

УДК 621.56

Развитие криологии в Московском региональном отделении МАХ

Академик МАХ, д-р техн. наук, проф. А.М. АРХАРОВ,
заслуженный деятель науки и техники РФ, председатель Московского регионального отделения МАХ,
Почетный член Международного института холода,
заведующий кафедрой МГТУ им. Н.Э. Баумана



Ретроспективный взгляд в недавно закончившееся XX столетие отчетливо обнаруживает области науки, техники, технологии и практической деятельности человечества, которые в большой степени зависят от холода и развития техники низких температур. Это производство, хранение и транспортировка продуктов питания; это получение, ожигжение, транспортировка и использование промышленных и природных газов и продуктов разделения воздуха; это климатехника и жизнеобеспечение; это медицина и экология; это разнообразные области научного поиска и исследований в энергетике, электронике, физике, химии, металлургии, транспортной технике, авиации, космонавтике, биологии и в других сферах. Сегодня сформировалась огромная и исключительно важная область научно-практической и коммерческой деятельности – криология. Использование низких температур в традиционных и новых областях техники и технологий постоянно увеличивается.

Только в Москве функционирует более 600 предприятий этого профиля. Многие из них, такие, как «Криогенмаш», «Гелиймаш», НИИХиммаш, «ВНИИХолодмаш-Холдинг», ВНИИХиммаш, «Наука», широко известны в мире. Сейчас появилось много новых, молодых, но уже авторитетных фирм: «Остров», «Хром», «Криосервис», «Скатен», «Эйкул», «Термокул», «Энси», «Рефко», «Веза», «Атек», «Химхолодсервис», «Газхолодтехника», «Хамилтон-наука» и др. Этому в значительной мере способствовали конъюнктура внутреннего рынка и высококвалифицированные кадры, подготовленные в ведущих московских вузах: МГТУ им. Н.Э. Баумана (ректор И.Б. Федоров), МЭИ (ректор Е.В. Аметистов), МГУИЭ (ректор М.Б. Генералов), МГУПБ (ректор И.А. Розов).

В данной статье рассказывается о некоторых разработках, выполненных в Московском региональном отделении МАХ за последние годы, которые имеют, по мнению автора, существенное значение.

В ОАО «Криогенмаш» (генеральный директор Ю.В. Горбатский) создана воздухоразделительная установка (ВРУ) нового поколения КАА_р-30М, ее монтаж и ввод в эксплуатацию осуществлены на Новолипецком металлургическом комбинате. Производительность установки 34 тыс. Нм³/ч технического кислорода, 40 тыс. Нм³/ч азота и 1000 Нм³/ч аргона. Предусмотрено извлечение Kr-Xe, Ne-He-смесей и жидкого кислорода. Сушка и очистка воздуха осуществляются в блоках комплексной очистки (БКО), выполненных по двухслойной схеме (цеолит NaX-Алюмогель). Предварительное охлаждение воздуха перед БКО до температуры 5 °С осуществляется пятью холодильными машинами с суммарной мощностью привода 1000 кВт. Идеология создания ВРУ такого класса начала формироваться в конце 80-х годов еще при жизни генерального конструктора В.П. Белякова.

В последнее десятилетие «Криогенмаш» создал типоразмерный ряд ВРУ малой и средней производительности с учетом спроса на российском рынке. Уже построены и работают на Московском нефтеперерабатывающем заводе, Ново-Уренгойском газохимическом комбинате, Бухарском нефтеперерабатывающем заводе и в других регионах установки АА_ж-0,65; АА_ж-1,2; АА_ж-5; АА_ж-7 (7 тыс. Нм³N₂/ч). Разработана и построена система заправки кислородом (рис.1) для международного стартового комплекса морского базирования (SEA Launch). В Индию поставлена система обеспечения криогенного разгонного блока ISRO (Center SHAR). В числе небольших, но весьма принципиальных и важных разработок следует отметить со-

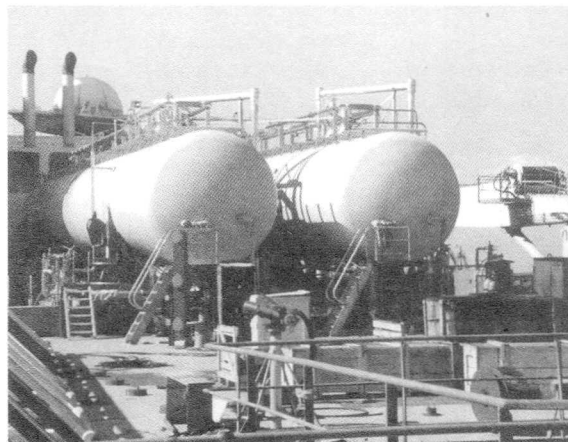


Рис.1. Система заправки кислородом для международного стартового комплекса морского базирования (ОАО «Криогенмаш»)

здание трубопровода для жидкого гелия, характеристики которого оказались рекордно высокими по сравнению с подобными трубопроводами известных западных фирм.

В соответствии с постановлением Правительства Москвы №787-ПП от 08.08. 2000 г. в ОАО «Криогенмаш» в течение 2001 – 2002 гг. создавались генератор озона и система охлаждения воды, входящие в состав озонаторной установки большой производительности (25...50 кг/ч озона) в модульно-контейнерном исполнении для систем централизованного водоснабжения Москвы. Этим количеством озона можно обработать более 500 тыс. м³ воды в сутки. В 2001 г. были спроектированы и изготовлены генератор озона (патент 2046753 РФ) и система охлаждения воды для него. В 2002 г. осуществлены монтаж оборудования и пусконаладочные работы, которые позволили обеспечить проектные параметры по количеству генерируемого озона (50 кг/ч озона при работе на рабочем газе – кислороде и 25 кг/ч озона при работе на рабочем газе – воздухе) и по устойчивому получению температуры охлаждающей воды на уровне 5...6 °С при переменной нагрузке генератора озона. Испытания показали целесообразность создания озонаторных установок в модульно-контейнерном исполнении полной заводской готовности (входящих в установку модулей) без необходимости строительства капитальных сооружений (за исключением контактных бассейнов-реакторов).

Таким образом, в России впервые создана крупная озонаторная установка с использованием лучших отечественных разработок. В ее создании участвовали: ГУП «Московский институт теплотехники», ГУП «Всероссийский электротехнический институт», НПО «Автоматика» (Екатеринбург). В процессе разработки генератора озона с пластинчатыми электродами решены многие научно-технические задачи. На рис. 2 показан общий вид генератора озона в контейнере. Следует отметить, что первая небольшая озонаторная установка для бассейна спортивного комплекса была спроектирована, изготовлена и введена в эксплуатацию в МГТУ им. Н.Э. Баумана в середине 90-х годов XX в.

Коллективом ОАО «Гелиймаш» (генеральный директор В.Н. Удуг) в последнем десятилетии существенно

модифицированы ожижители гелия, водорода, метана и созданы специальные установки для тонкой очистки этих газов. Все ожижители имеют высокоэффективные турбодетандеры, в том числе и парожидкостные, разработанные и выпускаемые «Гелиймашем». Наряду с турбодетандерами значительно улучшены характеристики витых теплообменных аппаратов с проволочным оребрением трубок, что позволило создать и предложить покупателям перечень разнообразных криогенных установок. К примеру, производительность гелиевых ожижителей составляет от 40 до 700 л/ч жидкого гелия.

Криогенное гелиевое оборудование было изготовлено для уникального ускорителя – нуклотрона в ОИЯИ (г. Дубна) со сверхпроводящими обмотками магнитов, предназначенного для получения тяжелых ядер и многозарядных ионов. В системе криогенного обеспечения нуклотрона впервые были реализованы новые идеи. Криостатирование сотен сверхпроводящих магнитов было осуществлено параллельной подачей гелия, что обеспечило быстрое охлаждение всей системы. Криостатирование осуществлялось двухфазным потоком гелия. Впервые был введен в эксплуатацию парожидкостный турбодетандер. Эта работа выполнена «Гелиймашем» в сотрудничестве с криогенщиками лаборатории высоких энергий ОИЯИ (руководитель Н.Н. Агапов).

Особо нужно отметить создание водородных турбодетандеров, реализованное в середине 90-х годов, еще при генеральном директоре И.А. Давыденкове и главным конструкторе Г.А. Пересторонине. Столь эффективные и надежные водородные турбодетандеры были созданы в мировой практике криогенного машиностроения впервые и получили самую высокую оценку зарубежных специалистов. На рис. 3 показаны смонтированные блоки с водородными турбодетандерами.

В «Гелиймаше» модернизированы воздухоразделительные установки СКДС-100 и ТКДС-100 в контейнерном исполнении производительностью около 100 кг/ч жидкого кислорода или азота. Существенно улучшены характеристики сосудов для хранения жидких криопродуктов, консервации крови и костного мозга. Для быстрого охлаждения и замораживания продуктов питания и их перевозки в изотермических камерах созданы специальные

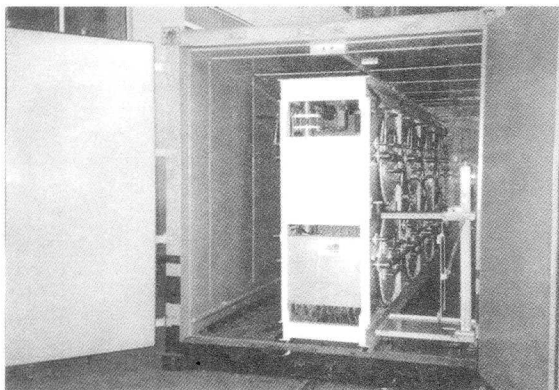


Рис. 2. Генератор озона в контейнере (ОАО «Криогенмаш»)

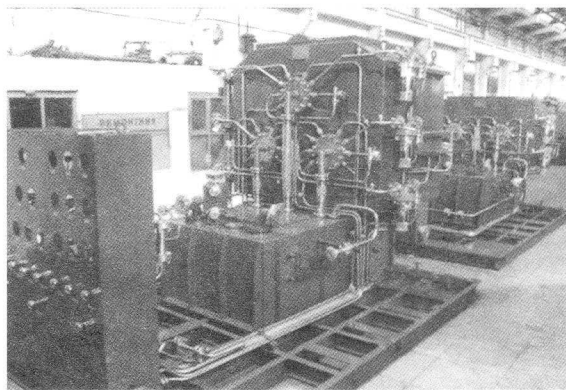


Рис. 3. Готовые блоки с водородными турбодетандерами (ОАО «Гелиймаш»)

установки с распылением жидкого азота.

МГТУ им. Н.Э. Баумана (ректор И.Б. Федоров) совместно с Одесской государственной академией холода (ректор В.В. Притула), предприятиями «Хром» (генеральный директор М.Ю. Савинов), «Айс-блик» и «Олеом» (технический директор В.Л. Бондаренко) разработаны новые технологии и установки по разделению смесей криптона-ксенона и неона-гелия с извлечением продуктов высокой чистоты (99,9999 %). Потребность внутреннего рынка в этих газах полностью удовлетворена. Для увеличения коэффициента извлечения неона впервые применены волновые криогенераторы (ВКГ). Технологии широко используются и способствуют увеличению мирового производства редких газов (рис. 4).

Комплекс работ по созданию медицинской КРИО-СВЧ-аппаратуры и технологии для применения в детской хирургии также выполнен в МГТУ им. Н.Э. Баумана при участии специалистов в области медицинского приборостроения и медицины. Разработанные аппаратура и технологии позволяют эффективно, практически бесследно, удалять опухоли (гемангиомы) у детей. Об актуальности проблемы говорит тот факт, что ежегодно в Москве по этому поводу обращаются в медицинские учреждения более 16 тыс. пациентов. В случае использования КРИО-СВЧ-метода усиливается криодеструкция при предварительном прогреве опу-

холи токами СВЧ, благодаря чему вода выходит из больших клеток через мембраны в межклеточное пространство и, расширяясь при замораживании, существенно снижает кровоток в опухоли. При этом резко увеличивается глубина промерзания опухоли (в 50 раз по объему). Разработаны теоретические основы, методы расчета и проектирования КРИО-СВЧ-аппаратуры, которые обеспечивают оптимальные режимы проведения операций с учетом характеристик и вида опухоли. Результаты этих работ в перспективе могут быть использованы не только в медицинской технике, бескальпельной хирургии, но и в сельском хозяйстве, космонавтике, пищевой промышленности и др.

В числе разработок МГТУ им. Н.Э. Баумана следует отметить СВЧ-системы для диагностики криогенных и некриогенных двухфазных и однофазных потоков. Системы позволяют контролировать массовые расходы, содержание паровой и жидкой фаз, скорости скольжения фаз, концентрации примесей и другие параметры. Такие системы необходимы при заправке криогенным топливом самолетов и автомобилей при криостатировании сверхпроводящих обмоток крупных электромагнитов. В частности, СВЧ-системы использовали в международном эксперименте по программе «QUELL» в Швейцарии. Выполнены фундаментальные исследования процессов тепломассообмена при конденсации и кипении криопродуктов в высокоэффективных аппаратах нового поколения. Разработана безмасляная технология изготовления структурных насадок для насадочных ректификационных колонн.

В 1998 – 1999 гг. разработан, создан и испытан микроожигатель на базе машины Стирлинга производительностью 30...50 г/ч жидкого кислорода или азота.

В Московском медицинском центре «Медкрионика» (главный врач И.С. Чернышов) для лечения наружных и внутренних заболеваний в последние годы широко используются различные криопроцедуры. Здесь

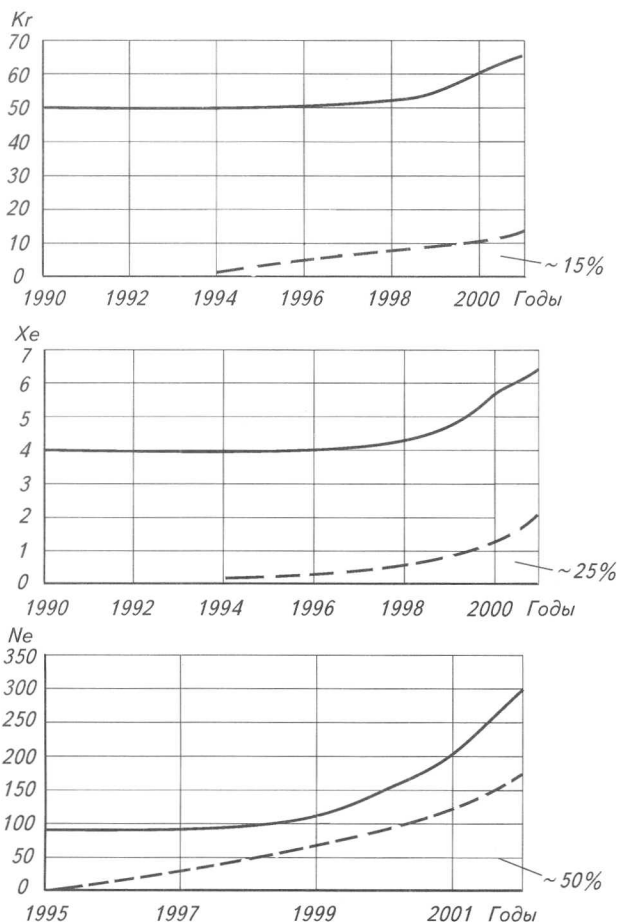


Рис. 4. Мировое производство инертных газов (тыс. м³/год):
 - - - - по технологии «МГТУ– ОГАХ»



Рис. 5. Криосауна Московского медицинского центра «Мед-Крионика»

создана надежная и полностью безопасная установка, получившая название «криосауна» (рис. 5). Применение низких температур открывает новые возможности для лечения и профилактики таких серьезных заболеваний, как инфаркты, инсульты, стрессы, кожные заболевания и др.

В Учебно-научном центре «Криоконсул» при МГТУ им. Н.Э. Баумана разработана криовзрывная технология переработки старых автопокрышек. Эта технология реализуется с помощью взрывоциркулятора, представляющего собой бронеканеру с внешним трубопроводом, которые образуют закольцованную систему, звуко- и газоизолированную от окружающей среды. Под действием взрыва охлажденные покрышки разрушаются, в тракте закольцовки осуществляется круговое многократное движение (циркуляция) потока с ударными волнами и фрагментами разрушенных покрышек. В результате этого процесса образуется резиновая крошка с размером фракций от 0,1 до 10 мм. Покрышки перед взрывоциркулятором можно охлаждать различными способами, но наиболее экономически целесообразным является использование воздушных турбохолодильных машин типа ВХМ, выпускаемых АО «Турбохолод» (генеральный директор В.А. Хетагуров).

Правительством Москвы была поставлена задача по созданию системы для улавливания паров бензина на автозаправочных станциях, которые пока выбрасываются в атмосферу. Фирма «Криосервис» (генеральный директор А.Б. Ленский) ввела недавно в опытную эксплуатацию такую систему, работающую на жидком азоте.

Значительной проблемой является замена некоторых

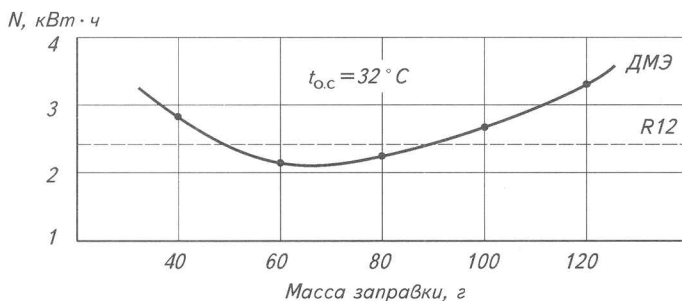
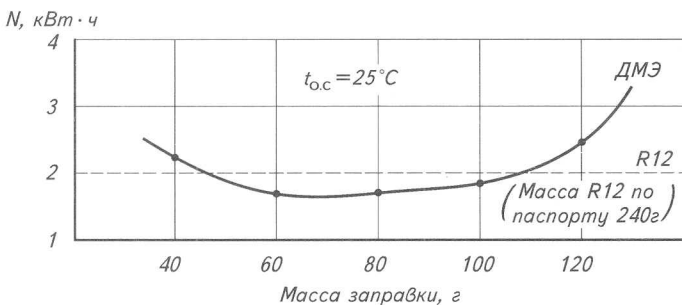


Рис. 6. Суточный расход электроэнергии морозильной камеры «Стинол-106» (при температуре -24°C) на ДМЭ и R12 при различной температуре окружающего воздуха

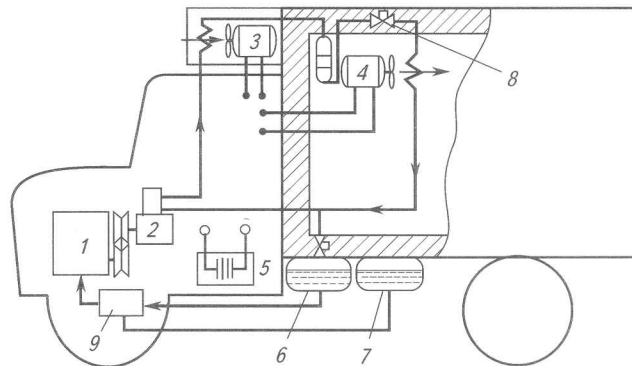


Рис. 7. Компоновка дизельного авторефрижератора (ЗИЛ «Бычок»), использующего ДМЭ в качестве топлива и хладагента (МГТУ им. Н.Э. Баумана): 1 – двигатель автомобиля; 2 – компрессор; 3 – вентилятор и конденсатор; 4 – вентилятор и воздухоохладитель; 5 – аккумулятор автомобиля; 6 – бак с ДМЭ; 7 – бак с ДТ; 8 – ТВР; 9 – система топливного дизеля

хладагентов экологически безопасными, имеющими нулевые потенциалы ODP и WDP. Одним из таких перспективных хладагентов является диметиловый эфир (ДМЭ) $\text{CH}_3-\text{O}-\text{CH}_3$. В МГТУ им. Н.Э. Баумана в лаборатории малых холодильных машин имени проф. А.С. Нуждина построена диаграмма состояний ДМЭ и проведены испытания бытовых холодильников (морозильников) «Стинол-106», заправленных диметиловым эфиром. Экспериментальные данные подтверждают эффективность ДМЭ как хладагента (рис. 6). Необходимо иметь в виду, что ДМЭ может использоваться и как компонент дизельного топлива. В этом случае открывается широкая перспектива применения ДМЭ на холодильном дизельном транспорте и в системах кондиционирования многих видов транспортных средств.

Один из вариантов холодильной установки для термомокузова зилковского «Бычка» разработан в МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 7).

Из приведенных примеров ясно, что решение многих экологических проблем такого мегаполиса, каким является Москва, невозможно без применения методов криологии, и успех здесь в значительной мере определяется конструктивной, масштабной и дальновидной позицией мэра Москвы Ю.М. Лужкова.

Ряд новых разработок выполнен в ОАО «ВНИИХолодмаш-Холдинг» (генеральный директор О.М. Таганцев). Предприятием проведена большая работа по переводу оборудования на экологически безопасные хладагенты. Создан новый специальный компрессор СК-16 холодопроизводительностью 16 кВт (при температуре кипения -15°C). Разработан ряд бессальниковых винтовых компрессоров серии ВБ. Созданы опытные турбокомпрессоры для установок холодопроизводительностью от 20 до 630 кВт при различных температурах кипения, ряд теплонасосных агрегатов на базе новых винтовых компрессоров и гамма судовых холодильных машин IMXMB250 (рис. 8), 3MXMB290 и др.

Для систем кондиционирования предложены оригинальные холодильные установки. Продолжаются рабо-

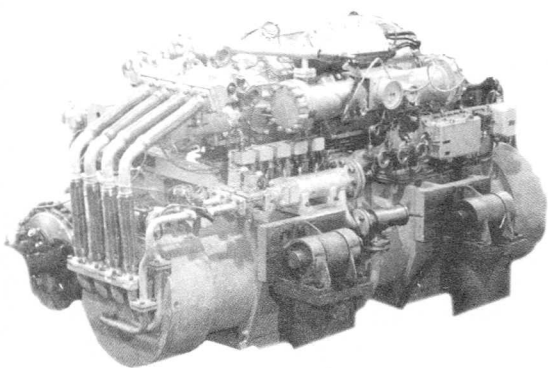


Рис. 8. Новая судовая холодильная машина 1MXMB250 (ОАО «ВНИИХолодмаш-Холдинг»)

ты по совершенствованию абсорбционных бромисто-литиевых машин холодильной мощностью до 6 тыс. кВт, разрабатываются многофункциональные системы управления.

В ФГУП «ВНИИХиммаш» (генеральный директор А.А. Макаров) осуществляются доводочные испытания жидкостных ракетных двигателей КБ «Энергомаш», КБ «Химмаш», КБ «Химвтоматика», которые экспортируются за рубеж. Кроме того, фирмы Франции, Китая, Индии, США, Кореи и других стран обрабатывают на стендовой базе предприятия свои образцы ракетно-космической техники. Во ВНИИХиммаше организовано производство всех криогенных компонентов, включая кислород, водород и неон. Проводятся исследования рабочих процессов в двигателях.

Московскими фирмами «Турборефрижераторы» (директор А.Ш. Кобулашвили) и «Скаген» (директор В.М. Гнилицкий) на базе воздушных циклов созданы скороморозильные аппараты для замораживания рыбы и рыбопродуктов (рис. 9), которые прошли промышленные испытания. Аппараты обеспечивают уникальное

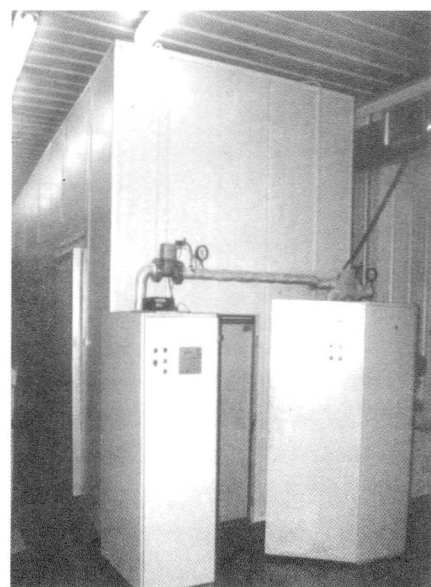


Рис. 9. Скороморозильный аппарат на базе турбовоздушной холодильной машины (фирмы «Турборефрижератор» и «Скаген»)

качество продукции, поскольку начальная температура холодного воздуха в камере составляла $-100...-120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эту технологию следует рекомендовать для более широкого применения. Практически она оказалась в 5 – 6 раз более экономичной по сравнению с системами, работающими на жидком азоте, и в 1,5 – 2 раза более экономичной (вследствие увеличения скорости замораживания) по сравнению с фреоновыми скороморозильными установками.

Активно работает ЗАО «Остров» (генеральный директор Е.К. Уразов). Компания была создана в 1994 г. Сегодня «Остров» – это более 10 тыс. м² производственных площадей, проектно-конструкторское бюро, оснащенное современными системами автоматизированного проектирования (AutoCAD 2002, Pro Engineer Wildfire), собственная испытательная база для отработки производимых систем и проверки характеристик закупаемых и изготавливаемых компонентов. Стабильную и устойчивую работу предприятия обеспечивают более 500 сотрудников головного офиса и 11 технико-коммерческих центров по всей стране. Компанией разработан типовой ряд транспортных установок и систем кондиционирования воздуха холодопроизводительностью от 2 до 30 кВт для кабин машинистов локомотивов и электропоездов, пассажирских железнодорожных вагонов и вагонов-ресторанов. В настоящее время большинство новых отечественных пассажирских вагонов оснащено серийно выпускаемыми в ЗАО «Остров» установками кондиционирования воздуха УКВ-31 холодопроизводительностью 28 кВт (рис. 10).

Начато серийное производство установок УКВ-4,5 холодопроизводительностью 4,5 кВт для кабин машинистов электропоездов. Проходят комплексные испытания в составе вагонов-ресторанов системы кондиционирования воздуха СКВ-26 холодопроизводительностью 26 кВт. Для дооснащения вагонов типа RIC, проходящих капитально-восстановительный ремонт, разработана, изготовлена и передана для испытаний установка кондиционирования воздуха УКВ-31-РИЦ холодопроизводительностью 22 кВт.

Разработан ряд коммерческих и промышленных холодильных установок и систем холодопроизводительностью от 3 кВт до 3 МВт. С использованием лучших отечественных и зарубежных комплектующих изделий ведется серийное производство холодильной техники,

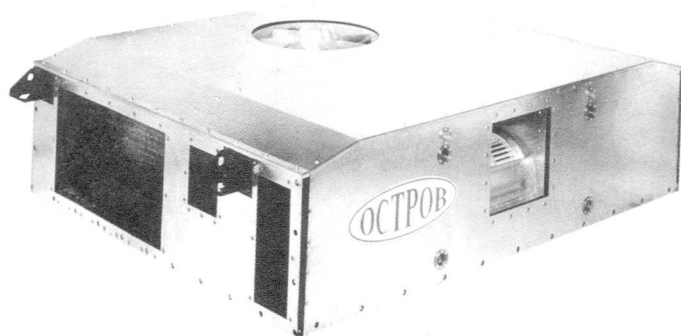


Рис. 10. Железнодорожный кондиционер (ЗАО «Остров»)

отвечающей самым высоким мировым стандартам. Применяемые технологии сборки и заводских испытаний в ряде случаев лучше технологий, используемых на аналогичных зарубежных предприятиях.

Объем выпуска холодильных агрегатов и систем различной производительности для использования в области средних (+5...–5 °С) и низких (–18...–40 °С) температур уже превышает 2000 ед. в год.

В *Московском энергетическом институте* (ректор Е.В.Аметистов) разработан впервые единый универсальный модульный алгоритм, позволяющий проводить анализ сложных вакуумных систем с учетом одновременного размещения в моделируемой структуре множественных распределенных источников и стоков газа различных типов, наличия в моделируемой системе сильных температурных перекосов и нестационарности протекающих процессов, а также взаимного влияния этих факторов друг на друга. С использованием данного алгоритма впервые решен ряд актуальных практических и исследовательских задач. В частности, выполнены комплексный анализ системы откачивания продуктов реакции термоядерного синтеза, анализ влияния микроструктуры (шероховатость, зернистость) реальной поверхности на ее интегральные характеристики и другие проблемы. Впервые разработан и реализован универсальный программный комплекс, позволяющий проектировщику без специальной подготовки самостоятельно проводить комплексный анализ сложных криовакуумных систем. Созданный программный комплекс имеет модульную конструкцию практически с неограниченными возможностями дополнения. Разработана методика расчета характеристик устройств селективного откачивания с учетом влияния образующегося криослоя. Полученный алгоритм позволяет моделировать помимо криослоев формирование различных покрытий в области высокого вакуума. Осуществлены моделирование и анализ структуры криослоя на микроуровне с использованием элементов фрактальной геометрии. Для криовакуумной техники фрактальный рост имеет большое значение при изучении процесса десублимации парогазовой фазы на твердых телах (криопанели насосов и ловушек, криогенные трубопроводы). Образующийся криослой может существенно изменять режим работы этих установок, нарушая их расчетное функционирование.

С использованием методов зондовой микроскопии выполнен цикл исследований по влиянию тритированной атмосферы на топографию поверхности активированных углей, используемых в качестве сорбентов в установках управляемого термоядерного синтеза.

В *Московском государственном университете инженерной экологии – МГУИЭ* (ректор М.Б. Генералов) ведутся исследовательские работы по созданию теплонасосных установок (ТНУ), работающих на диоксиде углерода (CO₂, R744) в качестве рабочего вещества. Это природное, безопасное и дешевое рабо-

чее вещество обладает рядом уникальных свойств, которые могут быть использованы при создании высокоэффективных тепловых насосов (ТН), а именно:

- высокие коэффициенты преобразования достигаются при оптимальном использовании для нагрева теплоносителя в высокотемпературных процессах термодинамического цикла в надкритической области;
- низкий объемный расход диоксида углерода на единицу тепловой энергии (кДж/м³) и высокие коэффициенты теплоотдачи в основных теплообменных аппаратах способствуют снижению массы и габаритных размеров оборудования. Эти факторы позволяют создавать ТН теплопроизводительностью 50 МВт и более в одном агрегате;
- малое отношение давлений в термодинамическом цикле теплового насоса, работающего на CO₂, создает благоприятные условия для эффективной работы компрессоров (особенно центробежных, в крупных ТН);
- возможность использования в ТНУ большой единичной мощности вместо дросселя расширительной машины (детандера) дополнительно повышает их энергетическую эффективность.

К настоящему времени разработана теоретическая часть расчета сверхкритических циклов и теплообменных аппаратов. Создан и исследован макетный образец ТНУ на R744, разработана техническая документация опытного образца ТНУ тепловой мощностью 20 кВт для теплоснабжения и горячего водоснабжения индивидуального дома, который будет изготовлен и испытан в текущем году. Начата разработка эскизного проекта ТНУ тепловой мощностью 50 МВт.

Создан макетный образец теплового насоса тепловой мощностью около 6 кВт, характеристики которого исследованы при работе на R22. В этой машине использованы теплообменные аппараты оригинальной конструкции с трубками, оребренными по технологии, предложенной в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Совместно с сертификационным центром «НАСТХОЛ» создано испытательное стендовое оборудование и проведено исследование систем охлаждения двухкамерного бытового холодильника на различных хладагентах. Подтверждено значительное повышение энергетической эффективности бытовых холодильников при использовании зеотропных смесевых хладагентов с высокой неизотермичностью процессов фазовых превращений.

Разрабатываются системы вакуумно-испарительного охлаждения с применением воды в качестве рабочего вещества и вакуумной генерации водного льда. Создан вакуумно-испарительный молокоохладитель для молочных ферм, охлаждающий от 30 до 4 °С до 300 л/ч молока.

Совместно с ЗАО «Химсинтез» (г. Красноармейск) получен новый экологически чистый хладоноситель «Экофрост», способный выполнять свои функции в диапазоне температур +45...–90 °С. Он представляет

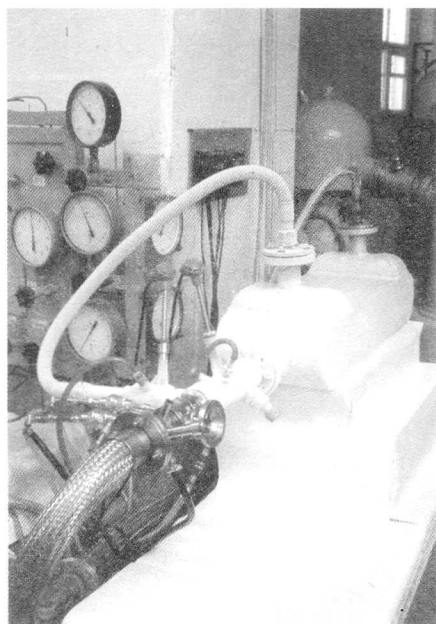


Рис. 11. Воздушная машина для систем теплохолодоснабжения

собой смесь кислородсодержащих органических веществ с добавлением антикоррозионного ингибитора. «Экофрост» превосходит по своим потребительским свойствам традиционные хладоносители, имеет сертификат качества и гигиены. Налажен его промышленный выпуск.

Проводятся исследования по использованию воздуха в качестве рабочего вещества в компрессорно-детандерных системах теплохолодоснабжения. Созданы две машины (рис. 11), работающие от пневмосети давлением 4 бар, позволяющие получить холодный воздух с температурой $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (60 и $120\text{ Нм}^3/\text{ч}$) и горячий воздух с температурой $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ (60 и $120\text{ Нм}^3/\text{ч}$), холодопроизводительностью $1,25$ ($2,5$) кВт, теплопроизводительностью $1,1$ ($2,4$) кВт. В агрегате детандер-тормозная воздуходувка применены газодинамические подшипники. Высокая чистота воздушных потоков позволяет использовать машину в пищевой промышленности, медицине и системах жизнеобеспечения.

Разработана установка сжижения природного газа (УСПГ) производительностью 12 т/сут с привязкой к газораспределительной станции (ГРС) и использованием энергии сжатого газа в магистральном трубопроводе.

Проведены экспериментальные исследования криогранулирования микробиологических жидкофазных систем и разработаны физические и математические модели процесса.

В Московском государственном университете прикладной биотехнологии (ректор И.А. Рогов) выполнен ряд интересных работ в области холодильной техники и технологий. Исследованы процессы инеобразования в электроконвективном воздушном потоке в широком диапазоне значений относительной влажности среды, холодильной обработки сырья биологического происхождения (мясопродукты, фрукты) с помощью электроконвекции; процесс теплообмена в воздушных конденсаторах в электроконвективной среде. Раз-



Рис. 12. Азотный туннельный скороморозильный аппарат АСТА-30

работана криогенная система холодоснабжения газообразным азотом для холодильной обработки пищевых продуктов, реализованная в азотном туннельном скороморозильном аппарате АСТА-30 (рис. 12). Уже выпущена промышленная партия таких аппаратов.

Несмотря на то что в Московском регионе выполняется ряд важных, востребованных работ, переход к рыночной экономике был не безболезненным. Мы многое потеряли, в том числе и опытных специалистов всех профилей, особенно на крупных предприятиях. Потеряны многие важные зарубежные рынки, в то время когда наш собственный рынок активно используют иностранные фирмы. В некоторых областях криологии это естественно и допустимо. Но Россия должна оставаться независимой в развитии стратегически важных областей нашей науки, и особенно – в криогенике! Здесь нужны государственный подход и прямая поддержка крупных предприятий и национальных проектов.

Для расширения и усиления нашего присутствия на рынке необходимы новые идеи, технологии и инженерные решения и особенно высокое качество изделий. По моему убеждению, альтернативы этому нет. Выходу на новые рынки, несомненно, будет способствовать и образование единого экономического пространства Россией, Украиной, Белоруссией и Казахстаном. Однако без серьезных научных исследований и соответствующей подготовки высококвалифицированных специалистов в ведущих вузах эта задача не разрешима.

Опыт ушедшего десятилетия показал, что идея почетного академика – основателя МАХ, д-ра техн. наук, профессора Игоря Игнатьевича Орехова об организации Международной академии холода оказалась результативной. Думаю, что в будущем ее роль в развитии криологии будет, несомненно, усиливаться.

В заключение хочется поблагодарить моих коллег: профессоров А.В. Буторину, Б.С. Бабакина, Б.А. Иванова, И.М. Калнина, С.Б. Нестерова, Н.А. Афанасьева, Ф.М. Позвонкова, Е.Г. Савельева, А.И. Смородина, О.М. Таганцева за дискуссию и помощь в подготовке материалов для этой публикации.