

Что ждет холодильную технику в XXI веке



Д-р техн. наук **И.М.КАЛНИНЬ**
Московский государственный
университет инженерной экологии

The ways of further development of civilization will determine the scale and forms of application of LTE in future. It is of much importance to appropriately and in due time evaluate the perspectives. This will allow to avoid deadlock ways of LTE development and to choose those directions of LTE that will be much demanding in future.

The scale of use of LTE, as in the earlier time, will be primarily determined by the increase in production and consumption of foods.

The deficiency in energy sources will constantly increase hence, the compromises with respect to the use of energy inefficient systems (methods) of refrigeration will be excluded.

The use of heat using refrigerating systems will be expanded, the use of natural cold will be increased, the use of secondary heat sources, unconventional energy sources, heat pump systems, combined systems of low-temperature power generation will be expanded. There will be no longer a neglecting attitude to «unusual» solutions of heat and cold supply problems that was determined by relatively favorable conditions of the XX century, especially in rich countries. The LTE itself will become the basis and the integral part of fundamentally new methods of energy production. The role of LTE in the solution of global ecological problems will arise.

The application of LTE in protection of environment will increase. In connection with this the use of natural working substances (refrigerants): ammonia, hydrocarbons, carbon dioxide, water, air will predominate.

There will be a higher interest in new environmentally safe and energetically efficient principles of cold production (for example, metal hydrides — hydrogen).

В такое знаковое время, как смена веков, люди невольно оглядываются на прошлое, а оценив его, стремятся сделать прогноз на будущее. Наши коллеги — предшественники в начале XX в., конечно, тоже прогнозировали развитие техники низких температур (ТНТ), которая в то время уже быстро развивалась и которой занималось уже большое число специалистов. Свидетельством тому могут служить создание Международного института холода и проведение в 1908 г. его первого конгресса, а также начало издания научно-технических холодильных журналов, в частности основание в 1912 г. журнала «Холодильное дело» (теперь «Холодильная техника»), юбилей которого мы отметили в этом году.

Уже тогда на страницах журнала обсуждались необходимость и перспективы организации «единой холодильной цепи» для продовольствия, которая по настоящему стала формироваться лишь во второй половине столетия, а у нас до конца так еще и не реализовалась. В данном случае действительность не опередила прогноз. Однако наши уважаемые предшественники, безусловно, не могли предвидеть, в какой степени ТНТ проникнет во все сферы деятельности людей во второй половине века и какую определяющую роль она будет играть для существования и развития цивилизации. Нарастание темпов развития затрудняет долгосрочное прогнозирование. Если в прошлом веке прогнозируемый период составлял полвека, в новом столетии он, вероятно, сократится до одной трети или четверти века.

Оглядываясь назад, можно остановиться на таком ярком примере, безусловно, не укладывавшегося в рамки прогноза, каким стало создание и распространение бытовых холодильников. Энергетическая система, состоящая из комплекса машин и аппаратов и работающая без наблюдения в течение 15–20 лет, справедливо может считаться чудом техники. Именно в этой области впервые были введены полная автоматизация работы, агрегатирование и монтаж на заводе-изготовителе, герметизация компрессоров, высокие частоты вращения и, наконец, переход на невзрывоопасные и нетоксичные холо-

дильные агенты — фреоны. История завоевания мира этой техникой проста и фантастична: если в 1910 г. XX в. мировой выпуск во всем мире составлял 1 тыс. бытовых холодильников (в США, Англии и Германии), то в 1940 г. — уже 4 млн шт. (США, Западная Европа), в 1950 г. — 7 млн шт. (включились СССР и страны Азии), в 1990 г. — 50 млн шт., сейчас, по-видимому, 65–70 млн шт.

Мировой парк действующей холодильной техники всех видов по прогнозу приближается к 1 млрд единиц. Характерно, что при очень широком диапазоне применения технологии низких температур практически всегда направлены на жизнеобеспечение людей и решение экологических задач, как правило, одновременно выполняя и ресурсосберегающую, и защитную функции (табл. 1).

Прогнозировать развитие ТНТ в новом столетии совершенно необходимо: если своевременно и правильно оценить перспективы, то это позволит избежать тупиковых путей развития и сделать ставку на те направления, которые будут востребованы, а главное — не отстать в техническом прогрессе. Представляется, что квалифицированные рекомендации должны доводиться МАХ до властных структур, так как известно, что во многих случаях средства расходуются на неэффективные технические решения с подачи малокомпетентных или недобросовестных лиц в организациях. Кроме того, не всегда оптимально нас ориентируют и зарубежные поставщики холодильного и технологического оборудования.

Можно предположить, что основными факторами, определяющими пути развития холодильной техники, будут:

- рост численности населения Земли и выравнивание уровня потребления (прежде всего продовольствия) развитых и развивающихся стран, различных слоев населения;
- нарастающий дефицит энергоносителей;
- проблемы экологии.

РОСТ ПОТРЕБЛЕНИЯ

Масштабы применения ТНТ в основном, как и раньше, будут определяться ростом производства и потребления

Снаб
• Неп
сокр

Н
мо
мя
ро
ло

Очи
• Оч
• Оч
• Ул
• И
ком
• Оч
• Ут

Иск
• С
нир
> а
> ц
стве
> тр
ваго
> б
апп
бро

продов
населен
человек
вил 3,7
роста б
около 8
риод
зирует
ния: в
средне
2050 г.
3 млрд
Земли
рост на
нах в н
витых
ставил
и 0,26
Сейч
4,5 мл
требу
ревозя
личны

Таблица 1

Жизненно важные сферы применения техники низких температур

Снабжение продовольствием

• Непрерывная холодильная цепь (НХЦ), обеспечивающая сокращение потерь и сохранение качества продуктов при:

- сборе (производстве);
- обработке;
- транспортировке;
- хранении и реализации.

НХЦ включает:

- технологии холодильного хранения, охлаждения, замораживания и размораживания, сублимации, сушки мяса, рыбы, фруктов, ягод, зерна;
- охлаждаемые хранилища и камеры;
- холодильный транспорт — автомобильный, железнодорожный, морской, контейнерный;
- бытовые холодильные приборы;
- холодогенерирующее и холодопотребляющее технологическое оборудование.

Энергетика

• Тепловые насосы (ТН), использующие для теплоснабжения теплоту окружающей среды и тепловые отходы, потребляя в 1,5–2,0 раза меньше первичной энергии, чем при прямом сжигании топлива.

• Установки сжижения водорода и природного газа для их применения в качестве экологически чистого моторного топлива.

• Системы охлаждения сверхпроводящих материалов (30...40 К и 70...90 К) для электрических машин нового поколения.

• Криосистемы, обеспечивающие охлаждение на уровне 3,6... 80 К, для создаваемых экологически чистых установок термоядерного синтеза (энергетика XXI в.).

Очистка и утилизация выбросов

- Очистка газовых потоков методами конденсации, вымораживания, криосорбции от вредных примесей.
- Очистка воздуха криометодами от радиоактивных продуктов на АЭС и при переработке отходов ядерного топлива.
- Улавливание паров углеводородов из паровоздушной смеси.
- Извлечение из газообразных выбросов нефтеперерабатывающих заводов редких газов, дейтерия и других полезных компонентов криогенными методами.
- Очистка сточных вод методами озонирования и вымораживания.
- Утилизация твердых отходов путем их глубокого охлаждения и последующего измельчения.

Искусственный климат

• Системы комфортного и технологического кондиционирования воздуха (СКВ):

- автономные СКВ для квартир, коттеджей;
- централизованные СКВ для общественных и производственных зданий;
- транспортные СКВ для автомобилей, железнодорожных вагонов, самолетов, судов;
- бортовые системы жизнеобеспечения для космических аппаратов, высотных самолетов, подводных лодок, бронетанковой техники.

Криомедицина и криобиология

- Криоинструменты для:
 - криохирургии;
 - криотерапии;
 - криокосметики.
- Низкотемпературные установки для консервации
 - крови;
 - генетического материала;
 - костного мозга;
 - спермы;
 - медицинских препаратов.
- Криобанки для хранения биоматериалов.

продовольствия. В 2000 г. численность населения Земли достигла почти 6 млрд человек. С 1950 по 2000 г. прирост составил 3,7 млрд человек, т. е. средний темп роста был 74 млн чел/год, а наивысший — около 85 млн чел/год — пришелся на период 1985–1990 гг. В будущем прогнозируется снижение темпа роста населения: в 2000–2050 гг. он будет равен в среднем 58 млн чел/год. Тем не менее к 2050 г. прирост населения составит еще 1 млрд человек, а общее число жителей Земли достигнет 9 млрд человек. Прирост населения в развивающихся странах в несколько раз больше, чем в развитых странах: за 1995–2000 гг. он составил в среднем соответственно 1,65 и 0,26 % в год [5].

Сейчас из производимых в мире в год 1,5 млрд т продовольствия 1,5 млрд т требуют охлаждения и около 40 млн т перевозятся на дальние расстояния различными видами холодильного транс-

порта. Очевидно, эти цифры будут расти с ростом численности населения и увеличением потребления продовольствия.

За последние 30 лет XX столетия потребление продовольствия на душу населения возросло на 15 % (с 9940 кДж на человека в день до 11380 кДж). Постепенно снижается доля недоедающих (голодающих) людей: с 25 % в середине прошлого века до 15 % в настоящее время и предположительно до 5 % к 2015 г. [6].

Перечисленные тенденции приведут к росту масштабов применения низкотемпературной техники, а следовательно, к увеличению материальных затрат на ее производство и эксплуатацию; затрат энергии на производство холода; объемов глобальных перебросок продовольствия; численности контингента работников, обслуживающих отрасль. Все это обострит проблемы энергетики и экологии.

ДЕФИЦИТ ЭНЕРГИИ

Дефицит энергоносителей (органического топлива) будет постоянно нарастать и к середине XXI в. может стать критическим, если не будут найдены принципиально новые способы получения энергии. Вследствие этого будут исключены компромиссы в отношении использования энергетически неэффективных способов охлаждения (например, воздушных холодильных машин в диапазоне температур охлаждения выше -60°C). Неизбежное удорожание энергоносителей вызовет перераспределение стоимостных соотношений составляющих материальных затрат, что изменит существующие представления об экономических и неэкономических способах охлаждения и отопления.

Расширится применение теплоиспользующих холодильных систем: сорбционных термотрансформаторов, компрессионных машин с приводом от тепловых

двигателей и др., поскольку они будут обеспечивать более высокую степень использования первичной энергии.

Возрастет использование естественного холода: наружного воздуха, аккумулярованного льда, соляных прудов для аккумуляции холода зимой и тепла летом и др.

Расширится применение вторичных тепловых ресурсов, нетрадиционных источников энергии, теплонасосных систем, комбинированных систем низкотемпературной энергетики.

Потребуется приспособление технологии потребления тепла и холода к оптимальным условиям их получения: новые подходы к выбору уровней температур охлаждения и отопления, одновременная выработка холода и тепла, использование ночных льготных тарифов на электроэнергию и др.

Прекратится пренебрежительное отношение к «неудобным» решениям теплохолодоснабжения, обусловленное относительно благополучным XX в., особенно в богатых странах. Сама ТНТ станет основной и неотъемлемой частью принципиально новых способов выработки энергии.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ

Возрастет роль ТНТ в решении экологических проблем Земли, среди которых основной будет проблема глобального потепления (парниковый эффект). Кроме того, расширится применение ТНТ в деле защиты окружающей среды: очистка выбросов и извлечение из них ценных компонентов, создание искусственного климата. Проблема разрушения озонового слоя уже ушла на второй план, так как не идет ни в какое сравнение с проблемой парникового эффекта и даже вступает с ней в противоречие. Установлено, что за предыдущие сто лет среднегодовая температура на земном шаре повысилась на 0,6 К (данные IPCC — Межправительственного комитета по изменению климата). Следствием этого стали таяние полярных льдов и другие явления (так, Исландия уже потеряла 250 км³ льда). Прогноз этого процесса по

четырем возможным сценариям развития цивилизации дал угрожающие результаты: рост среднегодовой температуры к 2050 г. составит 1,8...2,6 К, а к 2100 г. — 3,0...6,0 К. Основной «вклад» в этот процесс (75–85 %) вносит диоксид углерода CO₂, образующийся преимущественно в результате сжигания топлива. Остальные 15–25 % (табл. 2) приходятся (примерно в равных соотношениях) на долю других парниковых газов, в том числе фреонов [4]. Когда эти результаты будут осознаны международным сообществом, можно ожидать сильного давления на промышленность с целью сокращения выбросов парниковых газов. В связи с этим будет расширяться применение природных рабочих веществ: аммиак, углеводороды, диоксид углерода, вода, воздух. Потребуется более здравый подход к требованиям по безопасности их применения с учетом новых технических достижений.

Ужесточатся требования к энергетической эффективности, так как перерасход энергии — это дополнительная эмиссия диоксида углерода в атмосферу.

Повысится интерес к новым экологически безопасным и энергетически эффективным принципам получения холода, например сорбционным металлгидридным системам. Можно ожидать нового витка развития термоэлектрических охладителей с использованием принципиально новых полупроводниковых материалов, а также практического применения охладителей, использующих электрокалорический эффект.

Парокомпрессионным машинам тем не менее можно предсказать долгий век. Однако и они могут существенно измениться, прежде всего, в связи с переходом на природные хладагенты (например на диоксид углерода).

Перспективным представляется создание машин без циркуляции масла в системе. С помощью центробежных компрессоров и некоторых типов компрессоров ротативного типа уже сегодня вполне реально обеспечить «сухое сжатие» и достаточную долговечность

машин. Снятие проблем подбора масел, совместимых с хладагентом; организации беспрепятственной циркуляции масла в контуре холодильных машин; влияния примеси масла в хладагенте на интенсивность теплоотдачи в аппаратах и др. трудно переоценить.

В парокомпрессионных машинах доминировать будут интенсивные компактные теплообменные аппараты малой емкостью по хладагенту. Можно ожидать применения принципиально новых способов компримирования. Например, в малых холодильных машинах (бытовых холодильниках) может найти применение электрогазодинамический компрессор без движущихся частей.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ РАБОЧИХ ВЕЩЕСТВ

Переход на природные хладагенты — вынужденный процесс, который должен поощряться государством, поскольку именно оно несет ответственность за объем эмиссии парниковых газов. Универсальными природными хладагентами являются углеводороды и аммиак, а также диметиловый эфир [2] (диоксид углерода, воздух и вода могут решать только частные задачи).

Применение природных рабочих веществ должно решать не только экологические проблемы, но и повысить уровень энергоэффективности холодильных машин и тепловых насосов.

В Западной Европе в малых холодильных машинах, прежде всего в бытовых холодильниках и тепловых насосах, уже находят применение углеводородные хладагенты (пропан, бутан, изобутан), объем заправки которыми ограничивается 5 кг [7]. Это направление безусловно будет развиваться (несмотря на горючесть и взрывоопасность углеводородов), так как их применение обеспечивает высокую энергетическую эффективность машин.

Особого внимания требует расширение применения аммиака. Аммиак по сравнению с углеводородами менее опасен. При нулевых потенциалах разрушения озона и глобального потепления он

- легче воздуха (при утечке поднимается вверх, уменьшая опасность отравления);
- имеет запах (легко обнаруживается при утечке);
- обладает высокой теплотой парообразования (при утечке из сосуда с жид-

Относительная активность парниковых газов

Таблица 2

Диоксид углерода	CO ₂	1
Метан	CH ₄	30
Закись азота	NO ₂	200
Гидрофторуглеводороды (HFC)		7500
Перфторуглеводороды (FC)		22000

аммиаком давление в нем быстро снижается до атмосферного и утечка прекращается);

• воспламеняется при 650 °С, но для воспламенения требуется значительный подвод теплоты.

При этом аммиак как хладагент обеспечивает высокую энергетическую эффективность производства холода. Аммиак, который во второй половине XX в. устойчиво вытеснялся фреонами и стал делом почти исключительно крупных промышленных установок, возвращает в малые холодильные машины (прежде всего в торговле). Европа этот этап уже прошла.

В 1996 г. автором данной статьи опубликован обзор и анализ европейского опыта в этой области [3]. Проблема была решена путем применения современных технических решений (герметичные коих, оборудование с малой заправкой хладагента, сигнализация, системы эвакуации аммиака, качество изготовления (эксплуатации) и разумных, обоснованных требований безопасности. Необходимо расширить путь для широкого применения аммиачных холодильных машин в России в ближайшие 20 лет.

Должны быть созданы такие технологические, экономические и правовые условия, чтобы предприятия хотели и могли выпускать аммиачные машины высокого технического уровня, а потребители хотели и могли их применять. Принятые в 1999 г. «Правила устройства безопасной эксплуатации аммиачных холодильных установок ПБ-09-220-98» не способствуют такому подходу. Правила имеют множество недоработок, которые при всем нежелании рано или поздно придется устранить. Формулировка п. 1.1.2 Правил (требования к оборудованию) — «создаваемое оборудование должно отвечать требованиям «Общих правил взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», соответствующих ГОСТов и другой нормативной документации» — с точки зрения мировой практики нелепа. В условиях, когда «и другая нормативная документация» не упоминается, создается непредсказуемое поле возможных требований. Документ способствует обюрокрачиванию системы надзора, что затрудняет и может отбить охоту изготавливать и использовать отечественное аммиачное холодильное оборудование. Так, пред-

приятие, имеющее лицензию на разработку и изготовление аммиачного холодильного оборудования, должно испрашивать у инспектирующей инстанции еще и разрешение на изготовление опытного образца машины. В документе нет разделения требований к холодильным установкам и к автономным холодильным машинам полной заводской готовности, в том числе малым машинам, производство и применение которых будут расширяться. Необходимо срочно ввести специальный раздел по малым холодильным машинам в действующие Правила либо издать для них отдельные Правила. Коренному пересмотру для этой категории машин подлежат требования: к зданиям и помещениям; системам контроля (электрооборудование и приборы); предохранительным устройствам; размещению.

Думается, что эти вопросы было бы целесообразно обсудить на страницах журнала «Холодильная техника».

Применению диоксида углерода (R744) в качестве рабочего вещества холодильных машин и тепловых насосов, а также вторичного теплоносителя в низкотемпературных холодильных установках уделяется в мире пристальное внимание в первую очередь из-за абсолютной безопасности этого вещества (если не учитывать высокие рабочие давления в системах).

Проведенные в последние годы исследовательские и конструкторские работы позволили перейти к практическому изготовлению установок на диоксиде углерода. Уникальность этих машин состоит в том, что для них не может быть использовано существующее базовое холодильное оборудование — компрессоры, теплообменные аппараты и др., а должно быть создано новое. Основная проблема состоит в обеспечении достаточной энергетической эффективности. В цикле холодильной машины на R744 чрезвычайно трудно компенсировать перерасход затрачиваемой работы, связанный с надкритическим протеканием процесса охлаждения сжатого газа. Тем не менее с учетом безвредности эмиссии R744 в атмосферу намечается его применение в таком массовом оборудовании, как автомобильные кондиционеры. Можно ожидать широкого применения диоксида углерода и в тепловых насосах. При соответствующем выборе параметров нагреваемой среды и оптимизации других параметров цикла тепло-

вого насоса (ТН) на CO₂ может быть обеспечена более высокая энергетическая эффективность, чем у фреоновых (углеводородных) ТН.

Вопросы эффективного применения воздуха в качестве рабочего вещества исчерпывающе рассмотрены в [1]. Область использования воздушных холодильных машин в основном ограничена температурами охлаждения ниже -80 °С.

Вода как рабочее вещество эффективно используется в абсорбционных бромистолитиевых холодильных машинах и тепловых насосах, востребованность которых будет возрастать. Перспективным представляется создание и применение водяных вакуум-испарительных систем охлаждения и генерации водного льда.

Развитие ТНТ может привести и к другим непредсказуемым поворотам, особенно за пределами первой четверти XXI в. Но неуклонное распространение и рост значения техники низких температур можно прогнозировать безошибочно и на длительный срок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродянский В.М., Калнинь И.М., Серова Е.Н. Сопоставление эффективности пароконденсационных и воздушных холодильных машин // Холодильная техника. 1999. № 11, 12.
2. Диметилэфир — топливо и хладагент для дизельных авторефрижераторов / В.Н. Богаченко, С.Д. Глухов, А.А. Жердев, А.В. Поляков // Вестник МГТУ. Специальный выпуск. Серия Машиностроение, 2000.
3. Калнинь И.М. Расширение области применения аммиачных холодильных машин // Холодильная техника. 1996. № 5.
4. Ларин И.К. О парниковом эффекте, климатических прогнозах и влиянии химии атмосферы на климат // Химия и жизнь. 2001. № 7.
5. Billiard F. New developments in the food cold chain worldwide // 20th Int. Congress of Refrigeration, IIR/IF, Sydney, 1999.
6. Kaminski W. Refrigeration and the food industry in the threshold of the 21st century // 20th Int. Congress of Refrigeration, IIR/IF, Sydney, 1999.
7. Peter Baz, Klaus Meyersen, Dirk Legatis. Hydrocarbon technology. The use of hydrocarbons as foaming agents and refrigerants in household refrigeration. Facts. Figures. Findings. Futures. // Yearbook 1995. Eschbom. 1995.