, газообразный и отбросный азот

Отличительная особенность машин данного типа — длительный период рабочей кампании и низкие затраты на обслуживание, расходные материалы и запасные части. Отсутствие масла в полости сжатия, а, следовательно, и в сжатом воздухе, подаваемом на разделение, обеспечивает надёжную и безопасную работу оборудования ВРУ.



**Фото 3.** Воздушный компрессор ТА6000



**Фото 4.** Воздушный компрессор ТАЕ50

### 2.3. Узел предварительного охлаждения воздуха

Данный узел разработан на базе холодильной машины промышленного исполнения с непосредственным испарением, т.е. без использования промежуточного теплоносителя. Подобная конструкция обеспечивает снижение потерь при теплообмене, а, следовательно, экономию электроэнергии; высокую компактность и надёжность.

### 2.4. Блок комплексной очистки воздуха

Блок спроектирован с учётом требований высокой надёжности и возможности работы в зонах повышенного загрязнения воздуха (фото 5). Высокая степень очистки воздуха обеспечивается применением двух типов адсорбента: удаление влаги из воздуха происходит в слое активной окиси алюминия, а оставшиеся диоксид углерода и углеводороды извлекаются из воздуха в слое цеолита (молекулярного сита).

Предусмотрен непрерывный автоматический контроль качества воздуха на выходе из блока. В блоке при-

меняется только приводная арматура, что способствует повышению его надёжности по сравнению с блоками, в составе которых имеются самодействующие клапаны.



**Фото 5.** Блок очистки и осушки воздуха установки

### 2.5. Теплообменные аппараты

В блоке разделения ВРУ применяются высокоэффективные теплообменные аппараты с развитой поверхностью теплообмена, обеспечивающие минимальные потери от недорекуперации, а, следовательно, минимум потерь холода с отбросными потоками.

### 2.6. Турбодетандер-компрессорный агрегат

С его помощью производится генерация холода в установке (фото 6). Энергия расширения в детандерной ступени используется для повышения давления в цикле в результате дожатия газа в компрессорной ступени без дополнительных энергозатрат. Высокая точность изготовления и балансировки обеспечивает высокую эффективность и надёжность ТДКА. При этом для обеспечения повышенных требований к установкам данной группы, схемой предусмотрена возможность монтажа двух ТДКА как рабочего и резервного.



**Фото 6.** Турбодетандер-компрессорный агрегат (рабочий и резервный)

### 2.7. Изоляция холодного блока ВРУ

Изоляция блока разделения осуществляется за-

сыпкой перлита в пространство герметичного кожуха. Кроме того, для повышения качества и надёжности изоляции применяется постоянное поддержание в ней избыточного давления сухого азота, что предотвращает проникновение атмосферной влаги внутрь кожуха блока разделения. Этим обеспечивается высокая долговечность блока разделения (срок службы не менее 20 лет), так как исключает попадание влаги внутрь кожуха, а значит, исключает и коррозионный износ элементов блока, и их возможные механические повреждения в результате намерзания льда. В связи с этим можно утверждать, что изоляция в течение всего срока эксплуатации не утратит своих свойств. Высокое качество изоляции, что немаловажно, позволяет сократить до минимума теплопотери в установке и снижает энергозатраты в ней.

### 2.8. Применяемые материалы

Все аппараты холодного блока ВРУ (колонны, теплообменники) а также трубопроводы изготовлены из высококачественных алюминиевых сплавов. В оборудовании и коммуникациях «тёплой» части установки используются углеродистые стали. Однородность применяемых материалов в пределах отдельных блоков обеспечивает высокую надёжность оборудования в связи со следующим:

- исключаются в конструкции установки такие потенциально слабые звенья как переходники для соединения элементов, выполненных из разнородных материалов;
- не требуется применения технологически сложных методов сварки;
- предотвращаются нагрузки на элементы, связанные с различной степенью температурных деформаций изделий из разных материалов.

### 2.9. Система управления

Установка оснащена системой контроля и управления на базе программируемых контроллеров «Siemens», реализующей сбор и обработку информации, формирование и выдачу управляющих сигналов. В состав системы контроля и управления входят операторские станции на базе персональной ЭВМ типа Pentium IV в промышленном исполнении, предназначенные для отображения работы установки и осуществления управления установкой оператором в режиме диалога.

Система управления обеспечивает:

- автоматическое управление процессом;
- оптимизацию технологического процесса;
- возможность анализа технологического процесса (архивирование параметров процесса);
- повышение уровня надёжности и безопасности производства продуктов разделения воздуха.

### 2.10. Охлаждение и подготовка оборотной воды

Для охлаждения и подготовки оборотной воды поставлена система на базе градирен закрытого типа. Данная система обеспечивает высокое качество водоподготовки, исключает накопление отложений на теп-

лообменных поверхностях, увеличивая тем самым период непрерывной работы оборудования, надёжную и безопасную работу комплекса (фото 7).



Фото 7. Градирня закрытого типа

### 2.11. Система длительного хранения жидкого азота

Её создали на базе стационарных криогенных резервуаров с суммарным объёмом 400 м<sup>3</sup> (50×8). Резервуары — вертикального типа с перлитово-вакуумной изоляцией, обеспечивающей длительное хранение криопродукта. Поставка включала также насосное оборудование, межблочную арматуру, криогенные трубопроводы и полный комплект материалов, необходимых для монтажа оборудования с учётом условия сооружения комплекса «под ключ».

## 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кроме поставки оборудования, компанией «Red Mountain Energy Corp.» по условиям контракта были произведены следующие работы:

- Выполнен проект станции, в котором была разработана основная технологическая часть, а также были решены вопросы прокладки коммуникаций, строительства здания, организации подъездных путей, размещения оборудования и мн. др.

- Проведены работы по монтажу поставляемого оборудования (субподрядчик по монтажным работам ООО «Спецмонтаж») (фото 8 и 9).

- Выполнены шеф-монтажные работы, в рамках которых проведены обучающие тренинги для обслуживающего персонала станции, а также пуско-наладочные работы. После их завершения проведены приёмо-сдаточные испытания, по результатам которых подтверждено соответствие параметров оборудования условиям контракта. Шеф-монтажные и пуско-наладочные работы выполнялись с привлечением квалифицированных шеф-инженеров и наладчиков из США, Китая, России и Украины.

На завершающем этапе были получены разрешительные документы, включая сертификаты соответствия, и разрешения на применение на всё поставляемое оборудование.

В настоящее время криогенный комплекс находится в эксплуатации, обеспечивая потребности предприятий ОАО «Сургутнефтегаз» в жидком азоте.



*Фото 8. Монтаж криогенных резервуаров*

Отличительная особенность реализованного проекта состоит в тесном сотрудничестве поставщика и заказчика, начиная от проработки схемного решения и заканчивая строительством и вводом комплекса в эксплуатацию.

Успешное выполнение данного проекта является результатом объединения усилий специалистов не только указанных двух компаний, но также многочисленных партнёров в лице предприятий-изготовителей оборудования и предприятий-субподрядчиков. Всё это служит примером успешного сотрудничества и внедрения в совместную деятельность прогрессивных организационных и технических решений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Азотоиспользующие технологии в нефтедобыче и при эксплуатации нефтепроводов — технологии XXI века/ **А.Г. Грезин, А.В. Громов, Е.П. Мовчан и др.**// Вестник международной академии холода. — 1999. — № 3.



*Фото 9. Один из моментов монтажа блока разделения*

— С. 8-11.

2. **Дакетт М., Бенкс Р., Лимь Д.** Использование азота для увеличения добычи нефти и природного газа// Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. — 1983. — № 7. — С. 37-40.

3. **Клэнси П., Кролл Э., Гилкрист Е.** Применение азота для увеличения добычи нефти и природного газа// Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. — 1981. — № 10. — С. 43-48.

4. **Бернд Шмюкер.** Проектно-концептуальная оптимизация установок разделения воздуха// Технические газы. — 2002. — № 1. — С. 14-19.

5. **Тарасенко И.А., Руцкий С.В.** ВРУ низкого давления для производства от 350 до 8000 кг/ч жидких криопродуктов: схемы, конструкции и характеристики// Технические газы. — 2008. — № 2. — С. 35-42.