

Е.Ю. Тарасова, А.В. Кортиков

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

e-mail: elena_tarasova@cryogenmash.ru

НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВОЗДУХОРАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ОАО «КРИОГЕНМАШ»

ОАО «Криогенмаш», — ведущий российский производитель воздуходелительных установок (ВРУ), — постоянно совершенствует выпускаемое оборудование. Приведены примеры новых схемных решений, изменения в конструкции аппаратов и узлов, технологии их производства, новые возможности системы контроля и управления. Решения по изменениям схем установок принимаются на основе тщательного термодинамического анализа различных вариантов, по изменениям конструкции аппаратов — исходя из результатов пусконаладочных работ, мониторинга ряда выпущенных установок и опыта эксплуатации собственных ВРУ. Цель изменений — снижение энергозатрат и стоимости оборудования, повышение надежности и удобства обслуживания и управления.

Ключевые слова: Воздухоразделительная установка. Совершенствование. Схемные решения. Конструкция. Надежность. Стоимость. Энергозатраты.

Е.Ю. Тарасова, А.В. Кортиков

TRENDS OF IMPROVEMENTS THE AIR SEPARATION PLANTS PRODUCED BY JSC «CRYOGENMASH»

JSC «Cryogenmash» is the leading manufacturer of air separation plants (ASP) in Russia that improves the equipment on a regular basis. The examples of new circuit designs, modifications in the devices and units design, their production process, new capabilities of the control and monitoring system are given. The decisions on the plants diagrams modifications are taken based on a thorough thermodynamic analysis of various versions, as to the devices design modifications — based on the results of commissioning, monitoring of a number of produced plants and the experience of its own ASP running. The modifications purpose consists in reduction of the equipment power consumption and price, improvement of reliability, maintenance and control.

Keywords: Air separation plant. Improvement. Circuit designs. Design. Reliability. Price. Power consumption.

1. ВВЕДЕНИЕ

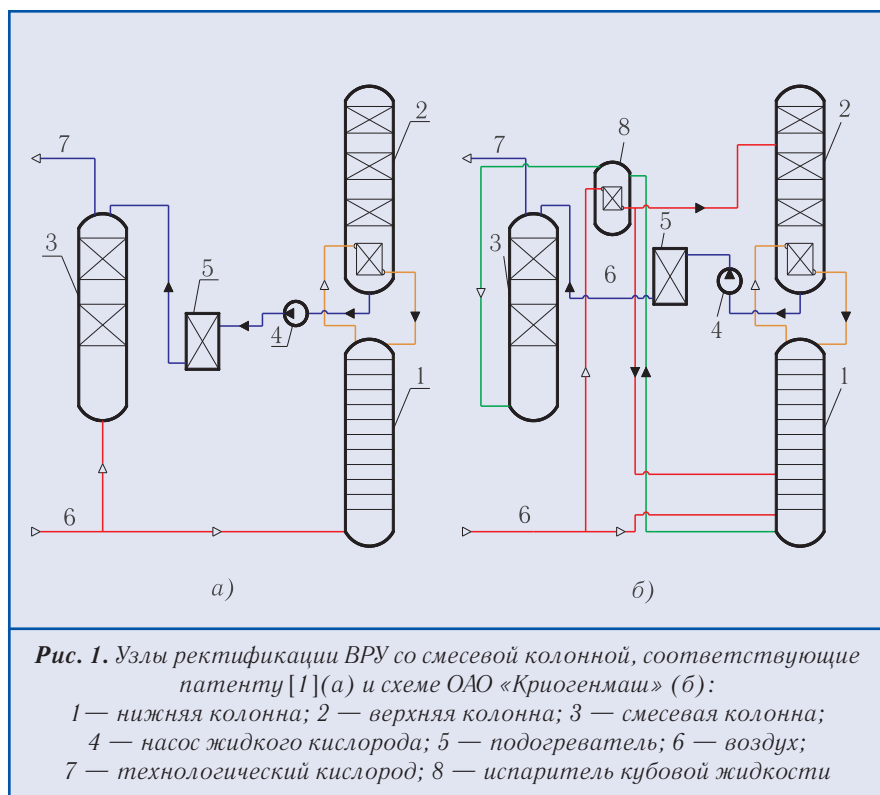
Низкотемпературное разделение воздуха, на первый взгляд, является консервативной и мало меняющейся областью техники. Компрессия воздуха, его предварительное охлаждение, осушка и очистка, получение холода в турбодетандерах, применение аппаратов двукратной ректификации — все эти составляющие процесса разделения воздуха известны не один десяток лет. Тем не менее каждый год среди десятков выпускаемых в мире ВРУ найдутся несколько, в которых реализованы новые схемные, аппаратные или управленческие решения.

В целом можно выделить следующие направления, на которых сосредоточены усилия разработчиков: надёжность, энергозатраты, стоимость оборудования, простота и удобство управления и обслуживания.

Эти параметры, иногда входящие в противоречие между собой, являются определяющими при оценке оборудования конкурентов во время тендерных процедур, и зачастую совсем небольшая разница в стоимости, составе оборудования или удельных энергозатратах может стать критерием окончательного выбора поставщика. В таких условиях производители воздуходелительных установок постоянно совершенствуют свое оборудование, и ОАО «Криогенмаш» не является исключением.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВРУ

Большинство средних и крупных ВРУ проектируются сегодня под конкретные требования заказчика. Заметна тенденция распространения такого подхода в область установок меньшей производительности. Свя-



зано это с тем, что, с одной стороны, удельный вес стоимости разработки в общей стоимости ВРУ довольно мал, с другой, — растут специфические требования со стороны заказчиков к чистоте, давлению и расходам продуктов разделения воздуха, доле получаемой жидкости, диапазону регулирования и т.д. В этих условиях, часто дополненных ограничением по капитальным затратам, разработчик должен решать задачу многопараметрической оптимизации и иногда прибегать к новым нестандартным решениям.

Одним из таких решений ОАО «Криогенмаш» явилось включение дополнительного испарителя кубовой жидкости в технологическую схему ВРУ со смешевой колонной [2]. Напомним, что такая ВРУ предназначена для получения технологического кислорода под давлением до 0,4 МПа непосредственно из блока разделения. Работа смешевой колонны основана на испарении предварительно сжатого жидкого кислорода, который подают на верхнюю тарелку, с помощью газообразного воздуха, который вводят в куб колонны. Эта схема, патент на которую был получен более тридцати лет назад [1], была подробно проанализирована в ОАО «Криогенмаш» с использованием эксергетического метода. В результате полученной картины распределения потерь эксергии в аппаратах схемы был предложен способ их снижения, заключающийся в замене воздуха, подаваемого в куб смешевой колонны, на пары кубовой жидкости (см. рис. 1). Это позволило снизить удельные энергозатраты на производство технологического кислорода на 11% по сравнению с традиционной схемой включения смешевой колонны. В настоящее время три установки технологического кислорода, выполненные по такой схеме, работают на предприятиях цветной металлургии и хими-

ческой промышленности Украины, Казахстана и России; ведётся проектирование еще одной ВРУ.

Среди нетрадиционных подходов при создании воздухоразделительных установок можно выделить решение, использованное в разработанной и поставленной нами ВРУ для нового металлургического производства ОАО «ММК» на территории Турции (г. Искендерун) [3].

В соответствии с техническим заданием установка должна производить газообразный технический кислород под давлением 3,1 МПа с расходом 15000 м³/ч, чистый азот под давлением 1,7 МПа с расходом 13500 м³/ч и около 5 т/ч жидких продуктов — кислорода, азота и аргона. Необходимым условием являлась работа установки в режимах со снижением производительности по перерабатываемому воздуху до 50% и с соответствующим снижением энергозатрат.

Ставшая уже классической схема ВРУ с выдачей газообразного технического кислорода под давлением предполагает сжатие всего потока перерабатываемого воздуха до давления около 0,6 МПа в основном компрессоре, а после блока комплексной очистки — дополнительное сжатие части воздуха в бустерном компрессоре. Поэтому при традиционном подходе схема установки включала бы четыре компрессора (два основных и два бустерных) для работы в требуемом диапазоне производительности. После анализа различных вариантов реализации было решено применить схему среднего давления воздуха без бустерных компрессоров. Такая схема или её варианты обычно используются в установках для ожижения газов, т.е. там, где требуется получение большой холодопроизводительности. Для конкретного варианта установки, где основное количество продуктов разделения выводится в газообразном виде, было рассчитано оптимальное давление воздуха, а также применено разделение потоков компрессорной и детандерной ступеней турбодетандер-компрессорного агрегата. В результате холодопроизводительность цикла была снижена, при этом обеспечен требуемый температурный напор в основном теплообменнике.

С учётом получения части продуктов разделения в жидком виде удельные энергозатраты по сравнению с традиционной схемой возросли незначительно, однако экономия капитальных затрат, связанная с исключением бустерных компрессоров, весьма существенна. Необходимо отметить, что исключение двух единиц машинного оборудования приводит к общему повышению надёжности ВРУ и снижению затрат на техническое обслуживание. В настоящее время установка

прошла комплексные испытания при 50 и 100 % производительности с подтверждением всех проектных показателей.

3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УЗЛОВ И АППАРАТОВ ВРУ

ОАО «Криогенмаш» исторически всегда уделял значительное внимание вопросам тепломассообмена и гидродинамики аппаратов ВРУ, включая экспериментальные исследования процессов и создание надежных расчетных методик. Подтверждением высокого уровня этих работ стало приобретение в 90-х годах прошлого века компаниями «Air Products and Chemicals», «Linde» и «Kobe Steel» лицензий на методику и программу расчёта тарельчатых ректификационных колонн, разработанных специалистами ОАО «Криогенмаш». Помимо колонн, в компании были созданы программы расчёта всех аппаратов ВРУ — сепараторов, фильтров, адсорберов, теплообменников и конденсаторов различных типов и т.д. Наличие собственных программ позволило оперативно разрабатывать конструкторскую документацию, а при закупках части оборудования — проводить его поверочные расчеты. Достоверность и надёжность расчётных методик подтверждена тысячами работающих аппаратов в сотнях действующих установок.

Вместе с тем длительное время ОАО «Криогенмаш» был фактически отстранен от текущих вопросов эксплуатации ВРУ. Сложилась такая ситуация из-за того, что большая часть потребителей технических газов в СССР, а затем в России являлись владельцами воздухоразделительных установок. В результате тот богатейший опыт, которым обладал ряд наших конкурентов, бывших одновременно и разработчиками воздухоразделительного оборудования, и эксплуатирующими компаниями, в отношении установок ОАО «Криогенмаш» остался у служб эксплуатации. В этих службах на многих предприятиях сформировались коллективы грамотных и высококвалифицированных специалистов. Ситуация изменилась только в последние годы, когда у ОАО «Криогенмаш» появились собственные воздухоразделительные установки, созданные для эксплуатации в условиях on-site.

Результаты пусконаладочных работ, мониторинг ряда выпущенных установок, а также опыт эксплуатации собственных ВРУ — вот основные источники информации, на основании которой принимаются решения о необходимости внесения изменений, совершенствования конкретных узлов и аппаратов.

3.1. Блоки комплексной очистки (БКО)

Надежная работа БКО является непременным условием общей надёжности ВРУ. Любое отклонение от проектных показателей должно внимательно анализироваться с целью поиска и устранения причин.

В существующих адсорберах БКО для установок средней и высокой производительности наша компания применяет конструкцию с физически разнесенными

полостями для оксида алюминия и цеолита. На ряде установок наблюдался унос цеолита через верхний узел компенсации температурных деформаций. Причина заключалась в возможном смещении внутренних элементов узла при транспортировке в горизонтальном положении, а также, как показал гидродинамический анализ, истирании цеолита из-за повышенной скорости газа в этой области адсорбера.

В новой конструкции адсорбера принято решение о коаксиальном расположении слоёв цеолита и оксида алюминия, вплотную друг к другу. С целью снижения металлоёмкости и, соответственно, стоимости оборудования, фильтр, который раньше выполнялся как отдельный аппарат, будет встроенным. Также будет изменен способ крепления теперь уже общей корзины для адсорбентов. Цель вводимых в конструкцию изменений — повысить надёжность адсорберов с одновременным снижением металлоёмкости и затрат на техническое обслуживание.

Проектируемые для установок меньшей производительности адсорберы с осевым током также получат встроенные фильтры. Для всех типов адсорберов будет применяться уже использованный в ряде проектов цеолит со сферической формой гранул. Это снизит его истираемость во время работы и повысит надёжность работы БКО.

Для нагрева регенерирующего газа ОАО «Криогенмаш» применяет паронагреватели и электронагреватели собственного изготовления. Направление совершенствования паронагревателей — переход от витых аппаратов с трубкой из нержавеющей стали к прямотрубным теплообменникам, с использованием оребренных труб из углеродистой стали. Как показал предварительный анализ, такое решение позволит снизить и металлоёмкость, и трудоёмкость изготовления.

Все большее число заказчиков крупных ВРУ ориентируют поставщиков оборудования на электронагрев регенерирующего газа. Поэтому в планах нашего предприятия — увеличение единичной мощности таких аппаратов, с одновременным введением защиты по температуре поверхности нагрева. Такое решение направлено на сокращение числа электронагревателей и исключения приборов измерения расхода в линии регенерирующего газа, применяемых в настоящее время для блокировки аппаратов.

3.2. Турбодетандер-компрессорные агрегаты (ТДКА)

ОАО «Криогенмаш» — одна из немногих компаний — производителей воздухоразделительного оборудования, самостоятельно выполняющая весь комплекс работ по конструированию, изготовлению и испытанию ТДКА. От уровня эффективности и гибкости работы ТДКА в значительной степени зависят производительность и диапазон регулирования конкретной ВРУ, поэтому практически для всех установок проектируются индивидуальные агрегаты. Наличие надёжных методик расчёта проточных частей, а также современного оборудования и полномасштабного испытательного стенда позволяет компании разрабатывать и изготавливать эффективные ТДКА с адиабатным

КПД детандерных ступеней до 92 %.

Направление, по которому ведётся совершенствование ТДКА, в основном имеет целью повышение надежности машин. Часть этой работы не связана с изменением конструкции и направлена на обеспечение безусловного качества материалов и комплектующих, применяемых при изготовлении деталей и узлов агрегата. В основном с учётом этого расширен объём входного контроля.

Ещё один аспект — это технология изготовления рабочих колёс. Все колёса детандерных ступеней машин, применяемых в воздуходелительных установках ОАО «Криогенмаш», — закрытого типа. Операция пайки покрывного диска и рабочего колеса, необходимость последующей термообработки предъявляют повышенные требования к качеству исходного материала — алюминиевому сплаву. К тому же они и накладывают дополнительные требования к конструкции. Специалистами ОАО «Криогенмаш» разработана модель и программа изготовления цельнофрезерного рабочего колеса детандера. Теперь на обрабатывающем центре производится изготовление или двух элементов составного колеса, или рабочего колеса полностью. Исключение операции пайки с одновременной заменой материала колеса позволит создать необходимый резерв надёжности при сохранении или даже небольшом увеличении рабочего числа оборотов. В настоящее время колеса, изготовленные по новой технологии, проходят испытания.

3.3. Изготовление ВРУ в блочно-модульном исполнении

Поставка ВРУ на место монтажа в виде отдельных блоков, требующих минимального объёма монтажных работ на месте эксплуатации, — ещё одно направление работ нашего предприятия. Оно потребовало комплексного подхода к изменению как конструкции кожуха холодного блока, так и технологии установки и обвязки внутриблочных аппаратов. Кожух блока имеет рамную конструкцию, с установкой аппаратов через технологические проёмы. Для каждого аппарата предусмотрены дополнительные транспортные опоры или крепежные узлы, трубопроводы также имеют дополнительные хомуты для компенсации транспортных нагрузок.

С целью сокращения сроков сборки модульных блоков изменён график изготовления аппаратов и узлов, который максимально приблизили к последовательности их установки в холодный блок. На участке сборки монтируются термометры, устанавливаются импульсные линии и холодная арматура, после установки аппараты проходят испытания на прочность и падение давления. Объём монтажных работ после доставки блока на место эксплуатации включает установку блока в вертикальное положение, соединение воздушных и продукционных трубопроводов, электрических цепей, изолирование кожуха. Продолжительность работ на месте монтажа блока снижается в несколько раз, в целом приближая начало эксплуатации установки.

В настоящее время ОАО «Криогенмаш» выпускает ВРУ в блочно-модульном исполнении производительностью до 50000 м³/ч по перерабатываемому воздуху, включая установки комплексного разделения воздуха. Одна из таких установок, подготовленная к транспортировке и предназначенная для получения жидких и газообразных кислорода и азота, а также жидкого аргона, показана на рис. 2. На рис. 3 представлен один из блоков модульной ВРУ производительностью по газообразному кислороду 10 тыс. м³/ч, находящийся в стадии изготовления.



Фото 2. Холодный блок установки разделения воздуха высотой 35 м



Фото 3. Один из блоков модульного исполнения для ВРУ производительностью 10 тыс. м³/ч технического кислорода

4. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВРУ

Основные задачи, решаемые автоматизированной системой контроля и управления (АСКУ) воздуходелительных установок производства ОАО «Криогенмаш» — это измерение, сбор, обработка, визуализация и хранение информации о технологических параметрах и состоянии оборудования, автоматическая стабилизация основных параметров, регистрация действий оператора и блокировка оборудования, вплоть до остановки ВРУ при аварийных ситуациях. В ряде случаев такого объёма управления уже недостаточно для удовлетворения требований заказчиков ВРУ, и наша компания была вынуждена отказаться от участия в нескольких тендерах, где одним из условий была поставка блока с автоматическим пуском, выходом на рабочий режим и его поддержанием, автоматической остановкой.

С целью расширения функционала АСКУ, а в перспективе — переходу к автоматической системе управления, уже в нескольких изготавливаемых в настоящее время установках будут реализованы следующие возможности. Для блоков комплексной очистки появится режим оптимального управления, когда в зависимости от расхода воздуха, его давления и температуры автоматически будут меняться продолжительность периодов адсорбции и регенерации. Это позволит более полно использовать располагаемую емкость адсорбера и сократить таким образом общее потребление электроэнергии или пара на подогрев регенерирующего газа.

Для стабилизации уровня жидкости в основных конденсаторах будет отработана возможность автоматического изменения холодопроизводительности детандера. Это направление важно для установок, в которых одновременно получают жидкие и газообразные продукты разделения. Сегодня в случае изменения отбора жидкости оператору установки приходится вручную уменьшать или увеличивать расход детандерного потока. Результатом планируемых работ будет автоматизация процесса при сохранении проектной чистоты продуктов.

Ещё одно направление совершенствования АСКУ для установок с регулируемой производительностью — это коррекция настроек регуляторов. При изменении производительности установки меняется степень открытия регулирующей арматуры, которая имеет нелинейную пропускную характеристику. Для корректной работы арматуры в контурах управления после перехода на новые степени открытия в принципе требуется подстройка регуляторов. Переход к их автоматической подстройке с исключением вмешательства службы эксплуатации и является целью работ.

В данном разделе перечислена только часть работ по совершенствованию АСКУ ВРУ. Переход к полностью автоматической системе управления займёт не один год, но первые её элементы уже реализуются.

Разработка такой системы последовательно пройдёт через этапы эскизного и рабочего проектирования, а в качестве объекта управления планируется использовать наиболее сложную для реализации установку с получением аргона.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОАО «Криогенмаш» как ведущий российский производитель воздухоразделительного оборудования постоянно ведёт его совершенствование с целью повышения надежности и удобства эксплуатации, снижения энергозатрат и общей стоимости оборудования. Приведенные примеры — только часть использованных и планируемых решений нашей компании при разработке новых ВРУ. Они показывают, что область низкотемпературного воздухоразделения — это не застывшая масса накопленных человеческих знаний, а живой поток, подобный реке с её поворотами, перекатами и притоками, что творческому и созидательному подходу всегда найдётся в этой области достойная сфера применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. США № 4 022 030. Thermal cycle for the compression of a fluid by the expansion of another fluid. МКИ F25J 003/002.
2. Писарев Ю.Г., Тарасова Е.Ю., Ляпин А.И. Характеристики воздухоразделительной установки нового поколения, введенной в эксплуатацию в ЗАО «Северодонецкое объединение АЗОТ»// Технические газы. — 2008. — № 5. — С. 31-37.
3. Тарасова Е.Ю. Новые решения, высокая эффективность: опыт создания ВРУ КдАдАр-18/14// Технические газы. — 2011. — № 6. — С. 2-8.

ВСЕ О НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗАХ И ПРОДУКТАХ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА — В ОДНОМ ЖУРНАЛЕ!

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

“ТЕХНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ”

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ — УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ “УА-СИГМА”
 СОУЧРЕДИТЕЛЬ — ОДЕССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
 ЖУРНАЛ ЗАРЕГИСТРИРОВАН В МИНИСТЕРСТВЕ ЮСТИЦИИ УКРАИНЫ —
 СВИДЕТЕЛЬСТВО КВ № 16526-4998ПР ОТ 19.04.2010 Г.
 С 2005 Г. — ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ ВАК УКРАИНЫ.
 ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗДАНИЯ — 6 ВЫПУСКОВ В ГОД.
 ОБЪЕМ КАЖДОГО ВЫПУСКА — 72 СТР.
 ПУБЛИКУЕМЫЕ СТАТЬИ РЕФЕРИРУЮТСЯ В РАЗЛИЧНЫХ ЖУРНАЛАХ
 И БАЗАХ ДАННЫХ ВИНТИ РАН (Г. МОСКВА)

ЖУРНАЛ ПРЕДНАЗНАЧЕН ДЛЯ ИНЖЕНЕРОВ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ СОЗДАНИЕМ, ИЗГОТОВЛЕНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ХОЛОДИЛЬНЫХ И КРИОГЕННЫХ УСТАНОВОК, СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ (ГЕЛИЯ, ВОДОРОДА, ОКСИДА И ДИОКСИДА УГЛЕРОДА, СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА И ДР.), ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА, А ТАКЖЕ НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ И СТУДЕНТОВ

РУБРИКИ ЖУРНАЛА

- ПРОБЛЕМЫ КРИОГЕННОГО, КИСЛОРОДНОГО, КОМПРЕССОРНОГО И УГЛЕКИСЛОТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
- ТЕХНИЧЕСКИЕ ГАЗЫ В СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ
- ПРОЦЕССЫ, ЦИКЛЫ, СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫХ И КРИОГЕННЫХ СИСТЕМ
- ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГАЗОВ И ИХ СМЕСЕЙ. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМАХ
- УСТАНОВКИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА, КОМПРИМИРОВАННОГО И СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА, ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И ДР. ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ
- ЭКОНОМИКА ПРЕДПРИЯТИЙ. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ
- ПРАКТИКА. НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ

Приглашаем к сотрудничеству производителей, учёных, аспирантов и докторантов