

УДК 621.59(075.8)

**Г.К. Лавренченко**

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

## ДЕСЯТЫЙ СЕМИНАР ПО ПРОБЛЕМНЫМ ВОПРОСАМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

*Десятый международный семинар по актуальной проблеме повышения эффективности и безопасности производств продуктов разделения воздуха (Одесса, 5-9 октября 2009 г.) собрал около 100 специалистов с 70-ти предприятий и компаний 14-ти государств. В работе семинара приняли участие изготовители оборудования и те, кто использует его для извлечения из воздуха кислорода, азота и аргона для обеспечения ими современных производств и технологий. На семинаре были представлены также компании, занимающиеся газовым бизнесом. Организатор семинара — Украинская ассоциация производителей технических газов «УА-СИГМА». На семинаре было заслушано и обсуждено 30 докладов, в которых дана характеристика состояния и перспектив развития производств продуктов разделения воздуха, изложены результаты научно-исследовательских и конструкторско-технологических работ по проблемным вопросам семинара. Активное и заинтересованное восприятие информации, контакты со специалистами позволили участникам семинара повысить квалификацию, получить рекомендации, необходимые для дальнейшего совершенствования оборудования и производств продуктов разделения воздуха. Рассматривается содержание докладов. Делается вывод о важности проведения семинара в связи с ожидаемым ростом спроса на продукты разделения воздуха после преодоления кризисных явлений в экономике, а также предъявлением более высоких требований к обеспечиваемому уровню эффективности и безопасности воздуходелительных установок.*

**Ключевые слова:** Разделение воздуха. Криогенная техника. Кислород. Азот. Аргон. Редкие газы. Компрессоры. Теплоизоляция. Ёмкости для жидких криопродуктов. Эффективность. Криогенные насосы. Безопасность.

**G.K. Lavrenchenko**

## THE TENTH SEMINAR ON PROBLEM ASPECTS OF AIR SEPARATION PRODUCTS MANUFACTURE PERFECTION

*The tenth international seminar on an actual problem of efficiency and safety increase of air separation products manufactures (Odessa, 5-9 October, 2008) has collected about 100 experts from more than 70<sup>th</sup> enterprises and companies from 14<sup>th</sup> states. In the work of the seminar have taken part manufacturers of equipment and those who use it for extraction oxygen, nitrogen and argon from air for maintenance of modern manufactures and technologies. The companies engaged in gas business have been submitted at the seminar also. The organizer of the seminar is the Ukrainian Association of Manufacturers of Industrial Gases «UA-SIGMA». There were 30 reports included characteristic of condition and prospects for development of air separation products manufactures learnt and discussed at the seminar, results of the research and design technologies on the problem of the seminar were stated. Active and interested perception of information, contacts with experts have allowed the participants of the seminar to become more qualified, to receive necessary recommendations for the further perfection of the equipment and air separation products manufacture. The content of reports is considered. It is deduced about the importance of carrying out of such seminars under growing demand on air separation products, for higher requirements to provided level of efficiency and safety of air separation plants.*

**Keywords:** Air separation. Cryogenic engineering. Oxygen. Nitrogen. Argon. Rare gases. Compressors. Heat-insulation. Tanks for liquid cryoproducts. Efficiency. Cryogenic pumps. Safety.

© Г.К. Лавренченко

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Ассоциация «УА-СИГМА» ежегодно приглашает специалистов на международные семинары по проблемам совершенствования производств продуктов разделения воздуха (ПРВ), начиная с 2000 г. В Одессе 5-9 октября 2009 г. Ассоциацией был проведён уже десятый, — в некотором роде юбилейный, — международный семинар, посвящённый всестороннему рассмотрению многочисленных вопросов, относящихся к указанной актуальной проблеме. В его работе, несмотря на ещё ощущаемый экономический и финансовый кризис, приняли участие около 100 специалистов из разных отраслей, представлявших более 70-ти предприятий и компаний РФ, Украины, Австрии, Германии, Израиля, Китая, Литвы, Новой Зеландии, Польши, США, Франции, Чехии, Швейцарии и Эстонии.

Контингент участников можно условно разделить на три группы. Первую, наиболее многочисленную, составили те, кто эксплуатирует воздухоразделительные установки (ВРУ) и производит кислород, азот, аргон, а также снабжает этими газами различные технологии, например, в металлургии, химии и нефтехимии, машиностроении, энергетике. Ко второй группе относятся разработчики и производители установок для криогенного и некриогенного разделения воздуха, а также комплектующего их оборудования: компрессоров, турбодетандеров, теплообменников, насосов сжиженных газов, блоков комплексной очистки воздуха, систем автоматического контроля и управления, арматуры, ёмкостного и газификационного оборудования и т.п. Участвовала в его работе и третья довольно значительная группа, состоящая из тех, кто занимается обеспечением многочисленных потребителей широкой гаммой технических газов (кислород, азот, аргон, диоксид углерода, различные газовые смеси), применяемых в сварке, медицине, пищевых технологиях и мн. др. областях.

Семинар, как и предыдущий [1], проводился под эгидой Минпромполитики Украины, Минпромторговли РФ, Одесской государственной академии холода, Международной академии холода и при участии Госпромгорнадзора Украины, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. Отдельно нужно назвать те предприятия, которые оказывали содействие в организации семинара: Международная группа «Редкие газы» (г. Москва); ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха Московская область) и ПКФ «Криопром» ООО (г. Одесса).

В настоящей статье проанализируем содержательную часть семинара, которую сформировали 30 докладов, дающих наиболее полное представление о состоянии и перспективах развития производств продуктов разделения воздуха, а также возможностях современных ВРУ, результатах внедрения в их схемы и конструкции новых решений. Много внимания уделялось безопасности ВРУ, системам хранения жидких и компримированных продуктов разделения воздуха.

## 2. НАЧАЛО РАБОТЫ СЕМИНАРА

Нами заблаговременно была подготовлена весьма насыщенная программа семинара. С ней были ознакомлены предприятия и компании, которые предварительно зарезервировали возможность участия в работе семинара их специалистов. Однако в программу семинара после этого продолжали вноситься изменения, дополнения вплоть до самого момента его открытия, а также включались новые доклады. Несмотря на плотность расписания заседаний, нам удалось обсудить все доклады и большую их часть заранее опубликовать в нескольких выпусках журнала «Технические газы». Публикации не снизили интерес к содержащейся в них информации, а наоборот — лучше подготовили прибывших к нам специалистов к восприятию и обсуждению каждого конкретного доклада.

Во время пленарного заседания, приуроченного к открытию семинара, от Ассоциации «УА-СИГМА» были сделаны два доклада. Коснусь некоторых положений этих докладов, вызвавших, на мой взгляд, интерес у аудитории (фото 1).

В первом из них отмечалась высокая актуальность организованного Ассоциацией семинара. Для аргументации сошлюсь лишь на некоторые подтверждающие это факты, а также принимаемые во внимание характеристики и оценки нынешней непростой для мировой экономики ситуации. Так, необходимо всегда учитывать, что производства продуктов разделения воздуха являются сложными энергоёмкими техническими и технологическими объектами. Их эксплуатация должна обеспечиваться хорошо подготовленными специалистами. Это особенно важно, так как ожидается рост спроса на компоненты, извлекаемые из воздуха, в связи с постепенным, по мере преодоления кризиса, подъёмом экономики в СНГ и более широким распространением технологий, ориентированных на их использование. На многих предприятиях создаются новые более эффективные и безопасные производства продуктов разделения воздуха, ведётся модернизация или реконструкция существующих. Но, наряду с этим, до сих пор в промышленности используется значительное количество ВРУ с недопустимо большими сроками эксплуатации, превышающими нередко нормативные, установленные их производителями. Такая ситуация должна беспокоить руководство этих предприятий в связи с тем, что растут требования к производствам продуктов разделения воздуха как объектам повышенной опасности. Не хватает для эксплуатации оборудования производств ПРВ специалистов необходимого профиля с высшим образованием, имеются сложности с организацией повышения их квалификации только силами предприятий. На заводах кислородного и криогенного машиностроения организовано производство ВРУ новых модификаций с комплексным разделением воздуха и высоким уровнем автоматизации процессов контроля и управления. Однако производственники недостаточно или несвоевременно информируются об этом. Разработки ВРУ и другого оборудования ведутся с использованием более эффективных программных продуктов.

Необходимо ознакомление специалистов с их возможностями. Внедряются новые схемные и конструкторские решения, совершенные технологии изготовления оборудования для современных производств ПРВ. Широко начинают использоваться ВРУ с некриогенными принципами выделения из воздуха кислорода или азота, разделения или очистки других газовых смесей. Появляются новые нормативные документы, правила и рекомендации по безопасной эксплуатации ВРУ, нуждающиеся в обсуждении.



а)

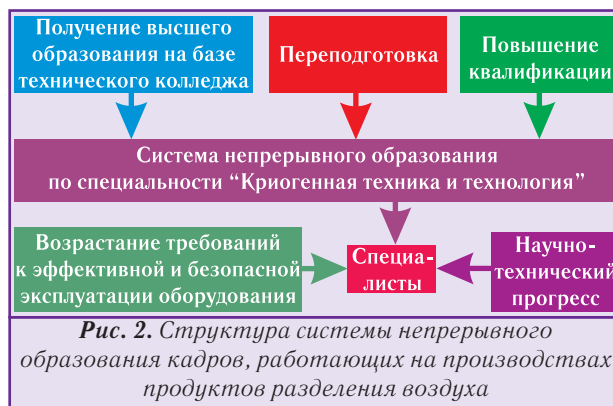


б)

**Фото 1.** Участники и гости семинара полностью заполнили зал заседаний в гостинице «Виктория» (а). В президиуме (б) члены оргкомитета семинара: заместитель генерального директора ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха Московской области) к.т.н. А.В. Кортиков; директор ПКФ «Криопром» ООО (г. Одесса) И.В. Кириченко; генеральный директор ЗАО «НПП Криосервис» (г. Балашиха Московской области) А.Б. Ленский; генеральный директор ОАО «Завод Уралтегаз» (г. Екатеринбург) к.э.н. С.И. Дабахов; генеральный директор холдинга «Редкие газы» (г. Москва) д.т.н., профессор В.Л. Бондаренко; ректор Одесской государственной академии холода, президент Международной академии холода (укр. отделение) д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины В.В. Притула (слева направо)

семинара, обозначить перечень подлежащих рассмотрению проблемных вопросов. Такой подход к подготовке и проведению этого и предыдущих семинаров способствует не только росту интереса к ним, но также содействует непрерывному улучшению реализуемого нами информационного обеспечения специалистов различных предприятий и компаний. Увеличение числа участников проводимых Ассоциацией семинаров с 38 чел. (2000 г.) до 100 чел. (2009 г.) — лучшее подтверждение этого вывода.

Спектр перечисленных признаков актуальности, как можно заметить, довольно широк. В связи с этим, при выборе тем для выступлений стремились, с одной стороны, учесть иногда несовпадающие интересы отдельных групп участников и представляемых ими предприятий, а с другой — вынести на обсуждение, кроме сугубо профессиональных, ещё и такие доклады, которые были бы интересны большинству специалистов. В качестве примера назову второй наш доклад, в котором анализировались результаты работы Ассоциации по кадровому и информационному обеспечению современных технологий производства и использования продуктов разделения воздуха.



Для оказания эффективной помощи предприятиям и, конечно, работающим на них специалистам Ассоциацией создана и постоянно совершенствуется система непрерывного образования кадров, занимающихся эксплуатацией оборудования производств ПРВ [2,3]. Их обучение, переподготовка и повышение квалификации осуществляются Ассоциацией без отрыва от производства (если не считать установочные и экзаменационные сессии) в Одесской государственной академии холода (ОГАХ). На рис. 2 упрощённо представлены основные элементы системы. Она предусматривает подготовку и переподготовку специалистов с использованием трёх уровней обучения. Так, для приобретения высшего образования по заочной контрактной форме Ассоциацией приглашаются выпускники технических колледжей, работающие на производствах ПРВ. Их по итогам собеседований в ОГАХ могут зачислить на 2-ой или даже 3-ий курсы Института заочного / дистанционного обучения. Это позволяет им получить высшее образование по специальности «Криогенная техника и технология» за 4-5 лет (вместо 6-ти!). Такой резерв кадров исключительно ценен,

Учёт всего этого позволил сформулировать цели

так как эти относительно молодые люди могут эффективно работать на предприятиях в течение нескольких десятков лет.

Нами учитывается и то, что в штате производств ПРВ могут трудиться специалисты с высшим техническим непрофильным образованием. Для них предусмотрена переподготовка в течение 2-ух лет с целью получения второго высшего образования. Эти специалисты могут с определённой регулярностью совершенствовать свою подготовку на организуемых Ассоциацией в ОГАХ специальных курсах повышения квалификации. Обучение на этих курсах проводится по очно-заочной форме, чтобы на длительное время не отвлекать специалистов от работы. Для самостоятельного освоения программного материала курсов Ассоциацией для их слушателей издаются учебные пособия с современной информацией.

В 2003-2009 гг. по направлению Ассоциации, являющейся для ОГАХ единым заказчиком, прошли переподготовку, т.е. получили второе высшее образование в области криогенной техники и технологии, 31 чел. Кроме этого, в настоящее время этой формой обучения «охвачено» ещё 10 чел. В предыдущие годы рос интерес к организуемым Ассоциацией курсам повышения квалификации. Так, в течение пяти лет в ОГАХ повысили квалификацию около 90 производственников с 27 предприятий Украины и РФ. В 2009 г., к сожалению, из-за кризиса уменьшилось количество специалистов, направляемых к нам для повышения квалификации. Считаю, что это — временное явление. Предприятия, по мере преодоления кризиса, снова станут больше внимания уделять подготовке и переподготовке специалистов. Нам не следует при этом забывать ёмкое высказывание академика П.Л. Капицы: «Образование человека стоит меньше по сравнению с тем, что приносит государству его квалифицированный труд» [4]. Поэтому все мы — и заводы, и компании, и, конечно, Ассоциация, должны понимать, что, обучая специалистов, тем самым решаем важную государственную задачу подготовки кадров.

К семинару мы подошли с возросшим количеством членов Ассоциации. Ими стали предприятие ОАО «Завод Уралтехгаз» (г. Екатеринбург) и компания ООО «Фирма Кислородмонтаж» (г. Днепропетровск) (фото 3).

В первый день работы семинара шёл разговор и о юбилейных событиях, которые являются знаковыми не только для Ассоциации. Остановлюсь на некоторых из них.

Несколько значимых событий 2009 г. связано с научной и организационной деятельностью академика П.Л. Капицы (фото 4), 115-летие со дня рождения которого отмечалось в этом году. В связи с этим российский канал «Культура» показал два фильма о П.Л. Капице. Электронные копии этих фильмов нами были подарены всем участникам семинара.

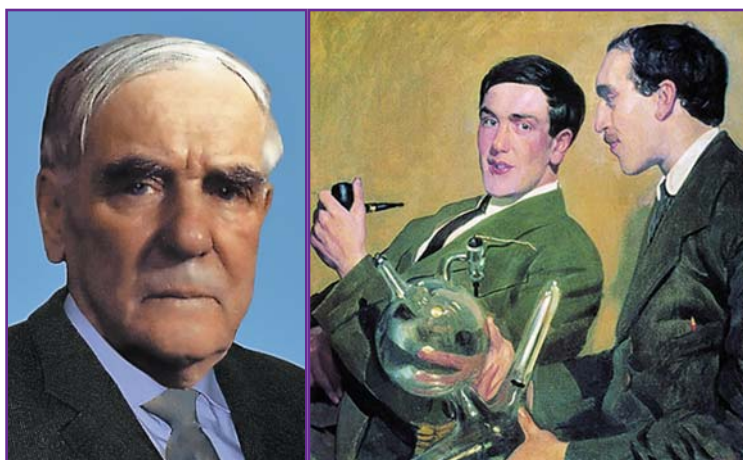


а)



б)

**Фото 3.** Ассоциация пополнилась новыми членами. Сертификаты о приёме в Ассоциацию были вручены генеральному директору ОАО «Завод Уралтехгаз» С.И. Дабахову (а) и директору ООО «Фирма Кислородмонтаж» Р.А. Калиниченко (б)

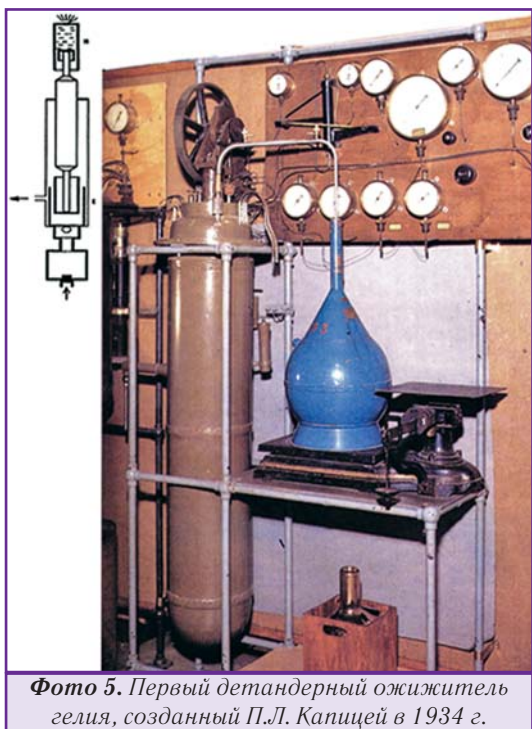


а)

б)

**Фото 4.** Академик П.Л. Капица — выдающийся физик XX-го столетия, лауреат Нобелевской премии, основатель и организатор отечественной отрасли кислородного и криогенного машиностроения (а). Художник Б. Кустодиев (1921 г.), назвав картину «Будущие академики», оказался провидцем: и П.Л. Капица, и Н.Н. Семёнов — выдающийся химик, стали не только академиками, но и лауреатами Нобелевской премии (б)

Нас отделяют 75 лет от создания П.Л. Капицей в Кавендишской лаборатории (Англия) первого в мире гелиевого ожижителя с детандером. Этими работами он положил начало промышленному ожижению гелия (фото 5). Академиком П.Л. Капицей 70 лет назад был разработан и испытан высокоэффективный реактивный турбодетандер, на основе которого появилась возможность создавать крупнотоннажные ВРУ низкого давления.



**Фото 5.** Первый детандерный ожижитель гелия, созданный П.Л. Капицей в 1934 г.

Семинар был посвящён 60-летию ОАО «Криогенмаш» — лидера отечественного кислородного и криогенного машиностроения. Предприятие берёт начало с Балашихинского машиностроительного завода, строительство которого было начато по инициативе академика П.Л. Капицы в то время, когда он возглавлял «Главкислород» при СНК СССР [5].

В 2009 г. отмечалось 60-летие Института газа НАН Украины. В этом институте выполнялись крупные научные исследования и разработки, которые преобразили отрасли, перерабатывающие, а также использующие природный газ. В настоящее время Институт газа занимает лидирующие позиции в создании и внедрении эффективных энерготехнологий. В этом институте заведовал отделом разделения и очистки газовых смесей д.т.н., профессор А.П. Клименко. В 1959 г., т.е. 50 лет назад, он выступил с докладом на X-ом конгрессе Международного института холода (Копенгаген, Дания), в котором сообщил о разработке им высокоэкономичного однопоточного каскадного цикла для ожижения природного газа [6]. Цикл Клименко широко используется в настоящее время при создании эффективных ожижителей и рефрижераторов.

В 2009 г. отмечалось 45-летие ОАО «Завод Уралтехгаз» — уникального, крупнейшего на Урале предприятия, специализирующегося на выпуске и

поставке технических газов, баллонов собственного изготовления и газосварочного оборудования [7].

В заключительной части пленарного заседания к участникам семинара с приветствиями обратились генеральный директор ЗАО «НПП Криосервис» А.Б. Ленский (фото 6) и ректор Одесской государственной академии холода, президент Международной академии холода (укр. отделение) д.т.н., профессор В.В. Притула (фото 7).



**Фото 6.** «Хочу поприветствовать коллег и членов оргкомитета в связи с началом работы десятого международного юбилейного семинара. Символично, что во время семинара будет отмечаться также и 60-летний юбилей Криогенмаша — предприятия, которое внесло значительный вклад в отечественную и мировую криогенную технику. Сейчас все направления деятельности Криогенмаша развиваются с учётом современных запросов, его ждёт славное будущее», — сказал в своём обращении к присутствующим А.Б. Ленский



**Фото 7.** Ректор ОГАХ поздравил участников семинара с началом его работы. Он обратил внимание на насыщенность программы; наличие докладов, отражающих основные направления современной воздуходелительной техники. «Считаю, что семинар будет способствовать улучшению информационного обеспечения специалистов, работающих в отрасли кислородного и криогенного машиностроения. Академия, со своей стороны, может помочь вашим компаниям в подготовке и переподготовке специалистов, в повышении их квалификации», — так завершил выступление В.В. Притула

После пленарного заседания участники и гости семинара сфотографировались. На фото 8 для сравнения запечатлены те, кто принял участие в работе первого и десятого семинаров. Даже внешне видно, как возрос интерес к этому ежегодно проводимому Ассоциацией важному мероприятию.



а)



б)

**Фото 8.** Так выглядели участники I-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 в гостинице «Виктория» около 100 специалистов с 70-ти предприятий и компаний 14-ти государств

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМНЫХ ВОПРОСОВ

Затем началось и продолжалось в течение трёх дней обсуждение докладов, с которыми выступали участники семинара.

Все доклады, прозвучавшие на семинаре, можно разделить на несколько групп:

- производства продуктов разделения воздуха, повышение их эффективности и безопасности;
- комплектующие и материалы для производств ПРВ;
- оборудование для использования ПРВ, а также организации газового бизнеса;
- научно-технические достижения и разработки.

Кратко остановимся на сути каждого из докладов.

К первой группе докладов следует отнести доклад генерального директора ОАО «Криогенмаш» (г. Балашиха Московской области) *А.И. Рубцова* (фото 9). В нём рассматривалась история создания предприятия, этапы его становления, современное состояние и перспективы развития. В выступлении больше внимания

уделялось анализу современного состояния. Обусловлено это было тем, что в юбилейный для ОАО «Криогенмаш» год в журнале «Технические газы» были опубликованы основательные статьи о достижениях этой компании мирового уровня. Статьи написаны ведущими специалистами ОАО «Криогенмаш» [8-17].



**Фото 9.** «Криогенмаш, — отметил в докладе А.И. Рубцов, — современное динамично развивающееся предприятие. Среднегодовой темп роста за последние три года превышал 40 % и более чем в два раза превосходил средние показатели в российской машиностроении. Выручка предприятия за 2008 г. по РСБУ составила 3,45 млрд. руб. Штаб-квартира компании, где трудится более 2600 чел., расположена в Балашихе»

А.И. Рубцов сообщил, что, отвечая запросам рынка, предприятие за последние несколько лет реализовало более 30-ти крупных проектов, разрабатывая уникальное оборудование, модернизируя существующие и создавая новые производства ПРВ. Важное направление в деятельности ОАО «Криогенмаш» — поставки технических газов. Предприятие предложило заказчикам новую форму сотрудничества — производство газов на условиях on-site с использованием оборудования собственного изготовления. Количество on-site-проектов достигло четырёх. К недавно сданному в эксплуатацию производству технических газов для Северского трубного завода (фото 10) добавились новые проекты для Первоуральского Новотрубного завода, Новозлатоустовского и Таганрогского металлургических заводов.

С интересом также был воспринят доклад заместителя генерального директора ОАО «Криогенмаш» к.т.н. *А.В. Кортикова* (фото 11). В его докладе, — «Развитие технических решений, используемых в создаваемых ОАО «Криогенмаш» воздуходелительных установках», — обстоятельно рассказывалось, как проводилось поэтапное улучшение схем и конструкций ВРУ. Так, в период 1949-1956 гг. предприятие изготавливало установки относительно небольшой производительности, использующие цикл высокого давления, а также цикл двух давлений. Начиная с 1957 г., приступили к выпуску ВРУ низкого давления с переключающимися регенераторами. На то

время это были достаточно совершенные установки. Этому способствовали работы академика П.Л. Капицы по созданию высокоэффективного реактивного радиального турбодетандера. Применение такого турбодетандера позволило разрабатывать крупнотоннажные установки, построенные по циклу одного низкого давления.



**Фото 10.** Блок разделения воздуха нового кислородно-азотного цеха Северского трубного завода. Его основу составляет современная крупнотоннажная ВРУ КДАДАр-9/3 и ожижительная установка ОКА-3000, которая производит 2000 кг/ч жидкого кислорода и 1200 кг/ч жидкого азота. Инвестиции ОАО «Криогенмаш» в реализацию этого on-site-проекта составили примерно 24 млн. евро



**Фото 11.** «За 60 лет деятельности ОАО «Криогенмаш» спроектировал, изготовил, поставил и ввёл в эксплуатацию более 600 воздухоразделительных установок для предприятий металлургической, химической и других отраслей промышленности России и многих зарубежных стран», — с такой информацией началось выступление А.В. Кортикова

С 1982 г. и по настоящее время ОАО «Криогенмаш» производит ВРУ с пластинчато-ребристыми теплообменниками и блоками комплексной очистки воздуха, содержащими эффективные молекулярные сита. Конструктивное совершенствование установок не изменило ориентацию на использование цикла низкого давления, называемого сейчас циклом Капицы, и предложенного им турбодетандера. Кроме этого, с 1996 г. предприятие приступило к разработке и созданию ВРУ средней производительности. Сейчас ОАО «Криогенмаш» выпускает ВРУ различных модификаций нового поколения, полностью отвечающие современным более высоким требованиям к их эффективности, надёжности и безопасности [8, 11, 14, 15, 17].

Участники семинаров, в том числе и состоявшегося, всегда ждут выступлений ведущего специалиста в области безопасности ВРУ — начальника сектора адсорбции и взрывобезопасности установок ОАО «Криогенмаш» к.т.н. В.И. Файнштейна (фото 12). На этот раз им были сделаны два доклада. Первый из них был посвящён ретроспективному анализу развития научных основ и технологических приёмов обеспечения безопасности воздухоразделительных установок [17]. Второй доклад содержал результаты важных исследований, выполненных В.И. Файнштейном, которые позволяют оценивать степень приближения к опасным условиям работы конденсаторов-испарителей ВРУ [18]. Автор, обращаясь к участникам семинара, настоятельно рекомендовал с этой целью рассматривать данные о суммарных содержаниях углеводородов групп  $C_2$ ,  $C_3$  и более тяжёлых в течение всей рабочей кампании. Эксплуатирующий ВРУ персонал должен производить такой анализ только на основе систематического контроля за содержаниями указанных примесей в испаряемом жидком кислороде.



**Фото 12.** В.И. Файнштейн в докладах не раз обращал внимание, что, несмотря на достигнутые успехи, вопросы обеспечения взрывобезопасности ВРУ должны постоянно учитываться как при проектировании установок, так и во время их эксплуатации

В работе семинара приняли участие несколько представителей «Messer Group» (Германия). С обобщающим докладом об эффективных криогенных тех-

нологиях и оборудовании этой известной компании выступил её вице-президент *Адольф Вальт* (фото 13). Он подробно охарактеризовал деятельность компании, ознакомил с географией размещения изготовленных ею и сданных в эксплуатацию ВРУ. В настоящее время в различных государствах работают 33 крупнотоннажных установки, а ещё 14 находятся в стадии строительства. Компания только в Европе владеет шестью специализированными газовыми заводами и 86-ью наполнительными станциями для обеспечения потребителей техническими газами. Большие количества продуктов поставляются компанией крупным заказчикам в цистернах в виде криогенных жидкостей или по трубопроводам в виде газов. Например, в Испании для этих целей построена сеть трубопроводов с общей протяжённостью в 85 км. Весьма успешным можно считать бизнес «Messer Group» в Китае, где она начала свою деятельность ещё в 1995 г. Сейчас в этом интенсивно развивающемся государстве эксплуатируются многочисленные ВРУ компании. Коэффициент её роста на рынке технических газов Китая ожидается на уровне 20 % в год.



**Фото 13.** Компания «Messer Group», как подчеркнул Адольф Вальт, является не только изготовителем современных ВРУ, но и крупным производителем и поставщиком технических газов многочисленным клиентам в Европе и др. странах

Компания «Messer Group» выполняет и научно-исследовательские работы. В докладе сообщалось о разработках технологии программируемого охлаждения различных объектов с помощью жидкого азота. Эти технологии уже успешно применяются в Университете г. Штутгарта на испытательном стенде для охлаждения и осушки всасываемого в турбины самолёта воздуха, а также в Центре ядерных исследований (г. Карлсруе) для криостатирования гелия при температуре 100 К в системе охлаждения международного экспериментального термоядерного реактора.

Два доклада были сделаны специалистами компании ПКФ «Криопром» ООО (г. Одесса). С первым из них выступил ведущий конструктор *А.Д. Бровко* (фото 14). В докладе сообщалось о создании современного производства продуктов разделения воздуха на Ново-

российском кислородном заводе. Оно имеет в своём составе две ВРУ КЖК-2, разработанные и изготовленные ПКФ «Криопром» ООО [19]. Каждая из установок производит 2200 кг/ч жидкого кислорода, 2000 кг/ч жидкого азота. ВРУ могут работать в смешанном режиме: кислород жидкий — 1200 кг/ч; кислород газообразный под давлением до 35 кгс/см<sup>2</sup> — 750 м<sup>3</sup>/ч. Чистота кислорода — 99,7 % об. О<sub>2</sub>; азота — 0,0001 % об. О<sub>2</sub>. В установках использовалась классическая схема цикла высокого давления с турбодетандером и предварительным охлаждением воздуха. Такой цикл позволяет создавать эффективные жидкостные установки средней производительности. При построении технологической схемы на основе указанного цикла удельный расход электроэнергии на производство жидких продуктов не превышает 1 кВт·ч/кг. В этих установках для сжатия перерабатываемого воздуха используются экономичные и надёжные поршневые компрессоры высокого давления 6ВМ16-150/201 производства ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе».

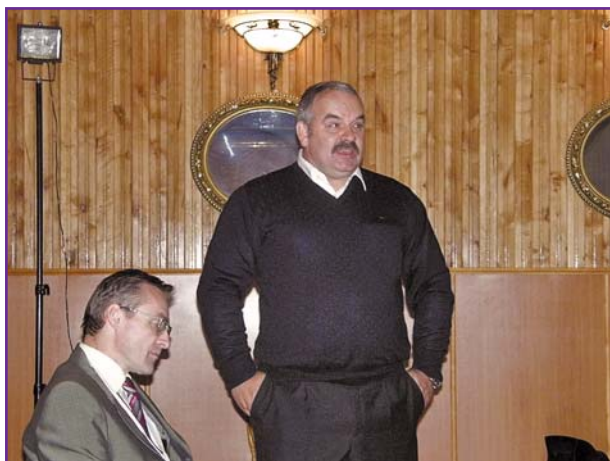


**Фото 14.** «Большинство оборудования ВРУ КЖК-2, — обратил внимание присутствующих А.Д. Бровко, — поставлялось в собранном виде с полной заводской готовностью. Однако блок ректификации — узлами (каркасы, колонны, теплообменники, арматура), так как высота его составляет 24 м. Монтажные работы проводились бригадой ЗАО «НПП Криосервис» (г. Балашиха Московской области), состоящей из высококвалифицированных специалистов. Это подтверждается многими примерами. Сошлюсь только на один из них. Для того, чтобы свести к минимуму монтажные и сварочные работы на большой высоте, обвязку колонн трубопроводами в горизонтальном положении проводили в цехе. Это позволило довольно быстро и качественно выполнить монтаж блока разделения»

Несколько дополнений к докладу А.Д. Бровко сделал директор ПКФ «Криопром» ООО *И.В. Кириченко* (фото 15). Он рассказал, что пока изготавливались установки была построена и введена в эксплуатацию база хранения на Новороссийском кислородном заводе. С её помощью обеспечивалась работа электросталеплавильного производства Новороссийского металлургического завода. Доставка жидкого кислорода



осуществлялась как железнодорожными цистернами, так и транспортными криогенными резервуарами.



**Фото 15.** И.В. Кириченко привёл ряд убедительных экономических и финансовых показателей, которые подтвердили высокую эффективность перехода от снабжения металлургического производства продуктами разделения воздуха с помощью базы хранения к его обеспечению продуктами, вырабатываемыми двумя ВРУ КжК-2

Затем И.В. Кириченко остановился на рассмотрении характеристик и достоинств широкого ряда криогенных насосов, которые выпускаются ПКФ «Криопром» ООО. Предприятие производит насосы различных конструкций для таких жидких криопродуктов, как кислород, азот, аргон, природный газ и диоксид углерода. В заключение он предложил участникам семинара в перерыве между заседаниями ознакомиться с криогенной цистерной, укомплектованной погружным насосом высокого давления. Цистерна, как он отметил, установлена на специализированном автомобиле (фото 16).



**Фото 16.** Возле гостиницы, где проводился семинар, находился автомобиль ПКФ «Криопром» ООО с установленной на нём криогенной цистерной. На цистерне размещён привод и механизм движения погружного жидкостного криогенного насоса. С помощью этого насоса можно заправлять баллоны европейского производства продуктами разделения воздуха до давления 200 кгс/см<sup>2</sup> и даже более высокого

Со вторым докладом о работах ПКФ «Криопром» ООО по созданию воздуходелительных установок среднего давления выступил главный конструктор предприятия А.А. Леонтьев (фото 17). В нём анализировались характеристики нескольких эффективных ВРУ. Установки нового поколения отличаются более высокими производительности по жидким продуктам разделения воздуха [20]. В качестве примера докладчик привёл характеристики новой установки КжК-0,5. Так, при небольшом росте потребляемой мощности новой ВРУ с 640 до 670 кВт производство жидкого кислорода в ней повысилось с 300 до 550 кг/ч, жидкого азота — с 280 до 660 кг/ч, газообразного кислорода — с 530 до 570 м<sup>3</sup>/ч. Впечатляющим является снижение удельного расхода электроэнергии на выработку жидкого кислорода: с 2,13 до 1,22 кВт·ч/кг! В докладе приводились также примеры использования найденных решений и для существенного улучшения показателей модернизируемых ВРУ. А.А. Леонтьевым были приведены результаты модернизации ВРУ АК-1,5 [20]. Не останавливаясь на всех показателях, укажем лишь то, что удельные затраты на производство жидкого кислорода удалось уменьшить с 3,33 до 1,83 кВт·ч/кг, а жидкого азота — с 4,45 до 1,94 кВт·ч/кг.



**Фото 17.** «Недостаток ВРУ среднего давления — использование в них воздушных поршневых многоступенчатых компрессоров, имеющих обычно меньшую надёжность по сравнению с винтовыми и центробежными компрессорами. Однако в значительной степени эти недостатки удаётся преодолеть, — сказал А.А. Леонтьев, — за счёт перехода на комплектацию установок среднего давления более совершенными поршневыми компрессорами нового поколения производства ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе», как, например, 4ВМ10-55/71 и 2ВМ10-27/71»

Следующим в блоке докладов, посвящённых разработкам новых ВРУ, явилось выступление технического директора ООО «Ред Маунтин Украина» (г. Одесса) С.В. Руцкого (фото 18). Доклад существенно дополнял и развивал его выступление двухлетней давности [21]. Из выступления на состоявшемся семинаре видно, как успешно развивалась компания, как росло количество заказов на ВРУ. Докладчик дал харак-

теристику циклов и технологических схем поставляемых ВРУ для производства жидких продуктов разделения воздуха. В ВРУ с производительностью от 350 до 1500 кг/ч жидких продуктов используется цикл низкого давления с детандером-компрессором (ДК); в ВРУ, вырабатывающих 1500-3000 кг/ч продуктов, — цикл двух давлений с дожимающим компрессором, низкотемпературной холодильной машиной и ДК на потоке воздуха; в ВРУ производительностью свыше 3000 кг/ч продуктов — цикл с азотным циркуляционным контуром. С.В. Руцкий назвал ряд объектов, для которых созданы производства продуктов разделения воздуха на базе ВРУ, использующих перечисленные циклы и схемы. Компанией завершается сооружение крупной кислородно-азотной станции для ООО «Нефтеюганскпромсервис». Первая её очередь была построена в 2006 г., вторая — введена в строй в 2009 г., а третью — намечено сдать заказчику в 2010 г. В ВРУ KDON-1500-1650/50Y и KDON-750-800/30Y используются воздушные турбокомпрессоры TA6000. Поставщик компрессоров — компания «Премиум Инжиниринг», которая входит в состав американской группы «Red Mountain Energy».



**Фото 18.** В докладе С.В. Руцкого сообщалось о нескольких производствах продуктов разделения воздуха, созданных специалистами компании. Отмечалось, что «Red Mountain Energy» стремится избавить заказчиков от сопутствующих вопросов, связанных с реализацией проектов, и помимо поставки оборудования предоставляет следующие услуги: технические консультации, проектные работы, инжиниринг, сертификация, шеф-монтаж, пусконаладка, сервисное обслуживание и обучение персонала

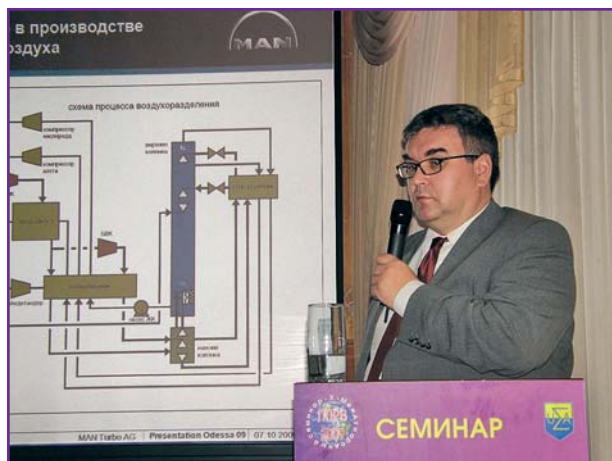
Вопросам оптимального применения в различных отраслях промышленности центробежных компрессоров был посвящён доклад коммерческого директора компании ЗАО «Премиум инжиниринг» (Москва) П.Г. Людковского (фото 19). Она специализируется на поставках многочисленным потребителям широкого ряда центробежных компрессоров для обеспечения их компримированным и осушенным воздухом. Компанией выполняется не только продажа оборудования, но чаще всего весь объём работ: от получения запроса до сдачи компрессорной станции в эксплуатацию.



**Фото 19.** Характеризуя объёмы продаж относительно молодой компании, П.Г. Людковский привёл общие показатели деятельности ЗАО «Премиум Инжиниринг»: «На сегодняшний день нами поставлено более двухсот пятидесяти центробежных воздушных компрессоров низкого и среднего давлений с суммарной производительностью, превышающей 300000  $\text{м}^3/\text{ч}$ »

Специалисты, принимавшие участие в работе семинара, с вниманием отнеслись к выступлению главного менеджера компании «MAN Turbo» AG Дмитрия Шалаева (фото 20). Это отделение, находящееся в Швейцарии (Цюрих), — составная часть германского промышленного концерна MAN. Докладчик в выступлении охарактеризовал две серии производимых компанией компрессоров: компактные изотермические центробежные компрессоры RIKT и многовальные центробежные компрессоры RG. Указанные компрессоры отличает высокая эффективность. Например, в компрессоре серии RIKT с пучками теплообменников, встроенных в его корпуса, процесс сжатия газа в нём за счёт эффективного охлаждения приближён к изотермическому. Благодаря также улучшенной аэродинамике и коротким каналам, соединяющим ступени компрессии и теплообменники, изотермический КПД компрессора составляет около 75 %. Дополнительные преимущества компрессора серии RIKT — компактность, низкий уровень шума и высокая надёжность.

Дмитрий Шалаев остановился на некоторых тенденциях мирового рынка технических газов. Одна из них — потребность в ВРУ высокой единичной производительности. Создаваемые сейчас комплексы для производства синтез-газа будут потреблять до 30 тыс. т кислорода в сутки. Для сравнения, металлургические производства нуждаются в 500-3000 т кислорода в сутки. Растут потребности в больших количествах газообразного азота высокой чистоты. В качестве примера можно привести уникальное крупнотоннажное производство азота «Cantarell» (Мексика). Суммарная производительность четырёх ВРУ этого комплекса составляет 1340000  $\text{м}^3/\text{ч}$  азота с давлением 120 бар [22]. Компания «MAN Turbo» изготовила для комплекса воздушные и азотные турбокомпрессоры. Азотные компрессоры приводятся в действие паровыми турбинами, которые также поставлялись компанией.



**Фото 20.** В современных крупнотоннажных ВРУ используют несколько компрессоров. Компания «MAN Turbo», как следовало из выступления Дмитрия Шалаева, в состоянии изготовить всё необходимое для воздухоразделительной установки компрессорное оборудование: основной и бустерный компрессоры, а также компрессоры для газообразных кислорода и азота, если их нужно компримировать в соответствии с условиями организации технологических процессов



**Фото 21.** В заключительной части доклада Ю.Б. Наталухой было сказано: «При создании комплекса «компрессор – воздухоразделительная установка» монтаж является завершающим этапом сдачи нашим предприятием компрессора на месте его эксплуатации. Сокращение продолжительности монтажных работ является важным фактором, позволяющим потребителю намного раньше ввести в эксплуатацию как компрессор, так и саму установку. Создание моноблочных компрессорных установок, выполненных на рамах, позволяет перенести значительную часть монтажных работ на завод-изготовитель»

На семинаре были сделаны два доклада, в которых сообщалось о результатах совершенствования поршневых многоступенчатых компрессоров и разработке улучшенных типов клапанов. Первый из докладов сделал начальник бюро воздушных компрессоров ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» Ю.Б. Наталуха (фото 21). Докладу предшествовала демонстрация фильма об истории, достижениях и современном состоянии этого широкоизвестного предприятия. К достижениям предприятия можно безусловно отнести

создание эффективных и надёжных компрессоров нового поколения для ВРУ, реализующих циклы высокого и среднего давлений. Из последних разработок ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» следует назвать, как наиболее востребованные, компрессор высокого давления 6ВМ16-150/201, а также компрессор среднего давления 4ВМ10-55/71. Последний из указанных компрессоров предприятие готово выпускать на раме с газоохладителями и трубопроводной обвязкой [23]. Блочное изготовление компрессора 4ВМ10-55/71 позволит уменьшить его габариты. Хорошие отзывы об указанных компрессорах прозвучали в выступлениях на семинаре специалистов ПКФ «Криопром» ООО. Они имеются также и в публикациях [19,20]. Все производимые для ВРУ компрессорные установки созданы на базе оппозитных крейцкопфных компрессоров с высокой степенью уравнивания. Они комплектуются специальной системой цилиндрической смазки, позволяющей использовать её в условиях дозированной подачи масла.



**Фото 22.** А.-Й. Поска привёл результаты успешного испытания новых более эффективных клапанов, созданных на заводе компании АВ «Hoerbiger Viena», в составе высокооборотного компрессора высокого давления. Это позволяет новые клапаны более широко использовать в других поршневых компрессорах, в том числе и в тех, что предназначены для обеспечения сжатым воздухом воздухоразделительных установок

Совершенствование поршневых компрессоров в настоящее время сопровождается повышением скорости вращения коленчатого вала и средней скорости поршня. Реализации этой тенденции препятствуют трудности обеспечения высокой надёжности самодействующих клапанов и поддержания низкого уровня потерь энергии в них. Указанные трудности удалось преодолеть на литовском предприятии АВ «Hoerbiger Viena» (г. Укмерге). С докладом о создании новых клапанов, отвечающих минимуму затрат энергии и обеспечивающих высокий уровень надёжности, выступил главный конструктор компании А.-Й. Поска (фото 22). Специалистами предприятия были созданы дисковые клапаны с полимерной рабочей пластиной и стальной демпферной пластиной [24]. Результаты ис-

пытаний клапанов подтвердили правильность использованных при их разработке теоретических, технологических и конструкторских решений. Клапаны в течение более 4500 ч успешно эксплуатируются в компрессорах 4ВМ2,5-18/101.

В работе семинара участвовали ведущие специалисты международного холдинга ЗАО «Группа компаний «Бентопром» (г. Москва) вместе с президентом *М.Г. Сеником*. С докладом о внедрении новой технологии изолирования блоков разделения воздуха различных ВРУ выступил генеральный директор ООО «Бентопром Инжиниринг» *Э.Г. Кортаев* (фото 23). Холдинг многим хорошо известен как производитель высококачественной перлитовой теплоизоляции для различных систем криогенной техники. Заводы, входящие в состав холдинга, производят необходимый для этого вспученный перлит в соответствии с новыми ТУ 5714-001-05747985-2006. Разработку технических условий выполнило ОАО «Криогенмаш» совместно с указанным холдингом [25]. Характеристики вспученного перлита, выпускаемого ЗАО «Группа компаний «Бентопром», реально оказываются лучше даже тех, что указаны в новых технических условиях. Например, после засыпки перлитом, изготовленным холдингом, блока разделения воздуха самой крупной в СНГ ВРУ, принадлежащей ЗАО «Air Liquide SeverStal» (г. Череповец, РФ), его усадка оказалась существенно ниже той, что допускается действующими ТУ.



**Фото 23.** Возможность изготовления вспученного перлита с помощью аэромобильной установки на месте его потребления заинтересовала участников семинара. В настоящее время, как сообщил *Э.Г. Кортаев*, холдингом будет использоваться ещё одна аэромобильная установка, но с увеличенной в два раза производительностью

Высокое качество вспученного перлита позволяет холдингу успешно заниматься его поставками для теплоизоляции оборудования, производимого как отечественными, так и зарубежными компаниями. Со своей высококачественной продукцией холдинг вышел и на европейский рынок. Здесь им при выполнении работ используется новая технология. Теплоизоляция объектов специалисты холдинга ведут с по-

мощью аэромобильной установки, которая производит вспученный перлит прямо на месте его потребления. Это даёт возможность существенно сократить сроки работ и повысить качество теплоизоляции. *Э.Г. Кортаевым* во время его выступления был показан фильм. В нём демонстрировались большие возможности аэромобильной установки. Она была использована для выработки перлита и одновременно с этим теплоизоляции блока разделения ВРУ производства «Linde AG». Установка сооружена в Бремене (Германия) на металлургическом заводе компании «Арселор Миттал». Благодаря применению новой технологии, блок разделения воздуха крупнотоннажной ВРУ удалось за теплоизолировать в течение всего двух недель.



**Фото 24.** Ключевыми свойствами для организации эффективной комплексной очистки воздуха в ВРУ считаются высокие значения динамической ёмкости цеолита по  $\text{CO}_2$  и его механическая прочность. В докладе *А.В. Глухова* было показано, что этим требованиям в полной мере отвечает предлагаемый многим потребителям цеолит марки NaX-БКО

В составе современной ВРУ обязательно имеется блок комплексной очистки (БКО) перерабатываемого воздуха от влаги,  $\text{CO}_2$ , углеводородов и других нежелательных примесей. Надёжная работа БКО создаёт условия для безопасной работы ВРУ, повышения чистоты производимых продуктов. В свою очередь, показатели блока зависят от ряда характеристик применяемых в них цеолитов. Известным в СНГ поставщиком высококачественных цеолитов является ООО «Торговый дом РеалСорб» (г. Ярославль, РФ). Выпуском цеолитов занимается ООО «Завод молекулярных сит «РеалСорб». С докладом об опыте эффективного применения цеолита специального назначения NaX-БКО в установках разделения воздуха выступил начальник отдела маркетинга компании *А.В. Глухов* (фото 24). Цеолит NaX-БКО производится заводом в соответствии с достаточно высокими требованиями ТУ 2163-004-21742510-2004, которые были согласованы с ОАО «Криогенмаш». В настоящее время в связи с совершенствованием технологии изготовления цеолита NaX-БКО он по ряду основных показателей превосходит требования технологических условий. Так,

динамическая ёмкость цеолита в виде гранул с диаметром 2 мм при норме по ТУ 4,2 см<sup>3</sup>/ч на самом деле составляет сейчас 6,6 см<sup>3</sup>/ч, а равновесная ёмкость при адсорбции СО<sub>2</sub> обеспечивается на уровне 8,3 см<sup>3</sup>/ч вместо 5,5 см<sup>3</sup>/ч.

На семинаре были заслушаны два доклада о технологиях производства и характеристиках высококачественных баллонов для компримированных газообразных продуктов разделения воздуха и других газов.

С первым докладом выступил региональный менеджер по продажам в странах Центральной и Восточной Европы компании «Worthington Cylinders» GmbH Андрей Рубан (фото 25). Необходимо отметить, что он тесно сотрудничает с редакцией журнала «Технические газы». Только в течение 2009 г. Андреем Рубаном были опубликованы две статьи [26,27] по теме его выступления на семинаре.



**Фото 25.** «Высококачественные и востребованные многими потребителями баллоны компании делают её известной на всех континентах мира. Баллоны производства «Worthington Cylinders» GmbH, таким образом, революционизируют рынок, на котором представлены как изготовители газов, так и их покупатели», — такими словами окончил выступление Андрей Рубан

Компания «Worthington Cylinders» GmbH (Австрия) хорошо известна многим специалистам, производящим и использующим продукты разделения воздуха. Несмотря на это, докладчик подробно охарактеризовал современную технологию производства, номенклатуру и основные типоразмеры выпускаемых компанией бесшовных газовых баллонов высокого давления для различных газов, включая ацетилен и газовые смеси. Баллоны компании обладают рядом преимуществ по сравнению с баллонами, производимыми и используемыми в СНГ. Для подтверждения указывалось, что облегчённые баллоны характеризуются наилучшим соотношением объёма к массе порожнего баллона. Например, 50-литровый баллон Worthington-Heiser на 200 бар, разрешённый к применению в РФ, имеет массу 46,5 кг. Для сравнения, отечественный 50-литровый аналог весит 93 или, в лучшем случае, 62,5 кг. Имеется ещё и дополнительная выгода при переходе на облегчённый баллон — отсутствие у

него башмака-подставки с массой 5,3 кг. В заключительной части доклада Андрей Рубан изложил международный подход к обновлению газобаллонного парка технических газов. На основе зарубежного опыта им были освещены альтернативные методы переосвидетельствования баллонов, которые пока не используются в странах СНГ. Он предложил и прокомментировал методику выбора новых баллонов для формирования газобаллонного парка, а также рассмотрел особенности электронных систем учёта баллонов, применяемых для минимизации логистических издержек газовых операторов.

Второй доклад, также напрямую связанный с газовыми баллонами, был сделан начальником департамента продаж компании «Vitkovice Cylinders» a.s. (Чешская республика) Иво Брабецом (фото 26). Компания имеет многолетний опыт производства баллонов. Их выпуск начался в 1906 г., т.е. более ста лет назад. В её современном производстве применяются три основные технологии изготовления бесшовных облегчённых баллонов: из квадратных заготовок; из труб и листовой стали. Высокое качество баллонов подтверждается их соответствием различным стандартам: европейским и международным, США, РФ, Канады, Великобритании, Германии и Китая. Контроль качества ведётся на всех стадиях производства баллонов. Для продуктов разделения воздуха компания изготавливает баллоны на давления заправки 200 и 300 бар. С целью улучшения характеристик баллонов постоянно обновляется и совершенствуется оборудование компании. Недавно была пущена в эксплуатацию новая линия для выпуска баллонов. Её общая производительность — 210000 баллонов в год, из которых 160000 шт. с диаметрами 273-370 мм изготавливаются из квадратных заготовок, а 50000 шт. с диаметрами 356-410 мм — из труб. Продукция компании поставляется во многие страны.



**Фото 26.** В докладе Иво Брабеца много внимания было уделено рассмотрению основных направлений совершенствования конструкций и технологий производства баллонов для газообразных продуктов разделения воздуха

Группу докладов сформировали сообщения о раз-

работках и выпуске нового оборудования, которое необходимо не только для комплектации ВРУ, но также и для создания современной инфраструктуры хранения, транспортирования и использования ПРВ. Выступления, в которых освещались эти вопросы, интересовали практически всех специалистов, участвующих в работе семинара. Подтверждением явилось активное обсуждение доклада исполнительного директора компании «Technex Limited» (Новая Зеландия — Украина) *И.Б. Воронина* и её главного инженера *И.Я. Филинюка* (фото 27). В нём говорилось о больших возможностях компании по поставкам различных ВРУ, оборудования для хранения, транспортирования и использования ПРВ. Компания с 2007 г. в Украине (Киев) изготавливает криогенные полуприцепы ёмкостью примерно 20 м<sup>3</sup> для перевозки жидких продуктов разделения воздуха [28]. Полуприцепы по технологическим характеристикам, уровню безопасности полностью соответствуют требованиям стандартов Украины и России, а также ЕС. В них применяется высокоэффективная экранно-вакуумная теплоизоляция. В состав полуприцепа входит криогенный центробежный насос, способствующий существенному снижению потерь криопродуктов при заполнении и опорожнении полуприцепа (фото 28).



**Фото 27.** В выступлениях *И.Б. Воронина* (слева) и *И.Я. Филинюка* сообщалось, что компания занимается постоянным совершенствованием конструкций полуприцепов и улучшением их характеристик. Например, массу одной из моделей полуприцепа удалось снизить на 1,5 т без изменения основных показателей

В докладе регионального менеджера по продажам «Chart Ferox» a.s. (Чешская республика) *Эльжбиеты Зайдлер* (фото 29) была дана исчерпывающая характеристика производимого компанией широкого ряда современного оборудования для хранения, транспортирования и газификации жидких продуктов разделения воздуха. Продукция компании хорошо востребована в Европе и странах СНГ. Даже простое её перечисление указывает на многопрофильность выпускаемого оборудования: стационарные ёмкости для хранения жидких криопродуктов и диоксида углерода; газификаторы на поддонах; криоцилиндры различных ём-



*a)*



*б)*

**Фото 28.** Участники семинара могли после выступлений *И.Б. Воронина* и *И.Я. Филинюка* ознакомиться с криогенным полуприцепом (*a*), который производит компания «Technex Limited», и обсудить (*б*) особенности его конструкции, а также варианты комплектации полуприцепа арматурой и насосами различных производителей

костей; криогенные цистерны и контейнеры; испарители; вакуумно-изолированные трубопроводы. Всё оборудование компанией «Chart Ferox» производится в соответствии с требованиями международных, европейских и региональных стандартов. Из доклада было видно, какими высокими темпами совершенствовалась выпускаемая продукция, расширялась её номенклатура. Компания за несколько лет освоила в производстве несколько новых изделий. Например, в настоящее время ею выпускаются инженерные криогенные ёмкости для жидких кислорода, азота, аргона, СПГ и диоксида углерода с объёмами до 686000 л, имеющие вакуумно-перлитовую теплоизоляцию. Большим оказывается спрос на вертикальные криогенные ёмкости, нуждающиеся в небольших площадях при их размещении, для сжиженных продуктов разделения воздуха с объёмами 3000-60000 л на максимальные давления 19, 26 и 37 бар. Вертикальные ёмкости серии EVT комплектуются испарителями, устанавливаемыми на внешней стенке сосуда. Крупными партиями компания производит также изделия на основе криоцилиндров Euro-Cyl: транспортные ёмкости низкого давления и

транспортные газификаторы среднего и высокого давлений. С объёмами до 2000 л изготавливаются стационарные газификаторы среднего и высокого давлений типа Regma-Cyl. Компания, учитывая появление спроса на криогенные сосуды небольших объёмов, начала производить несколько типов мини-цистерн. Для доставки жидких криопродуктов «Chart Fergox» выпускает широкую гамму оборудования, начиная от автомобильных и железнодорожных цистерн и кончая криогенными контейнерами для мультимодальных перевозок.



**Фото 29.** В выступлении Эльжбиеты Зайдлер приводилась также информация о международном концерне «Chart Industries», который имеет 11 заводов на трёх континентах мира. В его общей структуре трудятся 2800 работников высокой квалификации. Такое построение концерна позволяет оперативно вести продажи оборудования в большом числе регионов

Выступление заместителя генерального директора по научной работе ООО «НИИ КМ» (г. Москва) к.т.н. В.Н. Уткина (фото 30) затрагивало важные вопросы разработки перспективного криогенного оборудования и эффективных газовых технологий, основанных на использовании совершенных насосов компании «Cryostar» (Франция) [29]. В докладе вначале была проанализирована традиционно используемая схема газификации криопродуктов для последующей их заправки в баллоны. Были названы основные её недостатки: ограниченная производительность, высокая трудоёмкость, большие потери продукта. После этого участники семинара были ознакомлены с современной схемой газификации, в которой применяют выносные криогенные насосы. Схема обладает следующими достоинствами: широкий диапазон производительности; практически полное отсутствие потерь; возможность подачи продукта с давлениями до 400 бар; потребность в относительно небольших площадях для размещения оборудования. В.Н. Уткин назвал ряд предприятий, на которых ООО «НИИ КМ» уже созданы или модернизированы схемы газификации на основе оборудования компании «Cryostar». Причём при выполнении этих работ применялись не только насосы указанной компании, но также и специальные криогенные резервуары. Автор сообщил о разработке

также транспортных криогенных цистерн с использованием современных компонентов, включая и арматуру ведущих производителей.



**Фото 30.** Завершая выступление, В.Н. Уткин сделал общий вывод: «Из-за отсутствия в России производителей высокоэффективных криогенных поршневых и центробежных насосов модернизация оборудования переработки ПРВ может осуществляться лишь за счёт экспортных поставок. Их может обеспечить такая известная компания, как «Cryostar». Представленные мною в докладе результаты — только начало положительного опыта использования оборудования этой компании»

С двумя докладами на семинаре выступил генеральный директор ООО «НПО Мониторинг» (г. Москва) к.т.н. Н.В. Павлов (фото 31). В первом из них обобщался многолетний опыт компании по созданию эффективных криогенных систем и газовых технологий с применением современных комплектующих и материалов. Этот доклад основывался на публикации автора [30]. Обсуждаемая в докладе тема достаточно актуальна, так как широкое внедрение криогенных технологий обуславливает необходимость производства эффективного современного оборудования. С этой целью компания ООО «НПО Мониторинг» использует лучшие образцы зарубежной комплектации и материалов. Их применение даёт возможность создавать криогенное оборудование, неуступающее по своим характеристикам лучшим разработкам компаний мира. Автор в порядке иллюстрации привёл показатели ряда унифицированных газоразрядных рампы для технических газов; многочисленных видов газораспределительных щитов; систем газообеспечения предприятий на базе криогенных ёмкостей, периодически заправляемых жидкими криопродуктами. В докладе подробно была рассмотрена технологическая схема и необходимое оборудование, на основе которого компанией была создана надёжная и экономичная система подачи жидкого азота с помощью гибкого криогенного трубопровода в автоматические линии разлива напитков. Во втором докладе Н.В. Павлов изложил особенности и достоинства эффективной шаровой арматуры, предназначенной для использования в

производствах ПРВ, системах хранения, транспортирования и газификации криопродуктов. Арматуру этого типа выпускает компания «Habonim Industrial Valves & Actuators» (Израиль). Подробно параметры различных моделей этой арматуры описаны в [31].



**Фото 31.** В выступлении Н.В. Павлова говорилось, что ориентация на импортные высококачественные комплектующие и материалы позволяет его компании внедрять совершенные технологии и создавать необходимое для них оборудование с более высокими качественными показателями. Такое оборудование становится конкурентоспособным по отношению к аналогичному, поставляемому из-за рубежа

К блоку докладов, освещающих научные и научно-технические достижения, можно отнести четыре выступления.

Таким выступлением в полной мере является доклад руководителя криогенного комплекса ООО «Айсблик» (г. Одесса) к.т.н. Ю.М. Симоненко (фото 32). Его авторами являются также д.т.н., профессор В.Л. Бондаренко и к.т.н. Н.П. Лосяков. Доклад в виде статьи был заранее опубликован [32]. В выступлении был обобщён многолетний опыт МГТУ им. Баумана, ОГАХ и компании ООО «Айсблик» по промышленному применению вихревых и пульсационных охладителей в технологиях извлечения редких газов. Известно, что указанные безмашинные аппараты занимают особое место среди охладителей, использующих энергию сжатых газов. И хотя они по эффективности уступают детандерам, однако имеются такие области их применения, где на первый план выходят присущие им эксплуатационные и конструктивные преимущества. Среди них — высокая надёжность, многофункциональность, безынерционность, компактность и простота изготовления. В докладе отмечалась общность физических признаков вихревых и волновых аппаратов. Приведены примеры эффективного использования газодинамических аппаратов в различных системах сепарации и охлаждения. Подробно были изложены результаты успешной работы совместно с криогенной газовой машиной каскада вихревых труб в установке для компонентного разделения неонгелиевой смеси при температурах 25...28 К. Испытания установки подтвердили возможность снижения содержания

неона до 10 % и, как следствие, увеличения коэффициента его извлечения на 5 %.



**Фото 32.** В выступлении Ю.М. Симоненко были приведены примеры эффективного использования вихревых и пульсационных охладителей в ВРУ, гелиевом ожижителе, а также в установке извлечения редких газов



**Фото 33.** «Основные источники редких газов — кислородные производства металлургических комбинатов. Применяемое в ряде производств оборудование для их извлечения несовершенно. Поэтому из-за технологических ограничений и теплофизических особенностей системы Ne-He-N<sub>2</sub> в процессах разделения воздуха теряется 50...60 % неонгелиевой смеси», — таким образом Т.В. Дьяченко была обоснована актуальность улучшения технологии извлечения и концентрирования лёгких инертных газов

На семинаре с докладом об особенностях конденсационных систем обогащения Ne-He-смеси и опыте их использования на Нижнетагильском металлургическом комбинате выступила инженер-аналитик ООО «Айсблик» Т.В. Дьяченко (фото 33). Работы по созданию и внедрению конденсационных систем обогащения неонгелиевой смеси проводились под руководством д.т.н., профессора В.Л. Бондаренко. В них, кроме докладчика, участвовали также А.А. Луцик и А.Г. Андреев. Авторы доклада представляли МГТУ им. Баумана, ОГАХ и компанию ООО «Айсблик» [33]. Внедрение системы конденсационного обогаще-



ния Ne-Ne-смеси на Нижнетагильском металлургическом комбинате подтвердило, что обогащение сырой смеси целесообразно проводить до уровня 93...95 %. Для этой цели рационально использовать единый аппарат-дефлегматор с несколькими ступенями очистки, из которых, по крайней мере, одна работает при температуре 66...68 К. Применение установки конденсационного обогащения Ne-Ne-смеси на комбинате способствовало снижению расходов на наполнение, перевозку и хранение баллонов в среднем на 30 %.



**Фото 34.** А.А. Вассерман в докладе дал характеристику состояния обеспечения потребителей данными о свойствах воздуха и его компонентов: «Благодаря плодотворной деятельности многих учёных, занимавшихся экспериментальными и расчётно-теоретическими исследованиями свойств воздуха и его компонентов, удалось эти важные для техники вещества изучить и представить их свойства в аналитическом виде в широкой области температур и давлений. Новые уравнения состояния и уравнения для расчётов вязкости и теплопроводности описывают достоверные опытные данные с точностью, соответствующей точности эксперимента»

В работе предыдущих семинаров по проблемам совершенствования производств ПРВ принимал участие известный специалист в области термодинамики и теплофизических свойств воздуха и входящих в него компонентов д.т.н., профессор А.А. Вассерман (Одесский национальный морской университет). И на этом семинаре присутствующие в зале заседаний специалисты могли послушать его выступление (фото 34). В его докладе рассматривалось состояние работ многочисленных исследователей по аналитическому описанию теплофизических свойств воздуха и его компонентов. Доклад был заранее оформлен в виде статьи, которую опубликовали до начала работы семинара [34]. Данные о теплофизических свойствах воздуха и его компонентов — азота, кислорода и одноатомных газов, необходимы для развития криогенной техники и других отраслей. Накопление экспериментальной информации о свойствах указанных веществ дало возможность составить уравнения, описывающие эти данные, рассчитать таблицы свойств и построить диаграммы состояния. Автором в докладе были названы

основные работы, посвящённые составлению таких уравнений, и наиболее известные таблицы теплофизических свойств воздуха и его компонентов, охватывающие широкую область параметров.

В программе семинара было предусмотрено выступление к.т.н. В.П. Мальчевского (Одесский национальный морской университет) с докладом, подготовленным совместно с д.т.н., профессором А.В. Вассерманом. В выступлении В.П. Мальчевского (фото 35) было показано, что данные о термодинамических свойствах и коэффициентах переноса газов и жидкостей необходимы для многих отраслей науки и техники, включая кислородное и криогенное машиностроение [34]. По мере накопления такой информации и описывающих её уравнений стали создавать банки данных и автоматизированные информационные системы, обеспечивающие пользователей данными о свойствах веществ. В докладе В.П. Мальчевский остановился на подробной характеристике возможностей наиболее известных источников информации.



**Фото 35.** В докладе В.П. Мальчевского было отмечено основное достоинство банков данных и автоматизированных информационных систем: «Они содержат в электронном виде большой объём ценной информации о теплофизических свойствах чистых веществ и смесей. Автоматизированные системы, позволяющие оперативно определять свойства при различных сочетаниях независимых переменных и заменять при расчётах диаграммы состояния, имеют заметные преимущества по сравнению с обычными справочниками»

#### 4. ЗАВЕРШЕНИЕ РАБОТЫ СЕМИНАРА

Высокий уровень состоявшихся докладов, насыщенность их большим объёмом современной информации, с одной стороны, и активное заинтересованное участие слушателей в их обсуждении, с другой, дали возможность нам как организаторам семинара вручить им сертификаты, подтверждающие повышение квалификации по актуальной проблеме эффективной и безопасной эксплуатации ВРУ.

Большинство докладов заранее было оформлено авторами в виде статей. Выпуски журналов «Технические газы», в которых они были опубликованы, вру-

чались нами участникам семинара в первый же день заседаний. Поэтому они могли заранее ознакомиться со статьями, встретиться с теми специалистами, чьи доклады их заинтересовали. Творческая атмосфера семинара только способствовала этому.

Информационный фонд семинара был создан, конечно, теми специалистами, которые предварительно дали согласие выступить с докладами и даже подготовили на их основе статьи. Поэтому нами от имени оргкомитета семинара в первую очередь всячески поощрялись докладчики (фото 36).



а)



б)

**Фото 36.** Дипломами и сувенирами, подтверждающими высокий уровень докладов, отмечались все выступавшие на семинаре. Показано, как благодарили за выступления генерального директора ОАО «Криогенмаш» А.И. Рубцова (а) и президента международного холдинга ООО «Группа компаний «Бентопрот» М.Г. Сеника (б)

В выступлениях докладчиков и участников семинара был высказан ряд пожеланий. Они относились к улучшению и расширению деятельности Ассоциации по оказанию помощи предприятиям отрасли. Некоторые предложения были обусловлены необходимостью обновления и совершенствования нормативных документов. С учётом этого была подготовлена Резолюция семинара, с проектом которой заранее могли ознакомиться все желающие. На последнем

заседании её одобрили после внесения в текст некоторых дополнений и затем вручили каждому, кто принял участие в работе семинара. Поэтому, наверное, нет необходимости приводить её содержание. Единственно, что нужно отметить: в адрес Ассоциации было высказано предложение о проведении в г. Одессе 4-8 октября 2010 г. XI-го международного семинара по традиционно обсуждаемой актуальной проблеме повышения эффективности и безопасности производств продуктов разделения воздуха. Этот семинар будет посвящаться 10-летию деятельности Ассоциации «УА-СИГМА».

Но не только заседаниями, заслушиванием и обсуждением докладов жил семинар. Нами также многое делалось для того, чтобы создать условия для общения прибывших на семинар специалистов. Такие неформальные контакты имеют высокую ценность.

С целью установления более тесных взаимовыгодных контактов по ряду направлений состоялось подписание договоров о некоммерческом сотрудничестве между Ассоциацией и компанией «Messer Group» (фото 37,а), а также компанией «Vitkovicе Cylinders» (фото 37,б).



а)



б)

**Фото 37.** Показано, как подписывались договоры президентом Ассоциации «УА-СИГМА» Г.К. Лавренченко и вице-президентом «Messer Group» (а) Адольфом Вальтом (слева), а также начальником департамента «Vitkovicе Cylinders» (б) Иво Брабецом (слева)

Во время семинара, несмотря на плотный график заседаний, нами было выделено время для ознакомления участников с историей и современностью Одессы. В первый же день была проведена экскурсия по городу. На следующий день участники семинара посетили Одесский национальный академический театр оперы и балета, где посмотрели оперный спектакль.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наши контакты с участниками семинара не заканчиваются после того, как сделан последний доклад, подведены итоги и вручены сертификаты. Эта работа по обеспечению предприятий современной информацией не прекращается. Она представляет собой непрерывный взаимообогащающий всех нас процесс.

Особенно прочными являются связи с теми, кто входит в состав Ассоциации: и членами-учредителями, и корпоративными членами. Мы дорожим контактами с ними и стремимся, — не скрою этого, — к дальнейшему расширению состава Ассоциации. Но в этом должны быть заинтересованы и сами предприятия. Ведь членство в Ассоциации дает возможность предприятию регулярно получать современную информацию о состоянии исследований и разработок установок разделения воздуха; технологиях реконструкции, модернизации и сервиса существующих блоков разделения, а также о правилах и методах их безопасной эксплуатации.

Наша работа по информационному обеспечению предприятий, как известно, не ограничивается проведением семинаров. Они исключительно важны, и этого никто не отрицает. Но семинары рассматриваются нами как одна из составляющих эффективно действующей системы непрерывного образования производственников, которая реализуется нами на базе Одесской государственной академии холода. Значимость этой системы обусловлена отсутствием в штате ряда предприятий специалистов с высшим образованием по криогенной технике и технологии. Использование практиков, несомненно толковых, кадровую проблему предприятиям не решить. Необходимы инженеры, имеющие профильную подготовку.

От предприятий мы ждем заинтересованного отношения к проводимой нами работе. Рассчитываем также на дальнейший рост спроса на издаваемый нами научно-технический и производственный журнал «Технические газы». Вот где много новой информации и для разработчиков новой техники, и для практиков, занимающихся эксплуатацией ВРУ или использованием ПРВ!

Возвращаясь снова к семинару, следует отметить, что участники в ходе обмена впечатлениями, при обсуждении докладов высоко оценивали уровень организации и проведения семинара, его исключительную полезность, а также единодушно одобряли крайне важную деятельность Ассоциации по информационному обеспечению предприятий отрасли и кадровому сопровождению внедрения новой техники и эффективных технологий. Мы, как и участники семинара,

считаем и необходимым, и полезным организацию таких ежегодных мероприятий. С учётом состоявшегося десятого юбилейного семинара по проблеме совершенствования производств ПРВ в их работе приняли участие 885 специалистов с 274 предприятий 18 стран. Всего же Ассоциацией проведено 15 семинаров. Кроме указанных 10-ти семинаров нужно ещё отметить следующие семинары, которые Ассоциация организовывала в третью неделю мая: два по проблемам повышения эффективности оборудования для производства компримированого и сжиженного природного газа; три по проблемам эффективного производства и применения диоксида углерода. В работе этих семинаров участвовали 259 специалистов со 143 предприятий.

Состоявшийся семинар, как и все предыдущие, станет достоянием истории. Его проведение будет способствовать дальнейшему совершенствованию производств ПРВ и более широкому использованию в современных технологиях продуктов разделения воздуха — «сокровищ атмосферы» [36].

Благодарим всех, кто откликнулся на наши приглашения и с пользой для развития техники разделения воздуха и соответствующих технологий принял участие в работе состоявшегося семинара. Нашу исключительно актуальную работу по информационной поддержке предприятий прекращать не собираемся. Поэтому мы говорим:

— До встречи в Одессе на следующем, одиннадцатом, международном семинаре по проблемам совершенствования производств продуктов разделения воздуха!

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Лавренченко Г.К.** Совершенствование производств продуктов разделения воздуха// Технические газы. — 2009. — № 1. — С. 2-17.
2. **Лавренченко Г.К.** Кадровое сопровождение предприятий, производящих продукты разделения воздуха// Технические газы. — 2003. — № 3. — С. 2-7.
3. **Лавренченко Г.К.** Развитие системы непрерывного образования производственников// Технические газы. — 2004. — № 4. — С. 2-6.
4. **Капица П.Л.** Эксперимент. Теория. Практика. — М.: Наука, 1981. — 496 с.
5. **Рубцов А.И.** История создания, этапы становления, состояние и перспективы развития ОАО «Криогенмаш»// Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 2-7.
6. **Лавренченко Г.К.** Вклад профессора А.П. Клименко и его школы в создание научных основ углеводородных энерготехнологий// Технические газы. — 2009. — № 5. — С. 9-14.
7. **Лавренченко Г.К.** Обеспечение техническими газами индустриального Урала: история и нынешнее состояние// Технические газы. — 2009. — № 2. — С. 16-21.
8. **Каминский О.Н.** Реализация компанией ОАО «Криогенмаш» концепции «производство под заказ»// Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 8-12.

9. Создание и совершенствование криогенных запра-  
вочных и стендовых комплексов ракетно-космической тех-  
ники/ **А.М. Домашенко, В.Н. Криштал, М.В. Красовицкий**  
и др.// Технические газы. — 2009. — № 1. — С. 27-33.
10. Опыт создания крупномасштабного оборудования  
для получения, хранения и транспортирования жидкого водо-  
рода/ **И.Ф. Кузьменко, И.М. Морковкин, Г.И. Сайдаль** и  
др.// Технические газы. — 2009. — № 2. — С. 31-37.
11. **Пуртов С.Н., Тарасова Е.Ю.** Установки разделения  
воздуха для производства технологического кислорода// Тех-  
нические газы. — 2009. — № 2. — С. 38-46.
12. Научно-технические основы разработки криоген-  
ных гелиевых систем/ **И.Ф. Кузьменко, И.М. Морковкин,**  
**Ю.И. Духанин, К.В. Безруков**// Технические газы. —  
2009. — № 3. — С. 25-29.
13. **Буткевич И.К.** Криогенные гелиевые системы для  
объектов со сверхпроводящими устройствами: создание и  
совершенствование// Технические газы. — 2009. — № 4.  
— С. 38-46.
14. **Блазнин Ю.П., Горохов В.А., Голубев В.М.** Блоки  
комплексной очистки воздуходелительных установок  
ОАО «Криогенмаш»: методы расчёта, конструкции, опыт  
пусконаладки и эксплуатации// Технические газы. — 2009.  
— № 4. — С. 47-55.
15. **Громов А.Ф., Почуева Н.Н.** Азотные и азотно-кис-  
лородные воздуходелительные установки средней произ-  
водительности нового поколения// Технические газы. —  
2009. — № 5. — С. 32-41.
16. **Лапшин А.А.** Системы автоматизации воздуходел-  
ительных установок и кислородных станций производства  
ОАО «Криогенмаш»// Технические газы. — 2009. — № 6.  
— С. 17-25.
17. **Файнштейн В.И.** Обеспечение взрывобезопаснос-  
ти воздуходелительных установок: ретроспективный ана-  
лиз проблемы и современное состояние// Технические газы.  
— 2009. — № 2. — С. 60-66.
18. **Файнштейн В.И.** Оценка степени приближения к  
опасным условиям работы конденсаторов-испарителей воз-  
духоделительных установок// Технические газы. —  
2009. — № 5. — С. 67-70.
19. **Бровко А.Д., Леонтьев А.А., Сычёв В.Б.** Создание  
современного производства продуктов разделения воздуха на  
Новороссийском кислородном заводе// Технические газы.  
— 2009. — № 5. — С. 46-49.
20. **Леонтьев А.А., Бровко А.Д.** Повышение эффек-  
тивности жидкостных ВРУ среднего давления при их созда-  
нии или модернизации// Технические газы. — 2010. — №  
1. — С. 50-54.
21. **Тарасенко И.А., Руцкий С.В.** ВРУ низкого давлени-  
я для производства от 350 до 8000 кг/ч жидких криопродук-  
тов: схемы, конструкции и характеристики// Технические  
газы. — 2008. — № 2. — С. 35-42.
22. **Шалаев Д.Ю.** Особенности компрессоров компании  
«MAN Turbo» для современных криогенных воздуходелитель-  
ных установок// Технические газы. — 2010. — № 1.  
— С. 45-49.
23. **Гринь Н.П., Наталуха Ю.Б., Смирнов А.В.** Порш-  
невые воздушные компрессорные машины нового поколе-  
ния для ВРУ, реализующих циклы среднего и высокого давлени-  
я// Технические газы. — 2009. — № 6. — С. 26-30.
24. **Поска А.-Й., Стриога Д.** Новые высокоэффектив-  
ные самодействующие клапаны для поршневых компрессо-  
ров высокого давления// Технические газы. — 2009. — №  
5. — С. 71-72.
25. **Сайдаль Г.И., Петров С.И., Коротаев Э.Г.** Разра-  
ботка требований к вспученному перлитовому песку как эф-  
фективной теплоизоляции криогенного оборудования// Тех-  
нические газы. — 2007. — № 1. — С. 63-66.
26. **Рубан А.Г.** Анализ характеристик баллонов высоко-  
го давления для сжатых газов// Технические газы. — 2009.  
— № 2. — С. 48-55.
27. **Рубан А.Г.** Международный опыт обновления газо-  
баллонного парка производителей технических газов// Тех-  
нические газы. — 2009. — № 6. — С. 54-63.
28. **Воронин И.Б.** Особенности и характеристики трёх-  
осного полуприцепа для хранения и перевозки криопродук-  
тов// Технические газы. — 2008. — № 2. — С. 67-72.
29. **Уткин В.Н.** Высокоэффективные криогенные насо-  
сы для технологий производства и использования техниче-  
ских газов// Технические газы. — 2007. — № 4. — С. 65-69.
30. **Павлов Н.В., Чадымов В.А.** Использование совре-  
менных комплектующих и материалов при создании крио-  
генного оборудования для газовых технологий// Технические  
газы. — 2009. — № 6. — С. 32-35.
31. **Павлов Н.В., Бакшт Д.В.** Шаровая арматура для  
управления потоками сред в технологических процессах про-  
изводства и использования технических газов// Технические  
газы. — 2009. — № 3. — С. 58-64.
32. **Бондаренко В.Л., Лосяков Н.П., Симоненко**  
**Ю.М.** Промышленное применение вихревых и пульсацион-  
ных охладителей в технологиях извлечения редких газов//  
Технические газы. — 2009. — № 5. — С. 50-58.
33. Конденсационные системы обогащения Ne-Ne сме-  
си и опыт их использования на Нижнетагильском металлур-  
гическом комбинате/ **В.Л. Бондаренко, А.А. Лущик, А.Г.**  
**Андреев, Т.В. Дьяченко**// Технические газы. — 2009. —  
№ 6. — С. 66-70.
34. **Вассерман А.А.** Аналитическое описание теплофи-  
зических свойств воздуха и его компонентов и составление  
таблиц справочных данных// Технические газы. — 2009. —  
№ 6. — С. 43-53.
35. **Вассерман А.А., Мальчевский В.П.** Банки данных  
и автоматизированные информационные системы по тепло-  
физическим свойствам газов и жидкостей// Технические га-  
зы. — 2009. — № 5. — С. 59-66.
36. **Лавренченко Г.К.** Сокровища атмосферы: как и ко-  
му их «добывать» и как эффективно использовать// Техни-  
ческие газы. — 2003. — № 2. — С. 2-8.