

Г.К. Лавренченко

Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА», а/я 271, г. Одесса, Украина, 65026
e-mail: uasigma@paco.net

СОДЕЙСТВИЕ РАЗВИТИЮ ГЛОБАЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

В этом году исполняется десять лет Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИГМА». В состав Ассоциации в настоящее время входят 33 предприятия Украины, России и Казахстана. Основная цель деятельности Ассоциации — выработка научно-технических рекомендаций по совершенствованию систем разделения воздуха, различных установок для производства низкотемпературных технических газов, обеспечения их эффективной и безопасной эксплуатации. Ассоциация организует обучение и повышение квалификации специалистов по криогенной технике, издаёт журнал «Технические газы», проводит международные семинары по актуальным проблемам производства технических газов (кислород, азот, аргон, метан, диоксид углерода и др.). Ассоциация тесно сотрудничает с предприятиями, которые входят в глобальную отрасль низкотемпературных технических газов. Подводятся итоги деятельности Ассоциации за десять лет работы, рассматриваются перспективы дальнейшего развития.

Ключевые слова: Ассоциация. Кислород. Азот. Аргон. Природный газ. Диоксид углерода. Семинар. Обучение. Эффективность. Безопасность.

G.K. Lavrenchenko

THE ASSISTANCE TO DEVELOP GLOBAL BRANCH OF LOW-TEMPERATURE INDUSTRIAL GASES

The Ukrainian Association of industrial gases manufacturers «UA-SIGMA» will be ten years in this year. The Association currently includes 33 companies from Ukraine, Russia and Kazakhstan. The main purpose of the Association — to develop scientific and technical recommendations to improve systems of air separation plants for the production of various low-temperature industrial gases, to ensure their safe and efficient operation. The Association provides training and skills development of cryogenic technology, publishes the magazine «Industrial gases», conducts international workshops on the actually problems of the production industrial gases (oxygen, nitrogen, argon, methane, carbon dioxide, etc.). The Association closely works with companies that are part of global branch of low-temperature industrial gases. The total of activities of the Association for ten years and perspectives of further development are supplying.

Keywords: Association. Oxygen. Nitrogen. Argon. Natural Gas. Carbon dioxide. Workshop. Education. Efficiency. Safety.

1. МИР КРИОПРОДУКТОВ И КРИОГЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Многочисленные газы находят применение в современных технологиях. Без них невозможно представить существование ряда отраслей промышленности, сельского хозяйства, медицины и др.

Большинство так называемых технически важных газов получают извлечением из смесей. Для этого используются различные способы и реализующее их оборудование.

Техника разделения газовых смесей непрерывно развивается, совершенствуется также производимое оборудование. Так, из многокомпонентных однофазных газовых смесей после их компримирования извлекают необходимые вещества при температуре окружающей среды, например, с помощью полволоконных мембран или процессов короткоциклового адсорбции.

Процессы разделения можно существенно интенсифицировать, если смеси предварительно охлаждать и затем, частично или полностью, ожидать. Для выделения из таких двухфазных многокомпонентных сред

целевых продуктов применяют процессы дефлегмации и ректификации. С помощью этих методов высокого уровня достигли технологии переработки углеводородных газов [1], криогенного извлечения компонентов воздуха [2,3]. При использовании процессов низкотемпературного разделения можно обеспечивать более высокую чистоту веществ, производить глубокую переработку исходных смесей, получать компоненты в жидком виде или в виде газов под давлением.

Одно из интенсивно развивающихся направлений низкотемпературной техники — получение из различных газовых смесей кислорода, азота, аргона, метана, оксида углерода, водорода, неона, гелия, криптона и др. [2,3]. Их производство, транспортирование и хранение осуществляются преимущественно в области криогенных температур, т.е. от 120 К и ниже.

Большинство из указанных газов представляет собой продукты разделения воздуха. Потребление их непрерывно растёт, сооружаются новые установки для получения этих продуктов (фото 1). Приближённая оценка с учётом данных [4] показывает, что мировое годовое производство кислорода достигает 1 трлн. м³, азота — 0,8 трлн. м³ и аргона — 1 млрд. м³.



Фото 1. Вид на новый цех разделения воздуха Северского трубного завода (РФ) с современной крупнотоннажной ВРУ КдАдАр-9/3 производства ОАО «Криогенмаш»

Криогенные технологии и оборудование используют для извлечения гелия из добываемого на некоторых месторождениях природного газа [5]. Современные заводы по производству гелия перерабатывают

природные газы, содержащие от 0,05 до 0,9 % гелия.

Растёт количество создаваемых криогенных установок для разделения продувочных газов аммиачных производств. В результате часть водорода возвращается в технологический процесс синтеза аммиака; кроме этого извлекается такой ценный продукт, как аргон [6].

Другое направление связано с созданием криогенных систем ожижения газов. В последние годы сооружаются комплексы для ожижения природного газа и водорода как эффективных энергоносителей. Сжиженный природный газ (СПГ) является высоколиквидным товаром международной торговли. В местах его добычи, ожижения, а также приёма создаются крупные хранилища и терминалы; строятся крупнотоннажные морские метановозы [7,8]. Ожижение метана — наиболее рациональный, а иногда и единственный вариант его транспортирования на большие расстояния (фото 2). При ожижении метана его плотность возрастает с 0,67 до 425 кг/м³, т.е. в 635 раз. Такое «уплотнение» метана можно обеспечить в результате его компримирования при температуре 293 К до давления, превышающего 230 МПа.



Фото 2. Морская платформа для добычи природного газа комплекса «Сахалин-2» (а) и загрузка СПГ в морской метановоз (б)

При ожижении водорода его плотность увеличивается ещё больше, а именно в 845 раз — с 0,084 до 70,8 кг/м³. Значения плотности жидкого водорода можно достичь при сжатии газа до давления 190 МПа при 293 К. Потребители больших количеств водорода — ракетно-космические комплексы [9,10], а также

заводы по производству дейтерия и тяжёлой воды [11].

Крупные гелиевые установки находят применение в уникальных системах криогенного обеспечения термоядерного синтеза, криостатирования МГД-генераторов, сверхпроводящих кабелей, проведения исследований в области физики высоких энергий [12].

Можно, конечно, рассмотреть ещё ряд криогенных технологий, которые находят всё более широкое применение. Их, наряду с уже перечисленными, развивают и используют различные специалисты. К ним проявляет интерес и Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА», которой в этом году исполняется 10 лет.

Вспомним, как она и с какой целью создавалась в 2000 г.

2. ПОТРЕБНОСТЬ В ОБЪЕДИНЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ

Даже из простого перечисления видно, какую значительную роль в решении ряда важнейших проблем современности играют криогенные технологии и соответствующие технические системы, используемые для извлечения или ожижения кислорода, азота, аргона, метана, водорода и гелия.

Предприятия, производящие необходимое для этих технологий оборудование, относятся к отрасли кислородного и криогенного машиностроения. В этой отрасли работают высококвалифицированные специалисты, ведущие поисковые работы и учитывающие при этом имеющийся опыт. То есть в этих коллективах налицо преемственность поколений. Этого, в большинстве случаев, не скажешь о тех, кто эксплуатирует криогенное оборудование или занимается использованием криопродуктов в разнообразных сферах. Инженеры и техники, занятые в этих производствах, недостаточно информированы о возможностях и достижениях криогенной техники. Подавляющее их большинство не имеет базового образования по специальности «Криогенная техника и технология» [13].

По предложению представителей ряда ведущих предприятий было решено организовать Ассоциацию, чтобы с её помощью можно было создать и постоянно поддерживать в рабочем состоянии информационный канал хотя бы между производителями воздуходелительных установок (ВРУ) и теми многочисленными потребителями, кто эксплуатирует их для получения из воздуха кислорода, азота, аргона и др. атмосферных газов. Эта идея была обсуждена и затем одобрена участниками 1-го международного семинара по проблеме повышения эффективности и безопасности производств продуктов разделения воздуха, который был проведён в Одессе 2-6 октября 2000 г. (фото 3).

Учредителями Ассоциации стали три наиболее крупных кислородных завода Украины (ЗАО «Кислородный завод», г. Киев; ОАО «Харьковский автоген-

ный завод»; ОАО «АГА Украина», г. Днепропетровск) и хорошо известное в то время предприятие — ООО «Крионика» (г. Одесса). Позже произошли некоторые изменения в их названиях: завод в Днепропетровске, перейдя в руки другого собственника, стал именоваться как ОАО «Линде Газ Украина»; ООО «Крионика» реорганизовалось в ПКФ «Криопром» ООО.



Фото 3. Так выглядели участники 1-го семинара (а) по проблемам совершенствования производств продуктов разделения воздуха (г. Одесса, гостиница «Валентина», 2-6 октября 2000 г.), а так — X-го международного юбилейного семинара (б), собравшего 5-9 октября 2009 г. в гостинице «Виктория» около 100 специалистов с 70-ти предприятий и компаний 14-ти государств

При создании Ассоциации учитывалось всегда существующее объективно обусловленное противоречие* между отраслевым производством криогенного оборудования, в том числе ВРУ, и его широким межотраслевым использованием. Поэтому для «сглаживания» этого противоречия и требовался координирующий орган, который должен был неформально помогать установлению контактов между производителями и потребителями систем криогенной техники.

С учётом всего этого основная цель деятельности Ассоциации была обозначена в следующем виде: выработка научно-технических рекомендаций в области совершенствования систем разделения воздуха, различных установок для производства низкотемпературных технических газов, обеспечения их эффективной и безопасной эксплуатации. В такой формулировке сфера деятельности Украинской ассоциации производителей технических газов «УА-СИГМА», — так было ре-

* Под противоречием понимается диалектическое взаимодействие противоположных тенденций, явлений, выступающих источником развития. Поэтому развитие есть возникновение противоречий, их решение и в то же время возникновение новых противоречий.

шено её назвать, — выглядит шире, нежели та, что замышлялась вначале. Обусловлено это тем, что указанные противоречия имеются в отношениях между производителями и потребителями других систем и технологий, ориентированных на производство и применение низкотемпературных технических газов.

3. НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Цель деятельности предопределила принципиально неприбыльный характер работы Ассоциации. Мы понимали, что Ассоциация не сможет просуществовать долго только за счёт периодических взносов ассоциированных членов. Поэтому с первых дней нашей деятельности стали выполняться различные заказы, которые сформировались в блок работ по обеспечению предприятий, производящих или использующих технические газы, а также продукты разделения газовых смесей, в том числе и воздуха, современными научно-техническими разработками. К ним относятся:

- выработка предложений по эффективным системам для производства различных технических газов;
- выполнение проектов реконструкции оборудования действующих производств продуктов разделения воздуха, установок производства диоксида углерода, сжиженного природного газа и т.п.;
- создание программных продуктов;
- проведение поисковых НИР в области криогенной техники, установок производства диоксида углерода, систем компримирования и сжижения природного газа.

Расширение спектра работ, выполняемых Ассоциацией для предприятий, происходило, конечно, постепенно. Нами, с одной стороны, создавался необходимый задел, а, с другой, — расширялись границы деятельности.

Непростой оказалась также задача организации мероприятий, связанных с достижением сформулированной нами основной цели деятельности. Нужно было найти и реализовать такие виды и формы работ, чтобы максимально эффективно помогать всем, кто в Ассоциации видит структуру, устанавливающую взаимоотношения между производителями и потребителями оборудования для получения технических газов. Кратко остановлюсь на характеристике этой нашей основной деятельности.

4. ФОРМИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НТГ

На начальных этапах своей деятельности Ассоциации удалось установить многочисленные контакты также с предприятиями, в которых применялись различные низкотемпературные технологии с использованием в них таких газов, как диоксид углерода, аммиак, углеводороды и др. В связи с этим, во-первых, был расширен спектр решаемых Ассоциацией задач, и, во-вторых, сформирована для организации совместной деятельности с указанными предприятиями глобальная отрасль низкотемпературных технических га-

зов (НТГ). Такую отрасль, конечно, невозможно отыскать в существующих классификаторах, так как она является в некотором роде виртуальной.

Взаимодействие Ассоциации с глобальной отраслью НТГ вызвано тем, что нами постоянно ведётся поиск и в результате находят возможности совершенствования в перечисленных частных отраслях ряда низкотемпературных процессов, технологических схем, способов и оборудования. Это подтверждается тем, что Ассоциацией за последние годы создан солидный задел в области научно-технических разработок, которые могут использоваться в структуре НТГ для улучшения показателей оборудования и технологий. Новизна некоторых разработок защищена патентами Украины и РФ. За последние годы Ассоциация получила 40 патентов. На рассмотрении находятся ещё 15 заявок на изобретения.

Что же отличает отрасль НТГ?

Укажем три основных признака, которые характерны для этой отрасли:

- реализация технологий и материалов специального машиностроения при создании оборудования для производства низкотемпературных технических газов;
- применение низкотемпературных энерготехнологий при производстве технических газов;
- отраслевое производство оборудования и широкое межотраслевое его использование.

Можно перечислить некоторые производства, где применяется изготавливаемое в рассматриваемой отрасли НТГ оборудование:

- производства продуктов разделения воздуха криогенными и некриогенными методами, например, с помощью мембран или короткоциклового безнагревной адсорбции [14,15];
- углекислотные производства, где сочетаются процессы извлечения CO_2 из дымовых газов или продуктов конверсии природного газа с последующим получением диоксида углерода в виде высоко- или низкотемпературных жидкостей (фото 4);
- установки для получения, очистки и сжижения водорода [14];
- установки разделения углеводородных и углеводородсодержащих газов;
- установки извлечения Не из гелийсодержащих месторождений природного газа;
- установки для извлечения и очистки He, Ne, Ar, Kr, Xe, CO и др. НТГ;
- комплексы по производству, компримированию и сжижению природного газа;
- производства аммиака, карбамида, метанола и т.п., в составе которых используются оборудование и технологии извлечения НТГ, например, аргона из отдувочных газов агрегатов синтеза NH_3 [16];
- многоцелевые когенерационные установки с одновременным производством электрической и тепловой энергии, а также диоксида углерода и азота [17,18].

Ассоциация уже несколько лет развивает интенсивную и, вместе с тем, продуктивную деятельность в

отрасли НТГ. С опорой на данную глобальную отрасль, в которой представлено также кислородное и криогенное машиностроение как сфера наших основных интересов, нами строятся далеко идущие планы. Ассоциация, благодаря эффективным контактам с предприятиями отрасли НТГ, смогла существенно расширить круг решаемых задач. Однако в центре нашего внимания безусловно будут оставаться вопросы эффективного разделения воздуха и совершенствования необходимых для этого криогенных систем. Ассоциация и в этой отрасли будет реализовывать имеющиеся разработки [19-21].



Фото 4. Адсорберы и регенераторы системы очистки азотоводородной смеси от диоксида углерода ОАО «Одесский припортовый завод»

5. КАДРОВОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ

Анализ проблем, характерных для крупных межотраслевых структур, где эксплуатируются системы производства различных технических газов, показывает, что в ряде случаев их острота обусловлена нехваткой инженеров требуемого профиля, а также отсутствием современной научно-технической информации [13,22]. Для оказания эффективной помощи предприятиям Ассоциация основное внимание уделяет:

- обучению, переподготовке и повышению квалификации ИТР в области криогенной, холодильной и компрессорной техники, которые организуются на базе Одесской государственной академии холода (ОГАХ);

- изданию научно-технического и производственного журнала «Технические газы»;

- проведению ежегодных международных семинаров по проблемам совершенствования производств продуктов разделения воздуха; оборудования и технологий производства компримированного и сжиженного природного газа; энергоэкологических показателей производства и использования диоксида углерода.

Несколько подробнее следует остановиться на перечисленных направлениях, которые реализуются Ассоциацией при кадровом и информационном обеспечении предприятий.

5.1. Развитие системы непрерывного образования производственников

Формированием системы обучения производственников Ассоциация занялась в первый же год существования совместно с ОГАХ. Промышленность и, в целом, экономика в те годы восстанавливались после продолжительного кризиса, вызванного распадом СССР. Ощущалась нехватка инженерных кадров по специальности «Криогенная техника и технология». За время кризиса на предприятиях произошло «вымывание» указанных специалистов. Замена их инженерами, работающими в основном производстве предприятия, не решала проблему. Потребность в инженерах криогенного профиля проявлялась особенно заметно там, где начали заниматься реконструкцией или обновлением существующих ВРУ, приобретением и вводом в эксплуатацию нового оборудования. Ориентация же на молодых специалистов не могла снять остроту кадровой проблемы, так как они не закреплялись на предприятиях по ряду известных причин.

Всё это побудило нас заняться организацией обучения производственников в ОГАХ без отрыва от производства [23,24]. Ассоциация таким образом по отношению к ОГАХ стала выступать в роли единого заказчика, проводя всю работу по популяризации вуза и привлечению желающих обучаться.

Постепенно совместно с ОГАХ удалось создать систему непрерывного образования (рис. 5). Как видно из приведённого рисунка, в рамках системы реализуются три вида обучения по специальности «Криогенная техника и технология»:

- *Получение высшего образования без отрыва от производства теми, кто окончил профильный технический колледж.* Эти специалисты зачисляются через приёмную комиссию ОГАХ на второй или даже третий курсы Института заочного/дистанционного обучения. Накопленный опыт показывает, что этот контингент формируется из молодых людей, работающих аппаратчиками, компрессорщиками, операторами ВРУ. Они, решив обучаться в ОГАХ, видят реальные перспективы карьерного роста после получения высшего инженерного образования. Предприятия должны всячески поддерживать таких специалистов, так как они ещё в процессе учёбы будут обеспечивать более высокое качество труда, а затем после окончания учёбы будут давать немалую отдачу в течение продолжительного периода времени. В связи с этим вло-

жение предприятиями средств в этих, по-хорошему амбициозных, специалистов будет вполне оправдано. Уместно вспомнить высказывание академика *П.Л. Капицы* о пользе обучения производственников в лекции «Кислород», с которой в 1944 г. он выступил в Центральной школе парторганизаторов ЦК ВКП(б): «Образование человека стоит меньше по сравнению с тем, что приносит государству его более квалифицированный труд» [25].



- *Переподготовка тех, кто уже имеет инженерно-техническое образование.* Обучение этой группы производственников также проводится по заочной форме, но в течение двух лет. Учёба завершается сдачей Государственного экзамена. Переподготовка оказывается особенно эффективной для инженеров, которые уже работают в системе производств продуктов разделения воздуха, не имея специального высшего образования. За эти годы получили высшее образование и прошли переподготовку около 40-ка производственников.

- *Повышение квалификации, организуемое для специалистов, которые заинтересованы в регулярном обновлении профессиональных знаний* (фото 6). Обучение участников курсов ведётся по очно-заочной форме в течение четырёх недель. В учебный план и учебные пособия по согласованию с ОГАХ постоянно вносятся изменения и добавления, учитывающие последние достижения в области криогенной техники. Но, кроме этого, в пособиях находят отражение перспективы развития криогенных систем. Такой подход к организации повышения квалификации позволяет разрушить сложившуюся оценку образования как движения вперёд с головой, повернутой назад.

За период 2003-2010 гг. квалификацию повысили 98 специалистов с 29-ти предприятий Украины, Молдовы, России.

Как следует из перечисления возможностей эффективно действующий на базе ОГАХ системы непрерывного образования, производственники могут не только получать профильное высшее образование, первое или второе, но также обновлять знания путём регулярного повышения квалификации.

Система непрерывного образования производ-

ственников продолжает развиваться и совершенствоваться. Но уже сейчас ощущается её достаточно высокая эффективность и ориентация на долговременное функционирование. Вхождение их в эту систему, как видно из рис. 5, может быть различным, но результаты — всегда позитивные. Надеюсь на дальнейшее сохранение интереса к ней со стороны производственников.



Фото 6. Занятия со слушателями курсов повышения квалификации в специализированной аудитории ОГАХ

5.2. Совершенствование системы информационного обеспечения специалистов

Ассоциация с первых месяцев своей работы стала выпускать хорошо известный сейчас журнал «Технические газы». Начальный этап издательской деятельности Ассоциации был очень трудным из-за наблюдавшегося в то время спада научных исследований. Редакции журнала, несмотря на это, удалось установить творческие связи с учёными и производственниками, кто вёл исследования и выполнял научно-технические разработки по профилю журнала. В выпусках журнала стали публиковаться также и доклады, обсуждавшиеся на организуемых нами семинарах (фото 7).

Тематическая направленность журнала за десять лет претерпела существенные изменения, выйдя за рамки только проблем, связанных с теорией и практикой разделения воздуха. Из всего круга вопросов, относящихся к производству и применению технических газов, редакция журнала отдаёт предпочтение следующим темам:

- современные эффективные процессы, термодинамические циклы, схемы, конструкции и оборудование систем производства технических газов;
- установки разделения воздуха для производства кислорода, азота, аргона и других газов; установки для получения чистых и особо чистых газов, в том числе и редких;
- информация об исследованиях и разработках компрессорных и расширительных машин, детандер-компрессорных агрегатов; насосов сжиженных газов;
- тепло- и массообменные аппараты, блоки

комплексной очистки воздуха и других газов, ректификационные колонны и пр.;

- установки с некриогенными способами разделения воздуха, других газовых смесей;

- установки низкотемпературного сжижения и разделения углеводородных смесей, сжижения природного газа, производства работы при регазификации СПГ, получения азотоводородных смесей;

- установки производства водорода, его очистки; установки для получения синтез-газов;

- азотные, водородные, гелиевые и другие рефрижераторы, ожижители;

- установки выделения из газовых смесей оксида и диоксида углерода, аргона, неона, гелия, криптона, ксенона и других газов в различных состояниях;

- термодинамические и теплофизические свойства технических газов и их смесей, термодинамический анализ процессов в низкотемпературных системах;

- эффективные технологии, основанные на использовании различных технических газов;

- энергосбережение в системах производства и использования технических газов.



Фото 7. Заместитель директора НИКИ КМ ОАО «Криогенмаш» А.В. Кортиков выступает перед участниками X-го международного семинара «ППРВ-2009» (5-8 октября 2009 г.) с докладом о развитии технических и технологических решений, используемых в создаваемых предприятием ВРУ

В последние годы наблюдается рост интереса и к журналу, и к публикациям в нём. Журнал, таким образом, стал изданием, в котором действительно нуждаются многие специалисты.

С 2010 г. журнал издаётся в контакте с ОГАХ. Академия является одним из его соучредителей. Участие ОГАХ позволит расширить контингент авторов журнала и будет способствовать дальнейшему повышению его уровня.

Важной составляющей информационного обеспечения кадров являются международные семинары, проводимые Ассоциацией. Первый семинар, на котором рассматривались проблемы повышения эффективности и безопасности воздуходелительных уста-

новок, был организован инициативной группой, составившей затем ядро Ассоциации, еще 2-6 октября 2000 г. Этот первый семинар и особенно последовавшие за ним другие убедили нас в том, что с их помощью одновременно удастся успешно решать две актуальные задачи: и повышать квалификацию его участников, и обеспечивать их современной информацией. Анализ содержательной части семинаров показал, что такие встречи крайне необходимы. Хотя бы потому, что, во-первых, возникающие на предприятиях различного рода проблемы зачастую имеют однотипный характер, во-вторых, обсуждаемые на семинаре способы их решения могут представлять интерес и несомненную ценность для всех, кто разрабатывает, изготавливает и эксплуатирует системы разделения воздуха.

Участие в работе семинаров даёт возможность специалистам повышать квалификацию. Направленность семинаров расширена нами с учётом запросов глобальной отрасли низкотемпературных технических газов.

Ежегодно в первую неделю октября Ассоциация организует международные семинары по проблеме совершенствования производств продуктов разделения воздуха. В этом году будет проходить уже XI-ый семинар «ППРВ-2010» (4-8 октября). Всего в работе предыдущих десяти семинаров приняли участие 646 специалистов с 221-го предприятия 18-ти стран мира.

Начиная с 2005 г., Ассоциация один раз в два года проводит международные семинары по проблеме совершенствования энергоэкологических показателей производства и использования диоксида углерода. Уже состоялись три семинара, собравшие 154 специалиста с 68-ми предприятий 10-ти государств. С 2006 г. Ассоциация стала также один раз в год организовывать семинары по проблемам совершенствования оборудования и технологий производства компримированного и сжиженного природного газа. Проведены три семинара, на которых присутствовало 165 специалистов с 78-ми предприятий 13-ти стран.



Фото 8. Сертификат о повышении квалификации вручается главному специалисту ОАО «Автогаз» (г. Москва) Е.В. Шапочкиной во время III-го международного семинара «CH₄-2010» (г. Одесса, 24-28 мая 2010 г.)

Таким образом, 16 семинаров привлекли 965 специалистов. Это указывает на высокую эффективность и хорошую востребованность семинаров. Их значимость подтверждается участием в работе представителей Государственного комитета Украины по промышленной безопасности, охране труда и горному надзору, Федеральной службы РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. Семинары организовывались под эгидой Министерства промышленной политики Украины и Министерства промышленности и торговли РФ.

Представители предприятий, участвующие в семинарах, обеспечиваются информационными материалами; для них проводятся консультации; они имеют возможность ознакомиться с опытом работы коллег. Участникам семинаров вручаются сертификаты о повышении квалификации (фото 8).

6. РАСШИРЕНИЕ СТРУКТУРЫ И КОНТАКТОВ АССОЦИАЦИИ

Устав Ассоциации позволяет формировать и расширять её структуру за счет привлечения корпоративных членов. Это дало нам возможность уже в 2001 г. иметь в составе Ассоциации в качестве членов десять предприятий Украины. В настоящее время их уже 33. Это — предприятия Украины, РФ и дальнего зарубежья.



Фото 9. Торжественное открытие «Китайского газового форума-2008» в выставочном комплексе «Март Экспо» (Шанхай), в котором была проведена инаугурация Азиатско-Тихоокеанской ассоциации производителей газов

Ассоциация уделяет серьёзное внимание работе со своими членами, оказывая помощь в решении проблем улучшения структуры производства и применения технических газов на конкретных предприятиях.

В течение десятилетнего периода Ассоциация приобрела и международное признание. В 2002 г. Ассоциация стала корпоративным членом Международного института холода (Париж, Франция), в 2004 г. — Европейской ассоциации промышленных газов (EIGA), что находится в Брюсселе (Бельгия). Ассоциация тесно сотрудничает с Американским обществом

инженеров-криогенистов (CSA), Всеиндийской (AIIGMA) и Китайской (CIGIA) ассоциациями промышленных газов. В 2008 г. Ассоциация «УА-СИГМА», совместно с ассоциациями Китая, Индии, Японии и Южной Кореи образовала Азиатско-Тихоокеанскую ассоциацию производителей газов (фото 9).

Следует отметить, что для нас большое значение имеют установившиеся тесные контакты с редколлегиями известных российских журналов: «Компрессорная техника и пневматика», «Химическая техника», «Химическое и нефтегазовое машиностроение», «Холодильная техника», «Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо», «Холодильный бизнес» и др. В этих изданиях рекламируется журнал «Технические газы», размещается информация о мероприятиях, проводимых Ассоциацией. С нашей стороны осуществляется рекламная поддержка указанных журналов.

7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АССОЦИАЦИИ

Ассоциация организует и осуществляет свою деятельность в условиях постоянно изменяющейся ситуации в глобальной отрасли низкотемпературных технических газов. Особенно это заметно, если рассматривать только производства продуктов разделения воздуха для обеспечения ими предприятий чёрной металлургии Украины.

В начале века в Украине насчитывалось 55 крупнотоннажных ВРУ, из которых 48 полностью выработали назначенный ресурс. Несмотря на это, как отмечалось в публикации [13], большая их часть продолжала эксплуатироваться. Таким образом, используемые ВРУ имели не только значительный моральный износ, но и крайне неудовлетворительное состояние, что вместе обуславливало одновременное снижение их эффективности и надёжности.

В течение 10-ти лет предприятия чёрной металлургии существенно обновили техническую базу производств продуктов разделения воздуха. Такой вывод можно сделать, исходя из табл. 1.

Таблица показывает, какие предприятия обновили оборудование производств продуктов разделения воздуха. В этой важной работе принимал участие не только основной в прошлом производитель ВРУ — ОАО «Криогенмаш». Стала заниматься этим также компания «Air Liquide», которая на четырёх металлургических комбинатах Украины соорудила 5 крупнотоннажных ВРУ-60 [26].

Однако наблюдается не только совершенствование производств продуктов разделения воздуха. Начинают внедряться новые формы обеспечения предприятий чёрной металлургии кислородом, азотом и аргонном. Так, потребность в указанных газах Макеевского металлургического комбината им. Кирова полностью удовлетворяется поставками жидких криопродуктов, производимых ОАО «Линде Газ Украина».

Приведём ещё один пример использования аутсорсинга в снабжении техническими газами. Холдинг «Метинвест» намерен продать за 100 млн. евро две

Таблица 1. Техническая база производств продуктов разделения воздуха основных металлургических предприятий Украины

Металлургическое предприятие	Установки (год выпуска)	Производитель
ОАО «Алчевский металлургический комбинат»	КтК-35 (1976 и 1978 гг.) КтА-40/30-1 (2005 г.)	ОАО «Криогенмаш»
	ВРУ-60 (2007 и 2008 гг.)	«Air Liquide»
ОАО «Днепропетровский металлургический комбинат им. Дзержинского»	КтК-30-1, КтК-35-3 (1982 и 1983 гг.) КААр-40/35-4 (2007 г.)	ОАО «Криогенмаш»
ОАО «Днепропетровский металлургический завод им. Петровского»	КААр-6 (1993 г.) АК-6 (1996 г.)	ОАО «Криогенмаш»
ОАО «Донецкий металлургический завод»	КА-11 (1975 г.) КА-15-3 (1985 г.)	ОАО «Криогенмаш»
ОАО «Енакиевский металлургический завод»	БР-2М (1968 и 1969 гг.) КтК-35-3 (1974 г.)	ОАО «Криогенмаш»
	ВРУ-36 (2006 г.)	«Linde AG»
ОАО «Запорожсталь»	КАр-30 (1980 г.) КтК-35-3 (1976 г.)	ОАО «Криогенмаш»
	ВРУ-60 (2007 г.)	«Air Liquide»
ОАО «Арселор Миттал Стил», г. Кривой Рог	БР-2М (1968, 1969, 1971 и 1972 гг.) КАр-30 (1973 и 1976 гг.) КАр-30М1-7 (2004 г.) КтА-40/30 (2009 г.)	ОАО «Криогенмаш»
ОАО «ММК им. Ильича»	БР-1К4 (1966 г.) БР-2 (1963 г. - 2 шт.) БР-2М (1972 г.) КтК-35-3 (1975 г.)	ОАО «Криогенмаш»
	ВРУ-60 (2004 г.)	«Air Liquide»
ОАО «ММК «Азовсталь»	КАр-30 (1974, 1975 и 1977 гг.) КААр-32 (2002 г.)	ОАО «Криогенмаш»
	ВРУ-60 (2005 г.)	«Air Liquide»

новые ВРУ, установленные на Енакиевском комбинате и комбинате «Азовсталь» (г. Мариуполь), французской компании «Air Liquide».

Ассоциация в некоторой мере способствовала переоснащению предприятий чёрной металлургии: на базе ОГАХ проводилась переподготовка кадров; регулярно повышалась квалификация специалистов, организовывалось их заочное обучение. В ходе проводимых нами семинаров представители указанных предприятий устанавливали контакты с ведущими производителями криогенных ВРУ; с компаниями, занимающимися монтажными работами.

Развитие и существенное расширение спектра деятельности Ассоциация в будущем связывает с отраслью НТГ. Для сотрудничества с предприятиями этой глобальной отрасли, в которой представлено также кислородное и криогенное машиностроение как сфера наших основных интересов, Ассоциация строит далеко идущие планы.

Ассоциация в течение всего периода деятельности вела научно-исследовательские работы, в которых решались либо конкретные задачи, либо создавался задел на будущее.

Перечислю кратко некоторые результаты проводимых нами научно-исследовательских работ, внедрение которых может дать значительные технико-экономические эффекты.

- Ассоциацией разработаны многоцелевые энер-

готехнологические комплексы с когенерационными установками, использующими природный газ, для одновременного производства жидкого низкотемпературного диоксида углерода, газообразного или жидкого азота, электрической и тепловой энергии [17,18]. Упрощённая технологическая схема комплекса приведена на рис. 10. При потреблении комплексом 280 м³/ч природного газа он может выдавать внешнему потребителю 775 кВт электроэнергии и до 470 кВт тепловой энергии; 540 кг/ч жидкого низкотемпературного диоксида углерода и 2100 м³/ч чистого газообразного азота. Эксергетический КПД комплекса достигает 40 %. Существующие в Украине и РФ углекислотные установки работают по традиционным схемам с котлом для производства водяного пара и генерацией дымового газа, из которого в процессах абсорбции-десорбции извлекается СО₂. Они по эффективности более, чем в 10 раз уступают разработанным нами энерготехнологическим комплексам; вносят существенный вклад в парниковый эффект. Частичное внедрение нашей разработки в углекислотное производство компании ОАО «Завод Уралтехгаз» (г. Екатеринбург) позволило добиться значительной экономии природного газа [27]. Работы в области создания совершенных энерготехнологических комплексов получили дальнейшее развитие. Нами показано, что процессы когенерации и даже тригенерации могут быть использованы при создании комплекса, работа-

ющего на природном газе, который включает в себя углекислотную станцию и воздуходелительную установку [28].

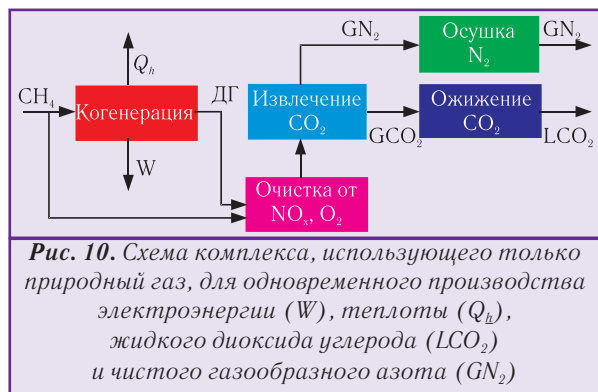


Рис. 10. Схема комплекса, использующего только природный газ, для одновременного производства электроэнергии (W), теплоты (Q_h), жидкого диоксида углерода (LCO_2) и чистого газообразного азота (GN_2)

• Разработаны рекомендации по увеличению производительности агрегатов синтеза карбамида за счёт подачи в них насосом дополнительного количества CO₂ в жидком виде [29]. Эти рекомендации обеспечивают не только рост производства карбамида. В летнее время, когда компрессоры, сжимающие диоксид углерода до 15 МПа перед его подачей в агрегаты синтеза, резко снижают производительность, насосная подача жидкого CO₂ с таким же давлением будет удачной альтернативой компрессорной.

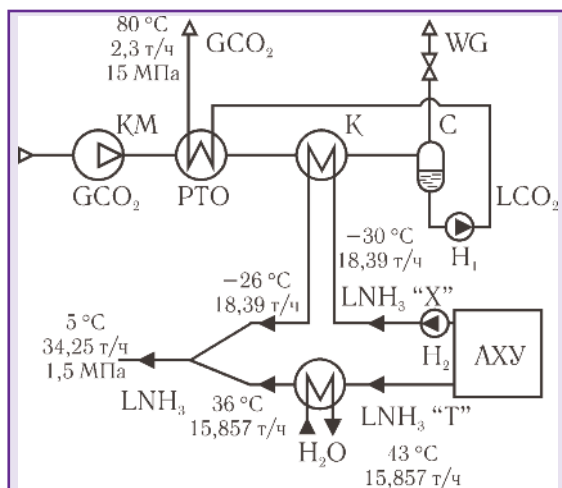


Рис. 11. Технологическая схема подачи газообразного CO₂ с давлением 15 МПа на синтез карбамида: «X» и «Т» — потоки холодного и тёплого жидкого аммиака; WG — отбросный газ (неконденсирующиеся газы); KM — углекислотный компрессор; К — конденсатор; С — сепаратор; PTO — recuperативный теплообменник; H₁, H₂ — углекислотный и аммиачный насосы, соответственно; АХУ — аммиачная холодильная установка агрегата синтеза аммиака; GCO₂, LCO₂ — газообразный и жидкий CO₂; H₂O — холодная вода, производимая АБХМ; LNH₃ — жидкий аммиак

• Обоснована возможность производства жидкого низкотемпературного CO₂ в экономичных циклах

низкого или среднего давлений с использованием холода сжатого жидкого аммиака [30,31]. С учётом этого разработано несколько вариантов компрессорно-насосных установок, в которых работа затрачивается только в углекислотном компрессоре, сжимающем CO₂ до 1,5-1,8 МПа (цикл низкого давления) или до 3,0 МПа (среднего). Ожижение диоксида углерода в цикле осуществляется за счёт холода жидкого NH₃, сжатого до 1,5 МПа. На рис. 11 приведена схема одной из таких установок. В ней газообразный диоксид углерода сжимается в углекислотном компрессоре до давления 1,8 МПа, затем охлаждается до температуры 35 °C в конечном холодильнике, осушается в блоке осушки, конденсируется и переохлаждается на 2-3 °C ниже равновесной температуры для предотвращения явления кавитации в насосе. Жидкий CO₂ накапливается в сепараторе для отвода неконденсирующихся примесей. Затем сжимается в плунжерном насосе до давления 15 МПа и, пройдя через recuperативный теплообменник, нагревается до 30 °C. После этого поток подогревается до 80 °C в межступенчатом и конечном холодильниках компрессора и подаётся на производство карбамида. Температура смешения жидкого аммиака, поступающего на производство карбамида, обеспечивается на уровне 5 °C за счёт холода абсорбционной бромисто-литиевой холодильной машины (АБХМ).

В табл. 2 приводятся расчётные значения производства жидкого диоксида углерода компрессорно-насосной установкой в зависимости от количества используемого холодного жидкого аммиака сжатого до 1,5 МПа.

Таблица 2. Производительность компрессорно-насосной установки по жидкому CO₂ при P_{кон}=1,8 МПа

Наименование	Показатели установки	
G _{NH₃} , т/ч	16,643*	18,39**
t _н , °C	-30	-30
t _к , °C	-26	-26
Q _{NH₃} , кВт	144	159
P _{CO₂} , МПа	1,8	1,8
T _{кон} , °C	-23	-23
G _{CO₂} , кг/ч	2083	2302

Примечание: G_{NH₃} — расход жидкого аммиака; t_н, t_к — температуры аммиака на входе в конденсатор CO₂ и выходе из него; Q_{NH₃} — количество холода, отбираемого от жидкого аммиака; P_{CO₂} — давление конденсации газообразного CO₂; T_{кон} — температура конденсации CO₂; G_{CO₂} — производительность по жидкому CO₂; *) — количество холодного жидкого аммиака, поступающего на смешение с тёплым жидким аммиаком для обеспечения температуры 5 °C и суммарного расхода 32,5 т/ч; **) — количество холодного жидкого аммиака, увеличенное на 1,75 т/ч из-за роста расхода CO₂, подаваемого на синтез карбамида.

Из табл. 2 видно, что производительность установки по жидкому диоксиду углерода при давлении нагнетания 1,8 МПа составляет от 2 до 2,3 т/ч в зависимости от количества используемого холодного жид-

кого аммиака. При мощности агрегата по производству карбамида 1400 т/сут. его производительность можно увеличить на 5 %, т.е. на 72 т/сут. или на 3 т/ч, подавая в него дополнительно 2,3 т/ч жидкого CO₂ и 1,75 т/ч жидкого NH₃.

• Созданы теоретические основы разработки высокоэффективных детандер-компрессорных агрегатов (ДКА) с двухступенчатым расширением воздуха для ВРУ, работающих по циклам среднего и высокого давлений [32,33]. На рис. 12 изображена схема ДКА с редуктором, в котором реализуется двухступенчатое расширение воздуха. ДКА этой конструкции позволяют снизить удельное энергопотребление при производстве жидкого кислорода в ВРУ среднего давления до 17,6 % по сравнению с ВРУ, базирующейся на цикле Клода (см. рис. 13). Примечательно, что этот результат может быть достигнут в существующих ВРУ без замены ректификационной колонны путём перехода на более низкое давление нагнетания.

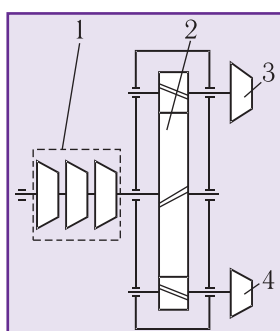


Рис. 12. Схема ДКА с редуктором: 1 — многоступенчатая компрессорная ступень; 2 — редуктор; 3, 4 — детандерная ступень низкого и высокого давлений, соответственно

• Предложен и детально проработан способ существенного повышения эффективности мощных паротурбинных блоков электростанций, работающих на природном газе [34]. Объектом исследований являлся наиболее крупный паротурбинный блок К-1200-240. Предлагаемое нами использование двухступенчатой конверсии с термохимической регенерацией тепловой энергии природного газа даёт возможность увеличить на 20 % энергетическую ценность топлива и объём производимого водорода; поднять верхнюю температуру в цикле паротурбинной установки до 1000 °С; повысить мощность за счёт дополнительного производства водяного пара; избавиться от CO₂ в паровом контуре тепловой станции; уменьшить расход кислорода. Внедрение результатов исследований в модернизированный блок К-1200-240М (рис. 14) позволит, как видно из табл. 3, повысить термический КПД блока η_t на 31,4 % и уменьшить выбросы CO₂ на 18,8 %. В разработанной технологической схеме блока

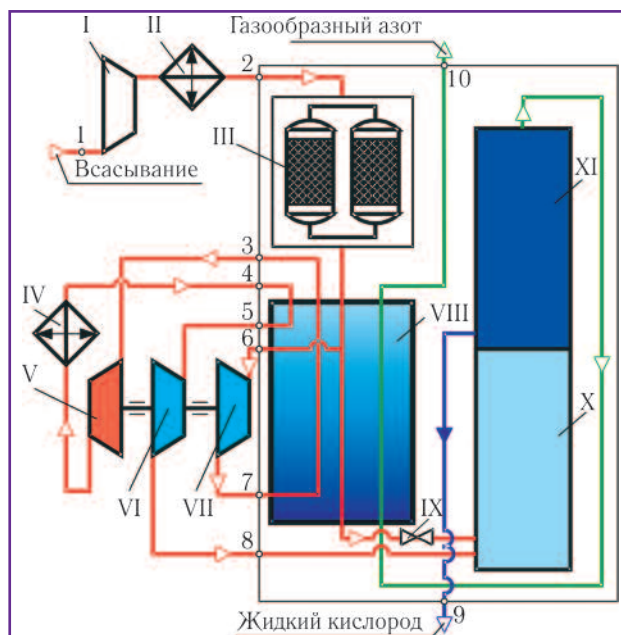


Рис. 13. Схема ВРУ среднего давления с ДКА, реализующим двухступенчатое расширение воздуха: 1 — компрессор; II, IV — концевые холодильники; III — блок комплексной очистки и осушки воздуха; V — компрессорная ступень; VI, VII — детандерные ступени низкого и высокого давлений; VIII — основной теплообменник; IX — дроссельный вентиль; X, XI — нижняя и верхняя ректификационные колонны; 1...10 — расчётные точки

583,5 т/ч образующегося диоксида углерода выдаётся в виде жидкого низкотемпературного продукта. Эти исследования могут повысить эффективность наиболее распространённых в РФ, Украине и странах СНГ паротурбинных энергоблоков до уровня парогазовых. На их основе удастся создавать совершенные интегрированные энерготехнологические комплексы, для обеспечения работы которых потребуются высокопроизводительные кислородные жидкостные ВРУ.

Таблица 3. Основные характеристики традиционного и модернизированного паротурбинных блоков К-1200-240

Параметры	К-1200-240	К-1200-240М	Эффективность, %
P , МПа	24	24	—
T_n , °С	540	540	—
$T_{кст}$, °С	—	1000	85,2
CH ₄ (у.т.), т/ч	—	212,2 (255,7)	21,6
O ₂ , т/ч	—	236,15	—
CO ₂ , т/ч	693,6	583,5*	18,8
Мазут (у.т.), т/ч	222,3 (311,0)	—	—
η_t , %	53,3	70,04	31,4
η_e , %	47,4	57,64	21,6

Примечания: T_n — температура перегрева; $T_{кст}$ — температура в камерах сгорания; P — давление пара перед турбиной высокого давления; у.т. — условное топливо; * — продукт.

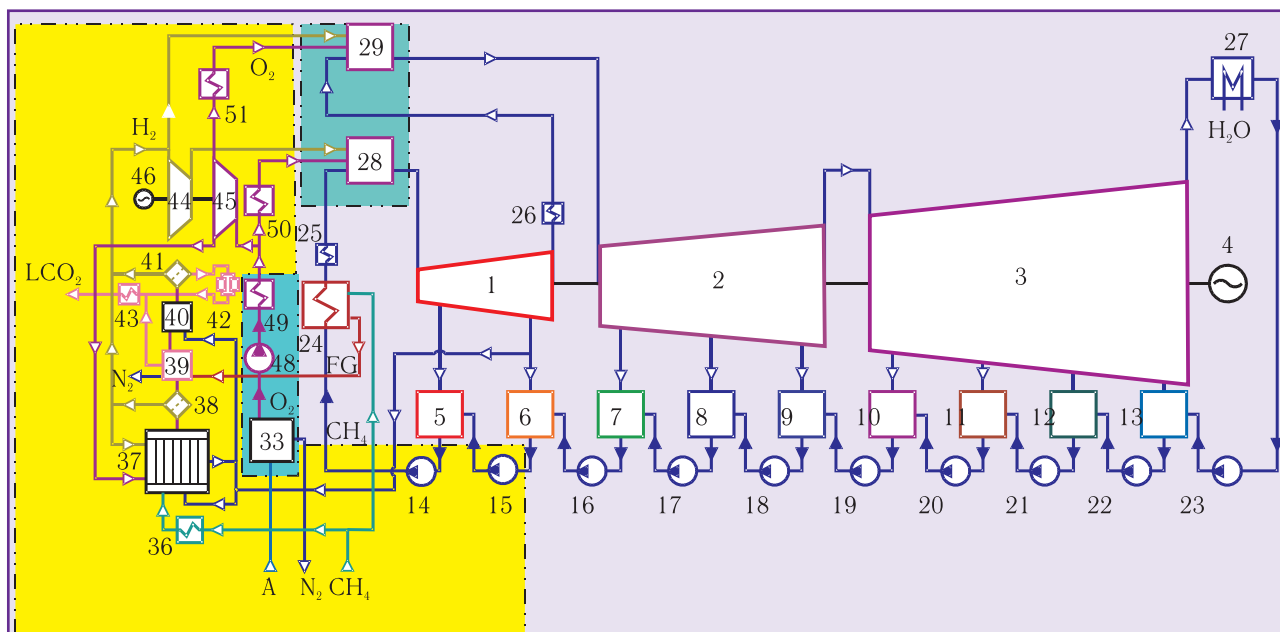


Рис. 14. Принципиальная схема паротурбинной установки К-1200-240М с термохимической регенерацией теплоты природного газа: А — воздух; СГ — конвертированный газ; LCO₂ — жидкий низкотемпературный диоксид углерода; F — топливо (мазут); FG — дымовой газ; H₂O — вода; NG — природный газ; N₂ — азот; O₂ — кислород; 1-3 — турбины высокого, среднего и низкого давлений; 4 — электрогенератор; 5-13 — регенеративные подогреватели питательной воды; 14-23 — насосы питательной воды; 24 — котёл; 25, 26 — первичный и промежуточный пароперегреватели; 27 — конденсатор; 28, 29 — камеры сгорания высокого и среднего давлений; 33 — воздухоразделительная установка; 36, 50 — подогреватели; 37 — высокотемпературный конвертер природного газа; 38, 41 — разделительные мембраны; 39 — абсорбционно-десорбционная установка; 40 — низкотемпературный конвертер СО; 42 — блок осушки; 43 — конденсатор; 44 — турбокомпрессор; 45 — турбина; 46 — электродвигатель; 48 — насос жидкого кислорода; 49 — испаритель

Указанные здесь некоторые из наших разработок способствуют устойчивому развитию отрасли НТГ, под которым понимается динамичный экономический рост при максимально рациональном использовании природных ресурсов и сохранении благоприятной окружающей среды для будущих поколений.

В центре нашего внимания безусловно будут оставаться проблемы эффективного разделения воздуха и совершенствования криогенных систем. Ассоциация и в отрасли кислородного и криогенного машиностроения будет реализовывать имеющиеся разработки.

Какие ещё перспективы открываются перед Ассоциацией, ориентированной на «обслуживание» глобальной отрасли НТГ?

Прежде всего, необходимо расширить номенклатуру специальностей, по которым будет вестись обучение и повышение квалификации производственников. Более разнообразной должна стать тематика публикуемых в журнале «Технические газы» статей. Мы расширим наше участие в международных выставках и форумах, выходя за рамки тематики кислородного и криогенного машиностроения.

Рассчитываем также на увеличение числа корпоративных членов. Уже сейчас наблюдается углубление наших связей с большой группой предприятий, которые заинтересованы в контактах с Ассоциацией. Это позволит Ассоциации войти в следующий период деятельности с новыми идеями, планами и задачами.

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА» завершает десятилетие своей деятельности. Ею внесён заметный вклад в совершенствование систем разделения воздуха, различных установок производства технических газов, обеспечение их эффективной и безопасной эксплуатации.

Для расширения деятельности и круга решаемых задач Ассоциацией сформирована глобальная отрасль низкотемпературных технических газов. Ориентация на запросы многочисленных предприятий этой отрасли позволяет Ассоциации, с одной стороны, уже сейчас заняться внедрением собственных перспективных разработок, а с другой — создать предпосылки для более широкого использования в этой отрасли технических газов и, конечно, продуктов разделения воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко А.П. Сжиженные углеводородные газы. — М.: Недра, 1974. — 368 с.
2. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. Криогенные системы. В 2-ух т. Т.1. Основы теории и расчета. — М.: Машиностроение, 1996. — 576 с.
3. Криогенные системы. В 2-ух т. Т.2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем/ А.М. Архаров, И.А. Архаров, В.П. Беляков, В.Л. Бондаренко и др. Под

- общ. редакцией **А.М. Архарова** и **А.И. Смородина**. — М.: Машиностроение, 1999. — 720 с.
4. **Архаров А.М.** Достижения и проблемы инженерной криологии// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2007. — № 7. — С. 27-33.
5. **Акулов Л.А.** Установки для разделения газовых смесей. — Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1983. — 215 с.
6. **Риттер Р.** Установки для получения водорода и аргона из продувочных газов синтеза аммиака// Технические газы. — 2004. — № 1. — С. 22-30.
7. Инфраструктура использования сжиженного природного газа: проблемы и перспективы// **Ю.А. Похил, В.Т. Архипов, Г.Д. Гамуля, А.Я. Левин**// Технические газы. — 2006. — № 4. — С. 45-54.
8. **Зайцев Ю.В., Лавренченко Г.К.** Опыт создания СПГ-установок// Технические газы. — 2007. — № 2. — С. 48-55.
9. **Кристал В.Н., Ленский А.Б.** Криогенные заправочные системы многоазового космического комплекса «Энергия-Буран»// Технические газы. — 2008. — № 6. — С. 13-21.
10. Опыт создания крупномасштабного оборудования для получения, хранения и транспортирования жидкого водорода// **И.Ф. Кузьменко, И.М. Морковкин, Г.И. Сайдаль и др.**// Технические газы. — 2009. — № 2. — С. 31-37.
11. Выделение дейтерия из водорода методом глубокого охлаждения// **М.П. Малков, И.Б. Данилов, Л.Г. Зельдович, А.Б. Фрадков**. — М.: Госатомиздат, 1961. — 151 с.
12. **Буткевич И.К.** Криогенные гелиевые системы для объектов со сверхпроводящими устройствами: создание и совершенствование// Технические газы. — 2009. — № 4. — С. 38-46.
13. **Лавренченко Г.К.** Сокровища атмосферы: как и кому их «добывать» и как эффективно использовать?// Технические газы. — 2003. — № 2. — С. 2-8.
14. **Кёсель К., Лавренченко Г.К.** Совершенствование установок коротко-цикловой адсорбции для производства чистого азота// Химическая техника. — 2003. — № 3. — С. 31-37.
15. **Кёсель К., Лавренченко Г.К.** Системы производства чистого водорода с использованием коротко-цикловой адсорбции// Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2005. — № 12. — С. 10-23.
16. Опыт эксплуатации и совершенствования криогенной установки разделения газообразных отходов производства аммиака// **И.В. Волохов, А.П. Тишаков, Ю.А. Букаров, Г.К. Лавренченко**// Химическая техника. — 2002. — № 8. — С. 16-19.
17. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В.** Энерготехнологические комплексы на природном газе с когенерационной и паротурбинной установками для производства электрической энергии, жидкого диоксида углерода и газообразного азота// Технические газы. — 2005. — № 2. — С. 11-21.
18. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В.** Энерготехнологические комплексы на природном газе с когенерационной установкой и тепловым насосом для производства электрической энергии, жидкого диоксида углерода и газообразного азота// Технические газы. — 2005. — № 3. — С. 15-24.
19. **Горенштейн И.В., Лавренченко Г.К.** Анализ способов увеличения выхода жидких продуктов в воздуходелительных установках среднего давления// Технические газы. — 2003. — № 3. — С. 33-37.
20. **Лавренченко Г.К., Шве́ц С.Г., Копытин А.В.** Проблемы разработки детандер-компрессорного агрегата для воздуходелительной установки высокого давления// Технические газы. — 2005. — № 6. — С. 27-33.
21. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В., Шве́ц С.Г.** Оптимизация узла осушки и очистки воздуха в воздуходелительной установке высокого давления с целью снижения энергопотребления// Технические газы. — 2006. — № 1. — С. 28-33.
22. **Лавренченко Г.К.** Пятилетие деятельности Ассоциации: итоги и перспективы развития// Технические газы. — 2006. — № 2. — С. 2-9.
23. **Лавренченко Г.К.** Кадровое сопровождение предприятий, производящих продукты разделения воздуха// Технические газы. — 2003. — № 3. — С. 2-6.
24. **Лавренченко Г.К.** Развитие системы непрерывного образования производственников// Технические газы. — 2004. — № 4. — С. 2-5.
25. **Капица П.Л.** Эксперимент. Теория. Практика. — М.: «Наука», 1981. — 496 с.
26. **Лавренченко Г.К.** О пуске в эксплуатацию крупнотоннажной ВРУ на ОАО «МК «Азовсталь»// Технические газы. — 2008. — № 6. — С. 34-41.
27. **Дабахов С.И., Завадских Р.М., Пермьяков Н.П.** Развитие производства жидкого диоксида углерода на ОАО «Завод Уралтехгаз»// Технические газы. — 2007. — № 3. — С. 60-64.
28. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В.** Энерготехнологические многоцелевые комплексы на природном газе, содержащие углекислотную станцию, когенерационную и воздуходелительную установки// Технические газы. — 2008. — № 1. — С. 18-22.
29. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В.** Энергетические показатели различных процессов сжатия диоксида углерода до сверхкритических давлений// Технические газы. — 2007. — № 1. — С. 31-36.
30. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В., Федчун А.Ю.** Компрессорно-насосная установка, использующая холод жидкого аммиака для производства жидкого CO₂ и подачи его на синтез карбамида// Технические газы. — 2009. — № 2. — С. 24-30.
31. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В., Федчун А.Ю.** Компрессорно-насосные установки с аммиачными холодильными машинами для производства жидкого CO₂ и подачи его на синтез карбамида// Технические газы. — 2009. — № 3. — С. 19-24.
32. **Лавренченко Г.К., Шве́ц С.Г.** Исследование возможностей эффективного использования детандер-компрессорных агрегатов в воздуходелительных установках среднего давления// Технические газы. — 2009. — № 3. — С. 12-17.
33. **Лавренченко Г.К., Шве́ц С.Г.** Снижение удельного энергопотребления при производстве жидкого кислорода в ВРУ среднего давления// Технические газы. — 2009. — № 5. — С. 26-31.
34. **Лавренченко Г.К., Копытин А.В.** Использование природного газа и кислорода для повышения эффективности мощных паротурбинных установок// Технические газы.