

А.Ю. Алексеев

«Linde Engineering AG», Dr.-Carl-v.-Linde-Str., 6-14, Pullach, Germany, 82049
 e-mail: alexander.alekseev@linde-le.com

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВРУ

Криогенные технологии извлечения кислорода, азота и аргона из воздуха применяются уже более 100 лет. Рассматриваются современные тенденции, которые проявляются в кислородном машиностроении. Отмечается, что во многих случаях оптимизация воздухоразделительных установок (ВРУ) проводится не по удельному энергопотреблению, а по их удельной стоимости. При таком подходе для потребителя большое значение будет иметь высокая надёжность установки. Это обуславливает использование в ВРУ процессов внутреннего сжатия продуктов, чтобы исключить применение пожаро- и взрывоопасных кислородных компрессоров. Излагается современная концепция фирмы «Линде» по разработке и изготовлению эффективных ВРУ. В соответствии с ней совершенствуется получение чистого аргона низкотемпературной ректификацией за счёт применения колонн с регулярными насадками; создаются новые блоки очистки и осушки воздуха, не нуждающиеся в холодильных машинах; изготовление всех элементов низкотемпературной части установок выполняется только из алюминия и др. Отличительная особенность фирмы «Линде» — производство собственными силами всего ключевого оборудования криогенных ВРУ.

Ключевые слова: Воздухоразделительная установка. Кислород. Азот. Аргон. Водород. Внутреннее сжатие кислорода. Низкотемпературная ректификация. Регулярная насадка. Алюминий. Холодильная машина. Адсорбер. Очистка и осушка воздуха. Теплообменный аппарат.

А. Yu. Alekseev

FEATURES OF MODERN AIR SEPARATION PLANT

The cryogenic air separation technology is used since more than 100 years for production of oxygen, nitrogen and argon. The modern trends in the air separation are discussed in the present paper. One of them is, that the specific cost of the system becomes more important during the optimization last time. The high availability and reliability is a further significant optimization parameter, while the power consumption is secondary parameter only often. Therefore the use of internal compression for oxygen pressurisation instead of the more dangerous and expensive oxygen compressors becomes more popular. Some basic principles for conceptual design of modern air separation plants made by «Linde» are described in this paper. According to this concept the packed columns are used for production of argon as well as purification units based on molecular sieve adsorption without refrigerators. The whole low-temperature part of the air separation plant is made from aluminium. An further essential issue is that the company «The Linde Group» is able to manufacture all kind of key equipment for low temperature systems.

Keywords: Air separation plant. Oxygen. Nitrogen. Argon. Hydrogen. Internal compression of oxygen. Low-temperature rectification. Regular packing. Aluminium. Refrigerating machine. Adsorber. Clearing and dehydration of air. Heat-exchanger apparatus.

1. ВВЕДЕНИЕ

Акционерное общество «Линде» было основано 21 июня 1879 г. Основной продукцией предприятия тогда были холодильные установки. С 1895 г. к ним добавились ожижители воздуха, а с 1903 г. — воздухоразделительные системы [1].

С самого начала фирма задумывалась не просто как завод по производству холодильных машин и аппаратов, но прежде всего как высокотехнологичная инженеринговая компания. Основатель фирмы Карл Линде понимал, что только ориентация на создание новейших изделий позволит стабильно получать высокую прибыль. Известно, что когда на рынке появля-

ются многочисленные конкуренты, способные производить похожие изделия, цены вследствие конкуренции падают, и рентабельность предприятия уменьшается. Поэтому фирма «Линде» старалась заниматься только самыми современными и уникальными технологиями, успешно продавая при этом и лицензии. А от изделий и технологий, хорошо освоенных конкурентами, стремилась побыстрее избавиться.

Производственные мощности фирмы не были в те годы особенно крупными, несмотря на её монопольное положение во многих областях, начиная от производства льда и до крупных холодильников-складов и катков с искусственным льдом. Элементы компрессоров по чертежам фирмы «Линде» собирались на машиностроительных заводах независимых производителей и только окончательная их сборка осуществлялась фирмой «Линде».

Особое положение на фирме занимал отдел, выполнявший монтаж и ввод установок в эксплуатацию. Карл Линде уделял больше внимания сообщениям монтажников, чем дискуссиям с инженерами-разработчиками. В случае конфликта всегда становился на сторону монтажников. Практический опыт и навыки высоко ценились им. Следствием такой политики были компетентность и мастерство монтажников, что обеспечивало высокое качество работы фирмы.

Эти основные принципы — предлагать самые современные технологии и избавляться от устаревших, интенсивно использовать субподрядчиков, но обеспечивать знаменитое немецкое качество, нарабатывать опыт и совершенствовать навыки — определяют работу фирмы и сегодня, несмотря на то что прошло уже более 125 лет со дня её основания. Так, например, фирма «Линде» сегодня совсем не занимается холодильной техникой (несмотря на то, что когда-то холодильная техника была основной продукцией), зато предлагает самые современные технологии разделения воздуха, ожижения природного газа, гелия и водорода, производства CO, водорода или синтез-газа, газификации угля, а также производства этилена, пропилена, мономеров и многих других продуктов нефте- и газопереработки [2].

Акционерное общество «Линде» является на данный момент самым крупным в мире предприятием по производству промышленных газов с годовым объёмом продаж 12,4 млрд. евро. В его штате — примерно 49000 сотрудников в более чем 70-ти странах мира.

2. ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ

Криогенная технология разделения воздуха существует уже более 100 лет. В мире химических технологий она относится к разделу «mature technology», т.е. уже зрелых, состоявшихся процессов. Тем не менее и эта технология постоянно меняется. Например, до 60-ых гг. в ходу были почти исключительно системы с регенераторами, а в 70-ых появились системы с пластинчато-ребристыми теплообменниками. Причём сначала они использовались реверсивно как регенераторы, и только позднее с появлением адсорбционных

блоков очистки и осушки теплообменники стали эксплуатироваться в стационарных режимах. Как позже совершенствовались технологические схемы ВРУ и конструкции используемого в них оборудования?

Рассмотрим основные тенденции в современном кислородном машиностроении.

2.1. Надёжность и невысокая стоимость

Анализ показывает, что требование к высокой эффективности установки стоит не на первом месте. Наиболее актуальными являются высокая надёжность и низкая стоимость установки [3].

На первый взгляд этому можно удивляться. Казалось бы, что в условиях высоких и растущих цен на нефть, природный газ и другие энергоносители именно энергопотребление будет определяющим фактором при выборе ВРУ. Но если такая тенденция и существует, то она выражена в очень небольшой степени. Этому есть несколько причин.

Во-первых, в последние годы мировая энергетика развивалась очень быстрыми темпами благодаря открытию рынков и глобализации. Это привело к тому, что энергия в той или иной форме доступна практически в необходимых количествах в любой точке земного шара, в особенности в регионах с повышенным спросом на ВРУ: в Азии и на Ближнем Востоке. Исключение в смысле доступности энергии составляют, пожалуй, только Индия и страны СНГ. В этих регионах энергетический сектор ещё сильно монополизирован, и внутренний энергетический рынок ещё не развит. Но в этих странах ВРУ с высокой эффективностью на данный момент не востребованы. Во-вторых, стоимость продуктов воздухоразделения — азота, кислорода, аргона и т.д. — составляет в действительности не такую уж и большую часть в себестоимости конечных продуктов, которые изготавливают потребители этих газов — сталелитейные заводы, химические, нефтегазохимические и другие производства. Так, в стоимости легкового автомобиля (как правило, более 10000 евро) только 50-150 евро приходится на стоимость промышленных газов, используемых для его изготовления. Поэтому изменения цен на энергию для производства азота, кислорода, аргона не сильно повлияют на себестоимость конечных продуктов.

Основная причина, почему оптимизация ВРУ всё чаще проводится не по удельному энергопотреблению, а по удельной стоимости, заключается в высокой стоимости финансирования. Для того, чтобы приобрести и запустить в эксплуатацию ВРУ, необходимо взять в банке многомиллионный кредит под относительно высокие проценты. Выплата кредита и процентов ложатся громадным грузом на плечи инвесторов. При покупке недорогой системы финансовая нагрузка уменьшается.

Высокая надёжность ВРУ важна в связи с тем, что она гарантирует её многолетнюю бесперебойную работу. Ведь каждая остановка системы сокращает объём продаж газов и выручку, срок окупаемости ВРУ возрастает. Крупная авария, как например, выход из строя компрессора, может парализовать работу ВРУ

на несколько месяцев и поставить под угрозу финансирование и успех всего проекта.

2.2. Укрупнение установок

Другая отчетливая тенденция — укрупнение установок. Если 20 лет назад стандартной установкой для металлургических предприятий была ВРУ с производительностью около 30000 $\text{нм}^3/\text{ч}$, то сегодня же металлургические предприятия покупают установки для производства 60000-90000 $\text{нм}^3/\text{ч}$. Эта тенденция связана также с объемом требуемого финансирования. Так, чем крупнее установка, тем ниже её удельная стоимость. Считается, что стоимость двух ВРУ определенной производительности приблизительно на 10 % выше стоимости одной ВРУ с удвоенной производительностью. То есть стоимость двух установок по 30000 $\text{нм}^3/\text{ч}$ кислорода на 10 % выше стоимости одной установки производительностью 60000 $\text{нм}^3/\text{ч}$.

2.3. Возможность извлечения инертных газов

Так как содержание неона, криптона и ксенона в воздухе мало, добыча этих газов осуществляется только на крупных ВРУ (от 30000 $\text{нм}^3/\text{ч}$ по кислороду). Производительность современных установок в среднем постоянно растёт, крупные блоки строятся всё чаще и чаще. Поэтому доля ВРУ с извлечением неона, криптона и ксенона тоже постоянно увеличивается.

2.4. Тюнинг под заказчика

Увеличение производительности установок приводит к тому, что их заказчики всё чаще отказываются от так называемых стандартных ВРУ. Если установки до 10000 $\text{нм}^3/\text{ч}$ по кислороду ещё более-менее стандартизированы, то более крупные установки проектируются индивидуально «под заказчика». Причем это касается не только отдельных аппаратов и машин, но также и выбора технологического процесса. Так может случиться, что одновременно для различных заказчиков проектируются несколько установок приблизительно одинаковой производительности, но тем не менее в них используются совершенно различные технологические процессы (внешний азотный цикл, воздушный цикл с турбиной низкого давления и т.д.) и разные машины и аппараты. Несмотря на несколько больший объем инжиниринга, такой подход позволяет оптимизировать общую стоимость установки, так как его доля в общей стоимости крупных установок относительно мала, а доля стоимости машин, аппаратов и другого оборудования велика.

2.5. Газовые договоры

Еще одна тенденция заключается в том, что растут продажи не установок, а договоров на поставку промышленных газов. Заключив такой договор, покупатель избавляется от ряда сложных проблем, а продавец принимает на себя покупку, монтаж и эксплуатацию ВРУ и снабжает покупателя промышленными газами в оговоренных количествах, согласованного качества и в течение определённых сроков.

Если работают рыночные механизмы, то покупа-

телю удаётся сбить цену на «договорный» газ до низкого уровня. Для продавца договора это означает, что на продаже газа заказчику он зарабатывает совсем немного — доходы только-только покрывают расходы, и он должен стараться изо всех сил, чтобы достичь хорошей прибыли, например, за счёт продажи продуктов разделения воздуха другим потребителям на региональном рынке.

Конечно, в этом случае установка рассчитывается не просто на продукты основного потребителя, а с избыточной производительностью с учётом прогнозов их сбыта в регионе в будущем. Дополнительные продукты, как правило, производятся в жидком виде. Очень часто «договорные» системы комплектуются арговыми блоками, так как спрос на этот продукт постоянно растёт и только в редких случаях удовлетворяется полностью.

Фирма «Линде» не следует всем мировым тенденциям слепо. Это касается, в частности, заключения договоров на поставку газов. Мы знаем, что некоторые фирмы настолько усиленно форсируют эту форму газового бизнеса, что даже и не предлагают ВРУ потенциальному заказчику. Фирма «Линде» не придерживается такой политики и всегда в первую очередь предлагает ВРУ под конкретный заказ.

3. ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ВРУ ФИРМЫ «ЛИНДЕ»

Какие же особенности характерны для современной ВРУ? Их можно условно разделить на две группы (см. рис. 1). Это — особенности, связанные непосредственно с технологическим процессом (схемным решением), и особенности, обусловленные применением определенного типа технологического оборудования. Такое разделение является, конечно, условным, потому что обе группы признаков между собой тесно связаны. Например, реализация определённых процессов стала возможной только благодаря доступности определенного вида оборудования. К первой группе следует отнести то, что для компримирования кислорода в современных ВРУ используются почти исключительно процессы с внутренним его сжатием.

3.1. Внутреннее сжатие кислорода

Давление кислорода, которое обычно необходимо поддерживать во внешней сети для снабжения им типичного металлургического завода, составляет 30-40 бар. Для сжатия кислорода до таких давлений можно использовать многоступенчатый кислородный компрессор (рис. 2,а). Это сложная машина, так как она разрабатывается и строится с учётом того, что сжимаемый газ — кислород — сильнейший окислитель, в присутствии которого многие материалы воспламеняются. А при повышении давления и одновременно с этим температуры сжатия риск возгорания увеличивается. В случае возникновения пожара кислородные компрессоры в отличие от воздушных или азотных сгорают полностью или, по крайней мере, разрушаются до такой степени, что не поддаются восстановле-

нию. В этом случае ВРУ выходит из строя надолго, так как сроки поставки кислородных компрессоров достаточно продолжительны. Чтобы избежать подобных простоев европейские заказчики раньше обычно комплектовали ВРУ запасным кислородным компрессором, что существенно удорожало установку.



Рис. 1. Особенности ВРУ с учётом реализуемых процессов и применяемого оборудования

Существуют ли иные возможности для сжатия кислорода? Да. Например, можно оживить кислород путём охлаждения, сжать полученную жидкость с помощью кислородного насоса до требуемого давления, а затем испарить эту сжатую жидкость подводом теплоты (рис. 2,б). С точки зрения безопасности этот метод даже предпочтительнее, так как процесс сжатия происходит, во-первых, при низких температурах, при которых для инициирования возгорания требуется большая энергия, а во-вторых, в жидкой фазе, что обеспечивает эффективный и равномерный отвод тепла. Нужно также учитывать, что на компримирование практически несжимаемой жидкости расходуется минимальное количество энергии, а поэтому большие энергетические потоки, способные привести к возгоранию, в кислородном насосе просто отсутствуют.

Метод сжатия кислорода с помощью насоса, на первый взгляд, кажется и более эффективным с точки зрения энергопотребления, так как охладить и оживить тёплый кислород низкого давления можно было бы в противоточном теплообменнике с помощью холодного сжатого жидкого кислорода высокого давления. К тому же, энергопотребление кислородного насоса во много раз меньше энергопотребления кислородного компрессора. Но, к сожалению, это термодинамически невозможно, так как кислород высокого давления кипит при температуре около 130 К, а для оживления кислорода низкого давления требуются температуры около 90 К.

Тем не менее и эту проблему можно решить. На рис. 2,в представлен один из вариантов схемы с дополнительным дроссельным воздушным циклом. Как следует из схемы, компрессор сжимает воздух, который затем подаётся в противоточный теплообменник и испаряет жидкий кислород высокого давления. Воздух при этом охлаждается и оживляется. На выходе из теплообменника оживлённый воздух дросселируется и направляется в теплообменник противотоком к кислороду низкого давления, который оживляется. Воздушный же поток при этом испаряется, затем нагревается до температуры окружающей среды и поступает на вход воздушного компрессора. Такой процесс термодинамически осуществим, хотя внешне и кажется усложнённым, так как вместо одного единственного кислородного компрессора здесь требуется не только кислородный насос, но ещё и теплообменник, и воздушный компрессор. А по эффективности такой процесс сжатия кислорода явно проигрывает кислородному компрессору из-за наличия потерь в теплообменнике.

Спрашивается, кого заинтересует такой несовершенный процесс? Оказывается, что метод сжатия кислорода с помощью насоса очень удачно интегрируется в воздухоразделительную установку. Прежде всего благодаря тому, что в ВРУ так или иначе уже есть противоточный теплообменник. А для воздушного цикла можно взять часть сухого уже сжатого в главном компрессоре до

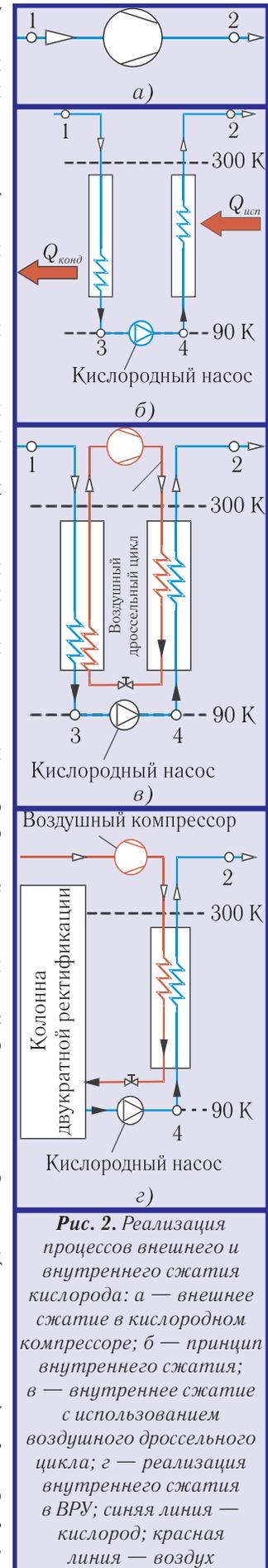


Рис. 2. Реализация процессов внешнего и внутреннего сжатия кислорода: а — внешнее сжатие в кислородном компрессоре; б — принцип внутреннего сжатия; в — внутреннее сжатие с использованием воздушного дроссельного цикла; г — реализация внутреннего сжатия в ВРУ; синяя линия — кислород; красная линия — воздух

Данные о кислородных ВРУ, создаваемых для заказчиков из СНГ

Место сооружения	Производительность по кислороду, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Давление кислорода, бар	Особенности сжатия	Производительность по аргону, $\text{нм}^3/\text{ч}$	Год ввода в эксплуатацию
Ревда	13200	30	внутреннее	200	2005
Енакиево	33500	29	внутреннее	1030	2007
Донецк	6000	30	внутреннее	225	2008
Норильск	20800	6	внутреннее	—	2007-2008
Березовский-1	8300	30	внутреннее	300	2007-2008
Березовский-2	4000	30	внутреннее	—	2008-2009
Липецк	32300	1,2	внешнее	932	2008-2009

5,6-6,0 бар воздуха, который всё равно необходимо охладить до криогенных температур для подачи в колонну высокого давления (см. рис. 2,г). Компрессор дополнительного воздушного цикла в этом случае будет очень компактным.

Под внутренним сжатием как раз и понимается такой процесс, когда кислород забирается из верхней колонны в жидком виде, сжимается кислородным насосом до требуемого давления и затем нагревается и испаряется под этим давлением в главном теплообменнике. Часть сухого сжатого воздуха (после адсорбера) сжимается в дополнительном воздушном компрессоре до давления близкого или большего чем давление кислорода и направляется противотоком кислородному потоку, обеспечивая его испарение и ожигааясь при этом. Затем сжиженный воздух расширяется в дросселе и направляется в нижнюю колонну. Таким образом, замена сжатия кислорода в кислородном компрессоре (внешнее сжатие) на сжатие внутреннее позволяет отказаться от такого элемента как кислородный компрессор и заменить его комбинацией из кислородного насоса и воздушного компрессора. Переход на внутреннее сжатие даёт возможность существенно снизить риск возгорания и в итоге уменьшить стоимость ВРУ.

Практически все кислородные установки фирмы «Линде» базируются на процессах с внутренним сжатием кислорода (см. таблицу). Исключение составляют установки для заказчиков, у которых имеются относительно новые кислородные компрессоры, и заказчик желает использовать их в дальнейшем.

3.2. Метод получения чистого аргона низкотемпературной ректификацией

Получение чистого аргона криогенным способом тоже относится к группе особенностей, связанных непосредственно с реализуемым технологическим процессом (схемным решением).

Метод получения чистого аргона низкотемпературной ректификацией был разработан и запатентован фирмой «Линде» в начале 90-ых годов. Практически все ведущие фирмы — «Air Liquide», «Air Products», «Prahaig» — приобрели у «Линде» лицензии на использование этого патента.

В основе этого метода лежит использование регулярной насадки из гофрированного алюминиевого листа в колонне сырого аргона (рис. 3). При одинаковых гидравлических потерях в этой колонне с по-

мощью регулярной насадки можно реализовать более чем 200 теоретических тарелок, тогда как при использовании обычной технологии как правило — только 40-50. Это позволяет понизить концентрацию кислорода в сыром аргоне с 2 % до 1 ppm.

Практически из такой колонны выходит уже не сырой аргон, а технический с содержанием азота около 1 %. Используемый ранее (см. рис. 3,а) для выжигания кислорода сложный и капризный блок каталитического гидрирования (включая нагрев до температуры окружающей среды, сжатие в компрессоре, проведение реакции в реакторе с катализатором, осушку в адсорберном блоке и охлаждение до примерно 90 К) не нужен более. Сырой (технический) аргон подается напрямую в колонну чистого аргона (см. рис. 3,б), где отгоняются низкокипящие компоненты (азот, водород). Так как этот метод позволяет отказаться от блока каталитического гидрирования с помощью водорода, то уменьшается риск возгорания или взрыва ВРУ. Кроме того, криогенный блок удачно интегрируется в ВРУ в функциональном и конструктивном отношении, что ведёт к более низкой стоимости установки.

3.3 Ситчатые тарелки и регулярная насадка

Идея использования регулярных насадок для колонны сырого аргона обусловила проведение работ по созданию технологии для их изготовления. Надо отметить, что швейцарская фирма «Sulzer Chem-Tech» практически одновременно с «Линде», но независимо от неё, разработала свою технологию. С тех пор обе фирмы являются технологическими лидерами в этой области.

Фирма «Линде», таким образом, владеет обеими технологиями для производства криогенных колонн как с ситчатыми тарелками, так и с регулярными насадками из гофрированного алюминиевого листа. Причём, в отличие от других производителей ВРУ фирма не собирается и в будущем отказываться от ситчатых тарелок, несмотря на большие потери давления и узкий диапазон изменения расходов. Ситчатые тарелки имеют свои преимущества: меньшая зависимость от неравномерного распределения флегмы по сечению колонны; высота колонны с ситчатыми тарелками оказывается меньше высоты колонн с насадкой. Эти факторы не играют большой роли при создании малых и средних установок, но для крупных установок производительностью от 80000 $\text{нм}^3/\text{ч}$ по кислороду эти критерии могут оказаться решающими.

3.4. Отказ от холодильных машин

Ещё одна особенность современных ВРУ заключается в редком применении холодильных машин в системе предохлаждения перед блоком очистки и

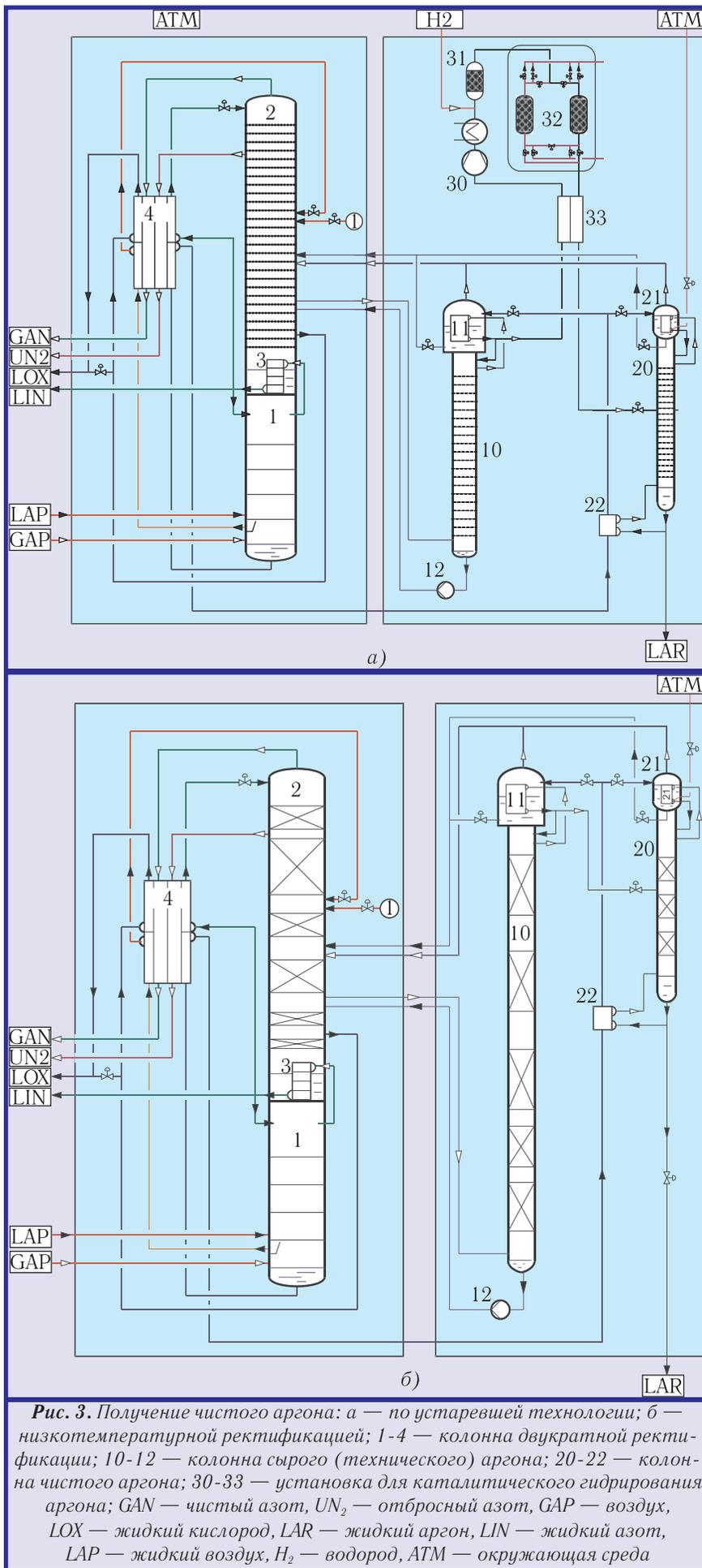


Рис. 3. Получение чистого аргона: а — по устаревшей технологии; б — низкотемпературной ректификацией; 1-4 — колонна двукратной ректификации; 10-12 — колонна сырого (технического) аргона; 20-22 — колонна чистого аргона; 30-33 — установка для каталитического гидрирования аргона; GAN — чистый азот, UN₂ — отбросный азот, GAP — воздух, LOX — жидкий кислород, LAR — жидкий аргон, LIN — жидкий азот, LAP — жидкий воздух, H₂ — водород, ATM — окружающая среда

осушки воздуха. Несмотря на то, что холодильные машины существенно облегчают эксплуатацию установки в жарких летних условиях, упрощают проектирование адсорберов и удешевляют их, вероятность выхода из строя холодильной машины как и любой машины существенно превышает вероятность отказа любого аппарата ВРУ. Отказ от использования холодильной машины за счёт внесения соответствующих изменений в конструкцию адсорберов повышает надёжность и безопасность ВРУ, а также позволяет снизить их стоимость.

3.5. Широкое использование алюминия

Одна из особенностей оборудования ВРУ фирмы «Линде» — изготовление из алюминия всей низкотемпературной части, т.е. теплообменников, колонн и трубопроводов. Это даёт некоторые преимущества. Например, позволяет выполнять все соединения сварными (низкотемпературные соединения сталь-алюминий отсутствуют) и таким образом гарантировать высокую герметичность. Кроме того, масса оборудования уменьшается по сравнению с аппаратами из нержавеющей стали, что снижает затраты на транспортировку и монтаж крупных блоков.

3.6. Организация собственного производства ключевого оборудования

Фирма «Линде» владеет собственной технологией и сама производит все ключевые элементы ВРУ: алюминиевые пластинчато-ребристые и витые теплообменники; регулярные насадки для колонн; алюминиевые трубы большого диаметра; клапаны для адсорберов блока очистки и осушки воздуха; сосуды для хранения сжиженных криогенных газов. В состав концерна входит также фирма «Криостар», которая производит криогенные турбины и насосы. Таким образом, «Линде» является единственным предприятием в мире, способным производить низко-

температурную часть ВРУ полностью из собственных компонентов. Причём, эти производственные мощности довольно значительны. Так, на наших заводах производится около 30 % всех криогенных теплообменников в мире.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технологии фирмы «Линде» позволяют существенно повысить надёжность и безопасность воздухо-разделительных установок, а также снизить их стоимость. В этом смысле они полностью соответствуют тенденции последнего десятилетия. Благодаря современным технологиям фирма даже спустя более 125 лет после её основания остаётся лидером на рынке

ВРУ и других низкотемпературных установок, а также промышленных газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Linde Carl.** Aus meinem Leben und von meiner Arbeit. — Muenchen: Oldenbourg Verlag GmbH, 1998. — 148 S.
2. **Лавренченко Г.К.** Линде и «Линде АГ»: от первой кислородной установки к современным системам производства технических газов// Технические газы. — 2002. — № 1. — С. 6-13.
3. **Шмюкер Бернд.** Проектно-концептуальная оптимизация установок разделения воздуха// Технические газы. — 2002. — № 1. — С. 14-19.



ВТОРОЕ ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ — ЗА 2 ГОДА!

- необходимо наличие законченного высшего инженерно-технического образования;
- обучение в Одесской государственной академии холода по направлению Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИГМА»;
- специальность 8.090507 «Криогенная техника и технология»;
- форма обучения — заочная, контрактная;
- завершение учёбы — сдачей государственного экзамена;
- возможность продолжения обучения для получения диплома магистра;
- диплом Министерства образования и науки Украины признаётся в странах СНГ.

Условия приёма по контактному тел./факсу: +38 (048) 777-00-87

