

Без использования минусовых температур промышленное пищевое производство было бы невозможным. Но уж больно дорогостоящим является получение промышленного холода, поэтому ох как необходимо найти пути экономии при его выработке на предприятиях. Чтобы оценить эффективность процессов охлаждения, попробуем разобрать проблему под необычным углом зрения, посмотрев прежде в телескоп. Почему в телескоп? Да по той причине, что в микроскопы уже рассмотрены все мелочи холодильных систем, а для охвата очевидных крупных и очень крупных явлений в хладоснабжении необходим инструмент, обеспечивающий обзор больших пространств.



ХОЛОДИЛЬНЫЕ СТРАДАНИЯ

NATURA ХОЛОДА

Чтобы не путаться в понятиях, определим терминологию, которая наиболее адекватно отражает природную суть холода. Начнем со взгляда поздним вечером в ясное небо с единственной целью — сопоставить объемы, занимаемые пустым пространством и сияющими в темноте звездами. Испускающие тепло и свет звезды будут лишь вкраплениями в необозримое пространство с температурой около абсолютного нуля по Кельвину, то есть -273°C . Если верить расчетам астрономов и поделить определенную ими суммарную массу звезд и планет на объем межзвездного пространства, получим любопытный результат: в одном кубическом метре пространства расположится лишь один атом водорода. Указанный атом, даже сильно разогретый, на тепловой баланс кубометра не влияет. Другими словами, Вселенной (т. е. самой природе, по-латыни это *Natura*) в первую очередь присуще состояние холода, а тепло звезд — пустяк, незначительные точечные энергетические флуктуации. Именно по этой причине у физика Р.Клаузиуса в 1865 году родился термин «энтропия» как характеристика меры неопределенности, а за понятием эн-

тропии — не подтвердившаяся теория тепловой (а не холодной!) смерти Вселенной с самопроизвольным всеобщим снижением температуры до абсолютного нуля.

Технико-технологические инженерные схемы наглядно демонстрируют: чем ближе применяемый процесс к природным параметрам и явлениям, тем он в итоге экономичнее и жизнеспособнее. Природа мудрее нас и ненавязчиво подсказывает верные жизненные пути. Давайте посмотрим, какая техническая команда занимается отъемом тепла на вполне законных основаниях.

ХОЛОДИЛЬНЫЙ КВАРТЕТ ИГРАЕТ ЗА ОЧЕНЬ БОЛЬШИЕ ДЕНЬГИ

Тогда как космическое пространство под завязку заполнено дармовым высококачественным холодом, на поверхности Земли промышленный холод представляет собой дорогое удовольствие — в среднем в 6 раз дороже такой же по величине тепловой гигакалории. Далее на логарифмическом графике будет показано, почему это происходит. Специальный «квартет» из технических устройств за потраченные на них большие деньги играет по обратному циклу Карно свою однооб-

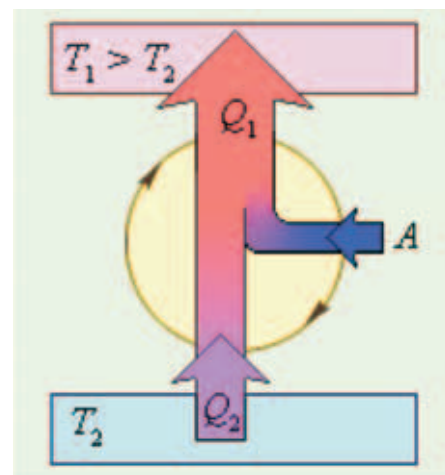


Рис. 1. Схема холодильного цикла

разную мелодию, что хорошо видно на Рис. 1, где небесно-голубой прямоугольник символизирует исходный обрабатываемый продукт. В этой схеме такие «действующие лица»:

Испаритель темно-лилового цвета — разбойник, находящийся в определенном месте цикла, на схеме — внизу. Он без жалости отнимает тепло Q_2 у всего, что соприкасается с ним, а затем передает его с низким потенциалом силовую — компрессору. Если



же теплопритоки на испаритель сильно уменьшатся (произошло полное охлаждение продуктов до температуры ниже T_2), то и количество пара в испарителе будет практически отсутствовать. Следовательно, в равновесных условиях компрессору передать нечего.

Компрессор (либо эжектор, абсорбционная установка) обозначен желтым кругом — побудитель, движущая сила всего цикла. Он забирает пары низкопотенциального тепла из испарителя, беспощадно давит (либо греет) — и у них поднимается температура выше, чем в окружающей среде, что показано красным цветом паров со стрелкой вверх. Без заметного температурного перепада система неработоспособна. Но для того, чтобы движущая сила успешно справлялась с данной функцией, к ней следует приложить силу или тепло извне, конкретнее — электроэнергию (или тепловую мощность) «А» по синей стрелке. Грубо говоря, теплоотбор происходит лишь с применением посторонней силы, почему цикл и назван обратным.

Конденсатор — главный транжира и мот (прямоугольник сиреневой окраски). На него давят горячие пары хладагента, преодолевая гидравлическое сопротивление, а он в отместку выбрасывает в окружающую среду все тепло $Q_1 = Q_2 + A$ с гашением энергии, полученной в сумме от испарителя и компрессора, превращая при этом весь большой объем пара в малый объем жидкости хладагента. Да еще для своей собственной работы требует дополнительных затрат энергии: кто же будет работать даром?

Дросселирующее устройство (или терморегулирующий вентиль) — крохотный скряга: пропускает через себя в итоге весь жидкий хладагент, но делает это неохотно, являясь главным регулятором всего процесса, хотя на картинке его не видно. Серый кардинал, словом. Он позволяет заполнять испаритель жидким хладагентом в оптимальных пределах, так как переполнение испарителя жидкостью может привести к ее попаданию в компрессор и к поломке последнего, а малое заполнение испарителя резко снижает эффективность работы всего теплового контура.

Так этот квартет и крутится сутками, «съедая» до половины всей электроэнергии, поступающей на пищевые предприятия. Но ест он неравномерно, как и все мы: то очень интенсивно, то немного.

НЕ МЕСТО ПРОЖОРЛИВЫМ ДВУГОРБЫМ НА НАШИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ!

Картина потребления электроэнергии пищевыми (например, молочными) предприятиями будет примерно следующей (Рис.2).

На непосредственное испарение хладагента в холодильных камерах тратится ничтожная доля от общих затрат, а система ледяной воды с температурой $+1^\circ\text{C}$ главным образом определяет мощность холодильных компрессоров и размеры градирен для сброса тепла в атмосферу. Традиционно эту мощность определяли выше верхнего пика на двугорбом графике, для рассматриваемого случая — 400 кВт холодильной мощности. Только с течением времени наблюдательные специалисты сообразили: а что ежели намного увеличить объем термоизолированного бака ледяной воды, одновременно с этим существенно уменьшив мощность и стоимость холодильных машин? Тогда в ночной период можно холодильным компрессором половинной мощности в 200 кВт свободно набрать запас по среднесуточному значению и остановиться, а когда будет нужен пиковый расход, включить в циркуляционный контур только уменьшенную по мощности холодильную машину. Кроме безусловного снижения стоимости установки машинного холода, уменьшится и пиковый расход электроэнергии в самое нагруженное время суток. Но это пока рассуждения. А что покажет действительность? Тут самое время сослаться на личный опыт, откушенный от огромного общего многолетнего практического опыта целого объединения молочной промышленности Курганской области.

В 1973 году, под руководством талантливого рационализатора Ф. С. Веснина, мне лично пришлось впервые участвовать в переделывании стандартно спроектированной и построенной компрессорной нового завода сухого молока в с.Половинное Курганской области. Тогда я находился в блаженной категории молодого специалиста, которого по закону защищало государство. Почему

бы и не рискнуть поучаствовать в реконструкции под чужую ответственность? Численность персонала аммиачной компрессорной до начала славных дел составляла 11 человек: 3 смены по 2 дежурных + подменная смена из 2-х человек, + 2 слесаря по обслуживанию в день = 10 человек. Над ними всеми, конечно же, начальник компрессорной. Итого 11 человек с хорошей зарплатой и оплачиваемым ночным отдыхом на рабочем месте.

Под неусыпным надзором деятельного Ф. С. Веснина мы выделили из общей схемы замкнутые контуры ледяной воды и систем непосредственного испарения, смонтировали на улице строго вдоль стены компрессорной большущий бак — аккумулятор с испарителем внутри, выполнили его термоизоляцию. Сделали свою автоматику для каждого независимого контура с простейшим принципом работы «пуск-стоп». В итоге дежурным машинистам стало нечего делать, поэтому во всей холодильной компрессорной приказом директора был оставлен один-единственный человек с двойной суммой оплаты за груз ответственности и обязательное регламентное обслуживание техники по специальному графику. Он работал только по обычному графику рабочей недели, с полагающимися выходными днями. Компрессорная прекрасно функционировала и под замком, когда этот человек отсутствовал.

В России толковых людей всегда много, и они частенько задают колкие вопросы. Один из таких вопросов, первый по счету: одна ласточка весны не делает, сколько же таких ласточек-компрессорных было? Официальная справка: в Курганском объединении молочной промышленности на такой режим работы с периодическим обслуживанием до 1985 года было постепенно было переве-

Почасовой график циркуляционной подачи ледяной воды $+1^\circ\text{C}$ на технологические нужды

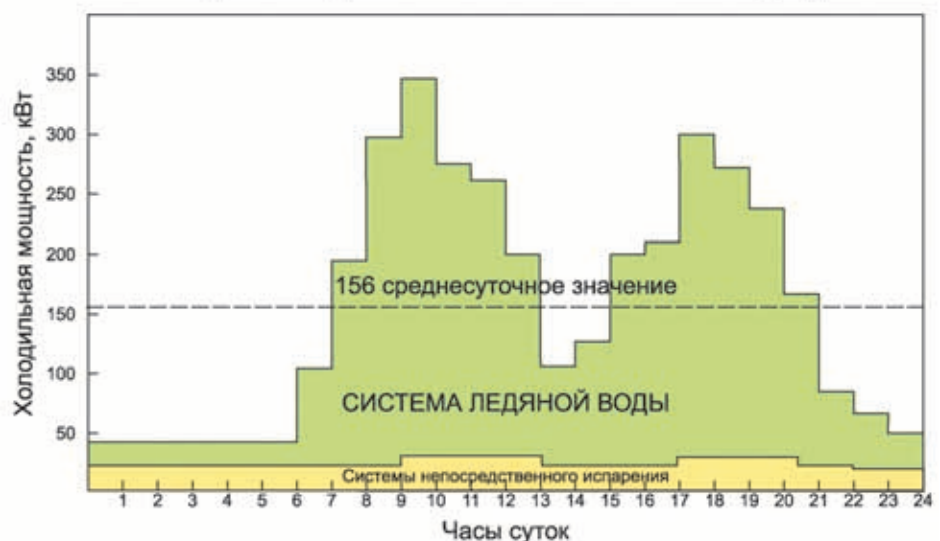


Рис. 2



дено 57 компрессорных цехов. В них поначалу работало 177 человек, потом на обслуживании осталось лишь 28 машинистов холодильных установок. За 10 лет работы всех переделанных схем холодоснабжения, ни один компрессор не взорвался и ни один электродвигатель не сгорел.

Мне удалось приехать на завод своей молодости двадцать с лишним лет спустя по причине любопытства: что же там осталось? Те же самые компрессоры продолжали ежедневно крутиться без замены, они только сильно постарели и подвергались капитальному ремонту, что немудрено при нормативном сроке службы каких-то жалких 8 лет! Машинист-первопроходец ушел на пенсию раньше их, выработав свой «вредный» 12-летний стаж.

Второй вопрос от толковых людей: а как обстоит дело с экономикой процесса? Тоже неплохо. По сравнению с затратами при работе по традиционным схемам, стоимость выработки холода оказалась в среднем по заводам на 36 % ниже. Эта цифра была подтверждена данными бухгалтерского учета в целом по объединению еще в те времена, когда на сниженный по стоимости ночной тариф потребления электроэнергии совсем не обращали внимания и не фиксировали на счетчике ночные дешевые киловатт-часы. При учете ночного режима работы процент денежной экономии будет выше.

Третий вопрос от умников: если уж так все хорошо, почему тогда это не введено в обязательные нормативы при создании новых предприятий? Тут придется сослаться на материалы I Международного конгресса по холодильному делу, состоявшегося в 1908 году в Париже. В числе пожеланий по развитию этой новой тогда отрасли техники было и следующее: «Имея в виду блага и выгоды, которые могут принести земледелию, торговле и промышленности всех стран применение и развитие холодильного дела, Конгресс просит общественные власти всех стран облегчить устройство холодильных приспособлений в домашнем, сельском и мелком промышленном хозяйстве и, в частности, ограничить до возможного минимума регламентацию и формальности относительно пользования холодильными машинами». Уже тогда понимали, что потонем в бумагах и бюрократической регламентации в ущерб делу! На сегодняшний день изложенная рациональная схема работы разрешена, но не обязательна. А раз не обязательна — кто же из специалистов будет стремиться к ликвидации собственного рабочего места? Владельцы предприятия чаще всего не подозревают о возможности малолюдной работы на столь сложном участке, поэтому сохраняют без вариаций привычно-неудобный порядок функционирования холодильной компрессорной.

РЕТРОСПЕКТИВА И ПЕРСПЕКТИВА

У телескопа есть еще одна особенность: он позволяет видеть свет уже погасших звезд, идущий к нам из прошлого по пространству Вселенной. Попробуем по аналогии посмотреть, как создавались самые главные теоретические и практические начала холодильной техники (табл.). Звездочками отмечены пионерные (начальные) изобретения.

Вам не кажется странным, что все было сделано главным образом в XIX веке и в начале XX века, а с тех пор остается лишь дорабатывать уже имеющиеся конструкции холодильных систем? Поэтому ни о каких принципиально новых видах холодильной техники, демонстрируемых на выставках самого высокого уровня, не может быть и речи. Довести бы до ума заложенное предшественниками...

В последние годы активно продвигаются идеи глубокого охлаждения пищевых продуктов с применением криогеники, т. е. глубокого холода. Границей между умеренным и глубоким холодом принята температура 120 К (-153°C). Учтем, что для холодильного цикла «пользой» является количество отводимой теплоты (холода) из продукта или холодильной камеры в рабочее тело (хладагент), а «затратами» будут количества работы из внешней среды, проще — электроэнергия на привод компрессорной холодильной машины. На графике (рис.3) температура по Кельвину отражена на горизонтальной оси абсцисс, а затраты (естественно, с минусом) через коэффициент Карно — на вертикальной оси ординат.

Коэффициент $\tau_0^* = \eta_1^* = (T - T_0)/T$, как видите, зависит от выбираемой нами температуры охлаждения T, ибо изменить температуру окружающей среды T_0 мы не можем.

Так вот, при понижении температур техническими приемами ниже 250 К (-23°C), на 1 кДж той же отводимой теплоты будет затрачиваться не 0,09 кДж работы (электроэнергии), а все больше и больше. Например, при 120 К (-153°C) 1 кДж теплоты можно будет отвести, затратив уже 12 кДж работы, или в **133 РАЗА БОЛЬШЕ**, чем при -23°C! Ни о какой экономичности говорить здесь не приходится, как бы ни изощрялись специалисты, рекламируя свои технические устройства и ухитряясь продавать при этом оборудование на какую-то часть цикла (без циркуляционных насосов воды с их автоматикой, без испарителей, конденсаторов, градирен и т. п.). Есть физическая сущность процессов, прямо влияющая на экономичность их проведения. Отсюда бесспорно следует: прежде чем выбирать температуру охлаждения и размеры холодильных камер, не надо полагаться на широкий размах души с интуицией и огромным запасом мощностей «на всякий случай», а определить грамотными инженерными расчетами, сколько продукции до какой именно температуры надо охлаждать на самом деле и в каких действительно необходимых объемах камер затем ее размещать.

Попутно взглянем на часть логарифмической кривой выше оси абсцисс, где плюсовые величины говорят уже о пользе, принесенной так или иначе теплом солнца, а не о затратах

Изобретатели и базовые изобретения в холодильной технике

Год	Автор и страна	Вклад в холодильное дело	Характер движущей силы
1810	Джон Лесли, Великобритания	Создал первую абсорбционную холодильную машину*	тепловая энергия
1824	Никола Леонард Сади Карно, Франция	Создал теорию идеального цикла любой тепловой машины*	Информация + интеллект
1834	Ж.Пельтье, Франция	Открыл термоэлектрический эффект охлаждения спая при нагревании другого конца*	электроэнергия
1834	Джейкоб Перкинс, Великобритания	Создал пароконденсационную машину на этиловом эфире*	паровой двигатель
1845	Джон Горри, США	Создал охлаждающую машину посредством расширения сжатого воздуха в емкости-детандере*	паровой двигатель
1871	Карл фон Линде, Германия	Построил компрессорную холодильную машину на аммиаке, а спустя 10 лет – на углекислом газе	паровой двигатель
1894	Марсель Одифрен, Франция	Создал первую автоматическую холодильную машину с герметичным контуром*	электроэнергия
1910	Леблан, Франция	Сконструировал парожетонную холодильную машину*	тепловая энергия
1928	Томас Мидлен, Альберт Хенн, США	В лабораториях «Дженерал Моторс» изобрели хладагент CFC, который спустя 2 года вышел под торговой маркой «фреон»	исследовательская информация
1931	Жозеф Ранк, Франция	Изобрел вихревую трубу с холодным центральным потоком*	Давление воздуха

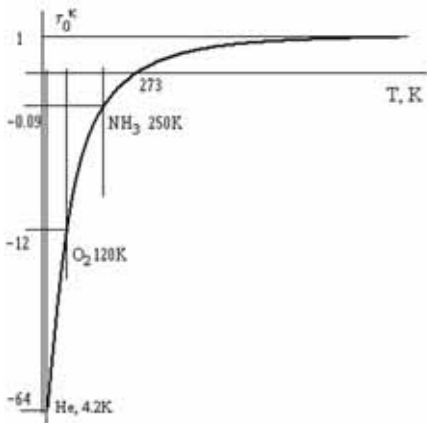


Рис. 3. График затрат энергии извне в кДж на получение 1 кДж искусственного холода

на отъем тепла. Вот откуда берется многократно сниженная стоимость единицы тепла по сравнению с такой же единицей холода. Поэтому к холоду можно пропагандировать более теплое и бережное отношение. Экономически правильный лозунг прозвучал бы на мотив старой комсомольской песни примерно так: бизнес выгоден в городе и в далеком селе; раньше думай о холоде, а потом о тепле!

Без перспективы на лучшее и жить неинтересно, поэтому посмотрим, что предлагает нам современная наука и техника. А техника

соответствует нашим представлениям о ней и довольно часто игнорирует требования экономики и особенно экологии, доминируя над ними. Поэтому экономические пласты в технических глубинах еще ждут своих шахтеров.

В качестве продуктивной современной разработки с явной экономической выгодой можно назвать открытие аддитивных термодинамических циклов (от латинского *additivus* — прибавляемый). Основной логический стержень данных холодильных циклов — минимизировать сжатие паров хладагента компрессором до полного исключения перегрева пара, а затем исключить дросселирование (после конденсирования) из процесса расширения хладагента, оставив само расширение практически без потерь. Иными словами, при уменьшенной работе сжатия на ту же производительность потребуется половинный расход электрической мощности, а скрягу-дросселя научили свободу любить и меньше зажимать путь потоку хладагента, проходящего через него.

Впервые в полушутливой подаче цикл был изображен в 1982 году президентом Международной академии холода профессором Хазелденом на одном из заседаний как труднодостижимая термодинамическая идеализация. Но наши люди додумались до технического осуществимого результата. Уже в 1983 го-

ду было выдано авторское свидетельство СССР на упомянутый аддитивный способ (цикл) с устройством для его осуществления, позволяющим добиться снижения себестоимости промышленного холода примерно в 2,2 раза. Далее закономерно просматривалось внедрение столь многообещающей сверхэкономной разработки, но этому помешала череда политико-экономических событий в обществе, завершившаяся распадом СССР. Остается надеяться на то, что сохранившийся интеллектуальный потенциал отечественных разработчиков продвинет дело до воплощения «в металле».

**Технический директор
ООО НПК «Резонанс» В. Б. Новиков**

