

Д-р техн. наук, проф. **А.М.АРХАРОВ**
Московский государственный
технический университет
им. Н.Э.Баумана

УДК 621.56:621.59

Горизонты криологии

Двадцатый век был особым столетием в развитии цивилизации. Он оставил нам атомное машиностроение, атомную энергетику, реактивную и сверхзвуковую авиацию, ракетно-космическую технику, первые космические и межпланетные полеты, транзисторы, электронику, лазеры, радио, телевидение, радиолокацию, вычислительную технику, автомобилестроение ... он оставил нам холодильную и криогенную технику.

Ретроспективный взгляд в ушедшее столетие отчетливо обнаруживает области науки и технологии, области практической деятельности человечества, которые оказались глубоко зависимы от холода и сопряжены с развитием техники низких температур. Это – хранение и транспортировка продуктов питания; это – производство, ожижение, транспортировка и использование промышленных газов, природных газов и продуктов разделения воздуха; это – климатотехника и жизнеобеспечение; это – медицина и экология; это – разнообразные области научного поиска и исследований в энергетике, физике, химии, авиации, космонавтике, биологии и электронике.

Без сомнения, наша цивилизация понесет эстафету криологии дальше – через новое столетие, а роль низких температур будет постоянно возрастать.

Напомним читателям, что экстремально низкие температуры, полученные в лабораториях, составляют $\sim 10^{-8}$ K в кратковременных режимах и 10^{-3} K в стационарных. При этом область практического использования низких температур начинается примерно только от 0,3 K. (До этой температуры охлаждаются приемные устройства космических радиотелескопов.) Таким образом, средняя температура окружающей среды (~ 300 K) в 1000 раз превышает наименьшую, практически используемую температуру ($\sim 0,3$ K).

Это колоссальное различие! К примеру, в области высоких температур экстремально высокие, практически используемые температуры (~ 6000 K) превышают температуру окружающей среды только в 20 раз! Отсюда понятна специфическая роль теплообменной аппаратуры в технике низких температур, роль тепловой изоляции и роль энтропии, увеличивающиеся с понижением температуры. Поэтому усилия специалистов будут неизбежно сосредоточиваться на повышении эффективности и термодинамического совершенства не только отдельных машин и аппаратов, но и криосистем в целом. Резервы здесь есть. Так, степень термодинамического совершенства гелиевых криогенных установок ($\sim 4,5$ K) достигает только 15 %, воздухоразде-

лительных установок (~ 80 K) – порядка 30 %, а систем охлаждения и хранения пищевых продуктов ($\sim 250...260$ K) – около 40–45 %.

Понятно, что новые поколения холодильников и криогеников, так же как и их предшественники, будут искать и предлагать самые разнообразные методы снижения потерь от необратимости рабочих процессов, или, другими словами, методы уменьшения «производства» энтропии. Однако и в этой области исследований экономическая целесообразность будет оставаться критерием оптимизации. В связи с этим возрастает роль смежных дисциплин и технологий, которые должны будут обеспечить холодильную и криогенную технику новыми конструкционными и теплозащитными материалами, новыми рабочими и смазочными веществами, хладагентами и т.п. Борьба с «производством» энтропии будет продолжаться всеми доступными средствами, так как это экономит энергию.

Интересной проблемой является использование естественного, или природного, холода и обусловленные этим возможности уменьшения энергетических затрат. Дело в том, что на всех континентах, за исключением Австралии, есть криозоны, мерзлые почвы и ледники, природный холод которых может быть достаточно эффективно использован как непосредственно, так и опосредованно. В частности, в России был накоплен большой опыт постройки морозильников в зимнюю стужу, лед в которых сохранялся на протяжении всего теплого периода года. Эта проблема

The paper deals with the main direction of development of cryology the science of refrigeration, methods of its production and practical application. Special attention is given to problems of decrease of energy consumption and reduction of adverse effects on the environment.

заслуживает особого внимания в связи с возможностями теплотрансформации. Представляется вполне реальным, что для хранения продуктов при температуре порядка -25 °C сброс тепловой энергии из цикла термотрансформатора может эффективно осуществляться в естественную холодную среду, например, с температурой около 0 °C. Затраты электроэнергии при этом можно уменьшить почти вдвое. Конечно, общая эффективность будет зависеть от стоимости организации процессов использования естественного холода.

Новые возможности появляются в областях криохирургии и криотерапии в связи с комбинированным применением крио-, СВЧ, лазерных и плазменных воздействий.

Нами было недавно показано, что предварительный прогрев опухоли сверхвысокочастотным магнитным полем увеличивает эффективность последующего криовоздействия в 50 раз по объему. Это открыло новые области в криохирургии, например при лечении крупных гемангиом, методология которого уже с успехом используется в медицинской практике. Поскольку этот эффект связан с поведением внутриклеточной воды при СВЧ-облучении, то подобная методология может оказаться эффективной и в технологиях замораживания продуктов питания, особенно быстрого замораживания, которое обеспечивает сохранение ценных питательных свойств. Уже показано, что повышенная стоимость скороморозильного оборудования и соответствующих холодильных систем экономически может быть окупаемой. Поиски новых технологий в этой области уже активно ведутся и будут продолжаться в обозримом будущем.

Большое значение приобретают работы для медицины, которые направлены на создание мини- и микрокриогенных и холодильных систем. Целевое назначение их – домашнее хранение небольших количеств жидкого кислорода, который является спасительным сред-

*Всемирно известный советский русский ученый, создатель первых криогенных электрогенераторов мощностью до 300 МВт, был зверски избит бандитами в Санкт-Петербурге и умер 11 января 2002 г.

ством для астматиков (снимает спазм дыхания), а также охлаждение небольших групп клеток и даже отдельно взятых клеток того или иного органа. Задел в этой области сделан внушительный, поскольку в последней четверти XX в. активно разрабатывали микросистемы для ракетно-космической техники. Однако со стоимостью таких систем мало считались, что совершенно недопустимо, когда речь идет о бытовом и медицинском их использовании. Поэтому предстоит большая работа по совершенствованию технологий, упрощению и одновременно повышению надежности микрокриогенных систем.

Все шире начинают применять для лечения самых разнообразных наружных и внутренних заболеваний различные криопроцедуры, включая использование так называемых криосаун. В Москве и Санкт-Петербурге уже организованы такие медицинские криотерапевтические центры. Можно прогнозировать их появление не только в других городах, но и на крупных пассажирских морских и речных судах, в спортивных манежах и даже в домах.

Магнитная томография будет несомненно получать все большее распространение. Магнитные системы будут упрощаться и дешеветь, а жидкий гелий постепенно будет замещаться жидким азотом по мере увеличения производства высокотемпературных сверхпроводящих проводов. Медицинская практика выдвигает все новые и новые задачи по созданию самых разнообразных низкотемпературных устройств, в том числе для консервации и транспортировки живых тканей и органов, для их хранения или последующей трансплантации. Большую роль призваны сыграть также сверхпроводящие квантовые интерферометры при исследовании уникальных свойств человеческого организма.

Будет увеличиваться роль низких температур в решении целого ряда проблем экологии и жизнеобеспечения. Например, в крупных городах при быстром увеличении числа бензозаправочных станций должны улавливаться пары бензина, которые пока выбрасываются в атмосферу. Правительство Москвы уже поставило эту задачу, в решении которой низкотемпературные технологии могут быть успешно использованы. Более того, фирма «Криосервис» ввела в опытную эксплуатацию подобную систему, использующую жидкий азот.

Все возрастающее значение имеют проблемы очистки воздуха от радиоактивных изотопов, особенно на заводах по переработке ядерных топлив и на ядерных объектах. Особая роль будет принадлежать системам кондиционирования и динамического отопления, которые базируются, как известно, на тех

же принципах теплотрансформации, что холодильные и криогенные системы. В этой области ожидается создание тепловых насосов, работающих на новых принципах с новыми рабочими веществами.

Даже беглый перечень проблем криологии убеждает в том, что в перспективе неизбежно будут осваиваться, в том числе и коммерчески, новые принципы охлаждения, а также новые способы температурной стратификации газовых потоков. К примеру, простые и надежные пульсационные охладители и вихревые агрегаты уже широко коммерчески применяются. На очереди использование так называемой трубы академика А.И.Леонтьева, реализующей температурную стратификацию газовых потоков с числом Прандтля меньше единицы. Будут все более широко применяться процессы волнового расширения, которые также могут обеспечить режимы температурной стратификации газовых потоков с любыми числами Прандтля. Получат применение гадолиний-галлиевые гранаты и тяжелые редкоземельные металлы и их сплавы в магнитных системах охлаждения, выполненных с использованием высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Будут создаваться более эффективные типы адсорбентов и полупроводников для электрохолодильников. Представляется, что практическое применение найдут и интерметаллиды.

Из перспективных новых хладагентов особое внимание обращает на себя диметиловый эфир, свойства которого обеспечивают характеристики холодильного оборудования, близкие к характеристикам оборудования, работающего еще недавно на самом распространенном хладагенте R12. Особенности диметилового эфира заключаются еще и в том, что он является доступным дешевым дизельным топливом. Поэтому его использование позволит создавать совмещенные системы теплохладозэнергообеспечения в первую очередь на транспортных средствах. Существующие препятствия, связанные с его горючестью, будут в конечном итоге преодолены.

В отношении криогеники – самой низкотемпературной области криологии – можно прогнозировать не столько количественные, сколько качественные изменения. Действительно XX в. дал импульс гигантскому ускорению количественного и качественного развития криогеники. Например, мировое годовое производство кислорода в 2000 г. составило 800 млрд м³, азота – 600 млрд м³, аргона – 700 млн м³. Мощность гелиевых ожижителей достигла 2000... 5000 л/ч, а водородных – 400 000 л/ч. Мощность воздухоразделительных установок ~ 400 000 нм³/ч перерабатыва-

емого воздуха. Сегодня перерабатывается каждый кубический сантиметр из кубометра атмосферы нашей планеты с целью получения продуктов разделения: кислорода, азота, аргона, криптона, ксенона и неона. В 2000 г. годовое мировое производство криптона составило ~ 65 000 нм³ и ксенона 6200 нм³, а неона 300 000 нм³.

Отчетливой тенденцией остается рост производства инертных и редких газов и повышение их чистоты. Сегодня на рынке криопродуктов востребован чистый азот с концентрацией примесей вплоть до нескольких ppb (несколько кубических миллиметров на кубометр газа). Еще недавно количество допустимых примесей составляло 10 ppm. Другими словами, требования по допустимому количеству примесей ужесточились более чем на 3 порядка! Это потребовало создания специальных установок, для чего пришлось приложить огромные усилия, которые увенчались успехом. В связи с ростом производства плоских плазменных телеэкранов резко возрастает спрос на неон высокой чистоты. Прогнозируется увеличение производства неона. Все больший спрос находят изотопы – третий гелий, изотопы неона и азота.

В России проблемным остается вопрос об увеличении производства сжиженного метана и расширении его использования в авиации, на железнодорожном транспорте, в судостроении. Сегодня есть ряд предложений по созданию ожижительных установок и организовано (компания «Лентехгаз», Ленинградская обл.) опытное производство жидкого метана, получаемого при переработке и разделении природного газа.

Помимо метана в обозримой перспективе будет наращиваться и производство жидкого водорода.

Криогеника определяла и будет определять в будущем выполнение крупнейших национальных и международных программ в космонавтике, авиации, энергетике, а также при выполнении крупномасштабных научных физикотехнических исследований.

Объем статьи позволил мне лишь бегло рассмотреть перспективы развития криологии, оставляя в тени многие технические и конструктивные проблемы, реально существующие и стимулирующие новые разработки.

Общая направленность работ в области криологии – упрощение, конструктивное совершенствование и разнообразие оборудования, повышение экономичности, технологичности и надежности при уменьшении затрат и экономии материалов. Думаю, что коллеги сделают важные уточнения и дополнения, и картина в целом окажется более полной.