

А. М. БРАЖНИКОВ,  
Э. И. КАУХЧЕШВИЛИ

---

# Холод

**Введение в специальность**

---

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов технологических специальностей вузов пищевой промышленности

МОСКВА  
«ЛЕГКАЯ И ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ»  
1984

ББК 31.392

Б 87

УДК 621.56/59(075.8)

Рецензенты: Ленинградский технологический институт холодильной промышленности (д-р техн. наук Э. И. Гуйго), Калининградский технический институт рыбной промышленности и хозяйства (канд. техн. наук А. Г. Ионов, канд. техн. наук В. Н. Эрлихман).

Бражников А. М., Каухчешвили Э. И.

**Б87** Холод. Введение в специальность. — М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984, с. 144.

В учебном пособии рассказано о способах получения искусственного холода. Рассмотрены основные области применения его в народном хозяйстве. Основное внимание уделено применению холода в пищевой промышленности, кондиционированию воздуха, а также в биологии. Авторами выбрана популярная форма изложения материала.

Предназначено для студентов технологических вузов пищевой промышленности, специализирующихся в области холодильной технологии и техники.

2303050000—006

Б 044(01)—84 6—84

044(01)—84

ББК 31.392

6П2.28

© Издательство «Легкая и пищевая промышленность», 1984.

## Введение

Современный, широко информированный человек «иммунизирован» к любым, даже самым фантастическим техническим достижениям. Его практически ничем не удивишь, тем более искусственным холодом, интенсивное применение которого началось более ста лет тому назад и с которым он встречается в жизни на каждом шагу.

Давайте разберемся, почему понятие «холод» стало для каждого из нас таким привычным?

Садясь в самолет, вы испытываете чувство внутреннего благоговения: вы летаете не каждый день, и кроме того, садясь в самолет, вы желаете не только взлететь, но и приземлиться.

Холодом вы пользуетесь каждый день и даже в том случае, если у вас в доме нет холодильника. К холоду вы давно привыкли, это буднично; к самолету вы не привыкли и никогда не привыкнете, если только полеты не являются вашей профессией. Полет всегда для вас останется событием. А между тем авиация и искусственный холод почти ровесники.

Об авиации написаны, вероятно, тысячи томов научно-популярной литературы, об авиаторах сняты десятки кинофильмов, созданы сотни литературных произведений, сочинены песни, марши.

А о холоде?

Можно упомянуть лишь ставший библиографической редкостью научно-фантастический роман в то время молодого русского инженера Н. С. Комарова «Холодный город», созданный в 1915 г. Широкому кругу специалистов профессор Н. С. Комаров известен прежде всего как автор великолепного технического справочника, последнее прижизненное издание которого под названием «Справочник холодильщика»

вышло в 1962 г. В 1980 г. появилась книга А. С. Крузе «Мастера рукотворного холода». Технические возможности холода отчасти показаны в популярном романе А. Беляева «Продавец воздуха».

В последние годы особой популярностью стали пользоваться «производственные романы», в которых развитие человеческих характеров рассматривается на фоне производства. Может быть, это связано с тем, что мы уже и не мыслим себя вне наших профессиональных отношений. Увы, и здесь холоду не повезло! Признанный мастер «производственного романа» Артур Хейли обошел вниманием холодильник, заметив более модные сферы: автомобиль (роман «Колеса»), медицину (роман «Окончательный диагноз»), обслуживание (роман «Отель») и, наконец, уже упоминавшуюся авиацию (роман «Аэропорт»). Почему же так? Может быть потому, что людям вообще свойственно придавать динамическим явлениям в природе, технике, обществе положительную окраску.

И тем не менее в будничном понятии «холод» скрыто много удивительного и неповторимого, что авторы и стремились показать в этой книге, первом учебном пособии по вашей будущей специальности.

Учащийся должен учиться сам, и никто не может сделать этого вместо него. Таков основной тезис любого вида обучения, в том числе и подготовки специалистов в области использования искусственного холода в различных сферах народного хозяйства.

В последние годы появилось немало новых методов и средств обучения (программированное обучение, технические средства обучения и пр.). Вместе с тем эффективность обучения высока лишь в том случае, если мотивация обучения является осознанной.

Пройдет всего несколько лет и вы, сегодняшние студенты, окажетесь перед выбором: где, в какой области использования холода начать свой путь инженера? Мы советуем вам прежде всего и как можно раньше (уже на первых курсах) найти ту область, то направление в технологии и технике, которое привлекает вас больше всего, и в этом направлении проверить свои силы. И главное, стать в данной, конкретной, области профессионалом. Между тем, как это ни пока-

жется парадоксальным, но основы тепло- и хладотехники были созданы «высокопрофессиональными непрофессионалами». Обратимся к прошлому.

Разумеется, следует начать с нашего великого помора, русского универсала М. В. Ломоносова, и его цикла работ в области теплоты (и следовательно, холода). Далее следует шотландский врач Блэк (он был также философом), который разделил понятия теплоты и температуры. Французский офицер, музыкант и физик-любитель Сади Карно выполнил в науке всего одну работу, но именно этой работой он обосновал «цикл Карно». Немецкий врач Майер фактически сформулировал первый закон термодинамики. Любопытно, что это было сделано при сопоставлении цвета крови жителей умеренной и тропической областей. Английский пивовар Джоуль (назвать это имя, значит все сказать) начал заниматься физикой исключительно из любознательности. А вот тепловой эквивалент механической работы определил не кто иной, как министр вооруженных сил Баварии Румфордт, изучая производство артиллерийских орудий.

Итак, нередко бывает, что люди вносят высочайший вклад в те области культуры и науки, о существовании которых они и не подозревали. И тем не менее высокий профессионализм и необходимое для подготовки профессионалов трудолюбие являются обязательным условием успешной работы в любых сферах. Подготовка широко образованных, обладающих глубокими специальными знаниями инженеров возможна только в том случае, если студент осознанно будет подходить к изучению всех дисциплин, начиная с первого курса. Развитие осознанного отношения ко всему циклу обучения, ко всем дисциплинам учебного плана и является одной из основных задач курса «Введение в специальность», написанного в соответствии с программой.

При создании учебного пособия авторы стремились в возможно популярной форме познакомить студентов с физическими основами искусственного охлаждения и наиболее важными сферами применения искусственного холода в различных отраслях народного хозяйства. Основными, как мы полагаем, традиционными, сферами применения холода являются пище-

вая промышленность, бытовые холодильники, кондиционирование воздуха, биология и медицина, нетрадиционными — строительство, машиностроение, металлургия и др. Однако развитие холодильной технологии и техники наиболее тесно связано с традиционными сферами.

Большинство инженеров, оканчивающих пищевые вузы, в своей деятельности в большей или меньшей степени будут озабочены проблемами холодильной технологии и техники, независимо от той области, в которой они будут работать. Проблема сохранения, консервирования всего того, что выращивает сельское хозяйство, производят пищевые отрасли, сведения к минимуму потерь может быть решена только на основе использования холодильной технологии и техники.

Именно это обстоятельство и предопределило построение нашего пособия, в котором традиционным сферам применения холода уделено основное внимание.

Авторы весьма признательны рецензентам: д-ру техн. наук проф. Э. И. Гуйго, канд. техн. наук А. Г. Ионову и канд. техн. наук В. Н. Эрлихману.

Замечания и пожелания просим направлять по адресу: 113035, Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., д. 12, изд-во «Легкая и пищевая промышленность».

## 1. Инженер в эпоху НТР

В настоящее время происходит интенсивное развитие науки и техники, причем темпы этого развития непрерывно возрастают. Сейчас на протяжении жизни одного поколения происходят колоссальные изменения, которые раньше трудно было себе представить. Только перечисление основных достижений науки и техники, свидетелем которых стало наше поколение, не может не впечатлять: атомная энергетика, телевидение, транзисторная аппаратура, электронно-вычислительная техника, реактивная авиация, межконтинентальные ракеты, искусственные спутники, выход человека в космос. До того, как любое из перечисленных событий стало реальностью, оно казалось чудом даже для людей весьма сведущих. Так, в вышедшей в 1955 г. (за два года до запуска первого советского искусственного спутника Земли) книге английского физика лауреата Нобелевской премии Дж. Томпсона «Предвидимое будущее» сама возможность запуска искусственных спутников принципиально отвергалась в обозримом будущем.

Таблица 1

Параметр	Увеличение за 100 лет	Физические пределы
Скорость передвижения	В $10^2$ раз	Орбитальная скорость
Мощность источников энергии	» $10^3$ »	Изменение климата
Скорость анализа данных	» $10^6$ »	Скорость света
Скорость передачи информации	» $10^7$ »	» »

Примечание. По данным И. С. Шкловского «Вселенная, жизнь, разум» (Наука, 1973).

А ведь мы перечислили далеко не все научно-технические достижения последних лет. Можно вернуться назад всего на одно поколение — поколение наших родителей, ведь именно тогда появились автомобиль, аэроплан, радиосвязь. Все это произошло на пороге двадцатого века.

Наглядное представление о темпах роста возможностей технологий (технологического потенциала) дает табл. 1.

В условиях столь интенсивного развития технологии особое значение приобретает роль инженера, от квалификации, эрудиции и ответственности которого во многом зависит воплощение в жизнь достижений науки.

В нашей стране подготовка инженерных кадров осуществляется в высших учебных заведениях на основе единого (для каждой инженерной специальности) учебного плана. Возрастание роли инженера в период научно-технической революции ставит перед высшими учебными заведениями страны новые задачи, связанные с повышением качества подготовки инженерных кадров.

### **«Профессии» инженера**

Естественно, что, выбрав профессию инженера, будущему специалисту следует познакомиться с тем, в чем заключается смысл инженерного труда, в каком качестве и где он сможет работать. Возможно, что такое знакомство было бы целесообразно и до выбора специальности. Здесь мы попытаемся кратко рассказать об основных сферах инженерного труда. Прежде всего отметим, что где бы и кем бы ни работал инженер, он всегда работает в коллективе. Поэтому умение работать с людьми, умение руководить коллективом, умение разъяснять задачи, которые ставят перед коллективом партия и правительство, предлагать методы их эффективного решения — важнейшие профессиональные качества советского инженера. Советский инженер должен быть идейным, убежденным марксистом, обладающим глубокой теоретической подготовкой в области истории нашей партии и марксистско-ленинской философии. Эти каче-

ства инженера, навыки организационной работы, а также глубокие знания марксистско-ленинской философии закладываются в высшем учебном заведении как путем изучения дисциплин общественно-политического цикла, так и путем специально организованной общественно-политической практики студентов. Общественно-политическую практику студентов составляет вся совокупность общественной работы, выполняемой студентами в комсомольской и профсоюзной организациях, в студенческих строительных отрядах, на производственных практиках.

Существо повседневной работы инженера составляет решение так называемых инженерных задач. Инженерные задачи возникают периодически каждый раз, когда необходимо осуществить переход материалов и энергии из одного состояния в другое (например, получение металла из руды, пищевого продукта из сельскохозяйственного сырья, детали из заготовки, электрической энергии из химической энергии топлива и т. д.), причем имеется несколько способов реализации этого перехода. Инженерная задача есть нахождение предпочтительного метода достижения желаемого результата. Мы сознательно отказались здесь от термина «оптимальный метод», т. е. такой метод, который выбирается в соответствии со строгой процедурой при наличии сформулированных математических критериев оптимальности и ограничивающих условий. Таким образом, сама процедура оптимизации (кстати говоря, весьма сложная и требующая, как правило, применения электронно-вычислительной техники) возможна лишь тогда, когда условия инженерной задачи можно свести к некоторым математическим уравнениям. Пока это удается лишь в ограниченном числе частных случаев, а труд инженера остается неформализованным. Поэтому, чтобы найти предпочтительный метод, инженер должен использовать свои познания, свою изобретательность, свой опыт, оценивая эти различные варианты с точки зрения множества трудноформализуемых и часто противоречивых критериев. Даже широкое развитие ЭВМ не освобождает инженера от обязанности думать.

В инженерном деле трудно переоценить значение экономики. При решении практически любых задач

инженеру следует учитывать интересы производства как с экономической, так и с технической точки зрения.

Инженеру в его работе достаточно часто приходится мыслить абстрактно, обдумывать факты, вычислять и сопоставлять. Современный инженер должен обладать способностью оперативной адаптации к изменяющейся технико-экономической ситуации и навыком непрерывного профессионального самосовершенствования. Рассмотрим теперь основные современные «профессии» инженера, основные сферы приложения его знаний.

**Инженер-исследователь.** Задачи, которые ставятся непрерывно развивающейся промышленностью, выдвинули как одну из важнейших инженерных «профессий» специальную сферу инженерных исследований. Такие исследования направлены на выявление некоторых закономерностей протекания разнообразных производственных процессов и являются необходимой базой для создания новой техники, технологических приемов и способов наиболее рациональной эксплуатации оборудования. Инженерные исследования осуществляются в отраслевых НИИ, вузах инженерного профиля, заводских лабораториях и исследовательских отделах, которые имеются при проектных и конструкторских организациях. Инженерные исследования являются специфической сферой деятельности и имеют определенные отличия от исследований, выполняемых в области естественных наук, хотя порой эти различия и не являются принципиальными.

Если основной задачей исследований в области естественных наук, так называемых фундаментальных исследований, является познание закономерностей развития естественных и общественных процессов, построение теорий, объединяющих в единую структуру различные экспериментальные и наблюдаемые факты, то задачей инженерных исследований является изучение процессов, принципиальная сторона которых, как правило, уже известна, а зачастую и процессов, протекающих в искусственно созданных человеком системах. Разумеется, вовсе не исключены случаи (и таких случаев немало), когда решение чисто инженерных задач приводит в конечном счете к

некоторым результатам в фундаментальных областях и, наоборот, разработка фундаментальных проблем часто имеет прямой инженерный выход. Классическим примером является открытие эффекта сверхпроводимости<sup>1</sup>, которое было сделано при решении чисто инженерной задачи — измерении сопротивления ртути прохождению электрического тока при низких температурах.

Инженер-исследователь должен обладать глубокими теоретическими знаниями, должен быть хорошо осведомлен в области инструментальных методов исследования, знать насущные и перспективные проблемы промышленности и, разумеется, быть хорошим организатором, поскольку современные инженерные исследования выполняются практически всегда коллективно.

**Инженер-конструктор.** Конструирование — одна из наиболее распространенных форм инженерной деятельности — заключается в создании графических моделей машин и устройств. Конструкторы работают как в специальных конструкторских подразделениях (КБ), так и в конструкторских отделах НИИ и промышленных предприятий. В целях унификации работы конструкторских организаций все конструкторские документы (чертежи, схемы, расчетно-пояснительные записки и пр.) выполняются на основании определенных, стандартизированных для всей страны правил (система ЕСКД).

Основные виды конструкторской деятельности:

создание новой техники по результатам научно-исследовательских работ и на основе макетов и моделей;

создание новых и модернизация существующих машин и аппаратов;

конструирование различных приспособлений, необходимых для монтажа оборудования, измерения его параметров и пр.;

конструирование транспортных связей между машинами;

конструирование отдельных узлов машин (систем крепления, передач и пр.);

<sup>1</sup> Более подробно об эффекте сверхпроводимости мы расскажем в главе 7.

конструирование агрегатов, т. е. связанных друг с другом единой технологической задачей систем машин.

Во всех случаях конструкторская документация должна доводиться до стадии рабочих чертежей, т. е. документов, на основании которых осуществляется изготовление деталей, сборка основных узлов и оборудования в целом.

Конструирование — специфическая форма инженерной деятельности, которая пока не поддается формализации, т. е. не может быть описана с помощью системы строгих правил. Конструирование — всегда компромисс между системой противоречивых требований (прочность деталей и их масса, надежность и быстроходность, капитальные затраты и эксплуатационные расходы и пр.). Разработанные методы расчетов деталей машин носят в основном поверочный характер, поскольку можно рассчитать уже предварительно сконструированную деталь, либо какой-нибудь другой элемент машины.

В последнее время появились работы, связанные с применением ЭВМ для конструирования и проектирования, однако до настоящего времени главной фигурой при создании машин продолжает оставаться инженер.

Не следует думать, что инженер-конструктор, равно как и инженер-проектировщик, непрерывно работает за чертежной доской. Значительную часть своего времени инженер тратит на знакомство с производством, со специальной литературой, на наведение справок, изучение технических требований, обмен мнениями.

Инженер-конструктор должен обладать развитым пространственным воображением, достаточно высокой техникой выполнения графических работ, владеть основными методами расчетов элементов машин и аппаратов, знать условия изготовления, сборки, монтажа и эксплуатации машин, глубоко владеть экономикой и иметь склонность к изобретательству.

Инженер-конструктор должен уметь пользоваться нормативными материалами, которые содержат рекомендации по типовым конструктивным решениям, часто встречающимся в практике конструирования

различных машин (передачи, опоры валов и т. д.). Одаренность конструктора проявляется в умении сочетать бурную фантазию со строгой реалистичностью.

**Инженер-проектировщик.** Характер работы инженера-проектировщика близок к работе инженера-конструктора, но имеет свою четкую специфику. Проектирование — создание графических моделей промышленных предприятий, отдельных цехов, линий и участков. Проектировщики работают в специальных проектных институтах, выпускающих документацию, по которой осуществляется строительство новых и реконструкция существующих предприятий.

Полный рабочий проект предприятия — документ, содержащий подробные и полные технико-экономические указания по строительству предприятия, включающие всю совокупность его инженерного обеспечения от технико-экономического обоснования и результатов изыскания до полной, так называемой сметной стоимости. При проектировании каждая часть проекта выполняется инженерами соответствующих специальностей, а координацию работы по проекту предприятия в целом осуществляет главный инженер проекта. В частности, в задачу инженера-холодильщика входит проектирование машинного и аппаратного отделений по производству холода, системы охлаждения, тепловой изоляции холодильных камер и пр. Проектировщик стремится максимально использовать оборудование, арматуру и аппаратуру, серийно выпускаемые промышленностью. Только в специальных случаях возможно конструирование новых элементов.

Так же, как и конструирование, проектирование представляет собой процесс выбора некоторого компромиссного варианта, который по возможности удовлетворял бы самым разнообразным и порой противоречивым требованиям.

Инженер-проектировщик должен обладать глубокими общенженерными знаниями, быть знакомым с производством монтажно-наладочных работ, иметь достаточные представления о характере работ специалистов других смежных специальностей и уметь пользоваться электронно-вычислительной техникой.

**Инженер-монтажник.** Монтажные работы выполняются при установке оборудования на вновь строящихся и реконструируемых предприятиях и в отдельных цехах. Такие работы выполняются специальными монтажно-наладочными организациями. Инженер-монтажник должен обладать глубокими знаниями в области технологического оборудования, хорошо знать проектную документацию и организацию монтажно-наладочных работ. Монтаж оборудования всегда связан с его испытанием, в ходе которого выявляются возможные недоработки и проверяется способность работы оборудования в режиме нормальной эксплуатации. Поэтому инженер-монтажник должен хорошо знать контрольно-измерительную аппаратуру и уметь находить выход в любой сложной ситуации, возникающей на монтажной площадке.

Следует иметь в виду, что работа инженера-монтажника часто бывает связана с командировками, со сменой монтажных площадок. По этой причине для инженера-монтажника крайне ценным является умение по возможности быстро входить в новые коллективы, устанавливая деловые контакты с представителями смежных специальностей — короче говоря, монтажнику желательно быть коммуникабельным.

**Инженер — организатор производства.** Основная задача инженера на производстве — обеспечение непрерывного технологического цикла на должном уровне, выполнение плана по всем показателям. Инженер должен осуществлять рациональную эксплуатацию технологических установок, следить за соблюдением правил безопасности и своевременным осуществлением ремонта и модернизации оборудования, обеспечивать выпуск продукции заданного уровня качества. Помимо глубоких технических знаний, инженер-производственник должен хорошо владеть экономикой и организацией производства. Инженер-производственник должен обладать определенными знаниями и в области той основной технологии, которую обслуживают эксплуатируемые им установки. Инженер на производстве — это руководитель, что обязывает его разбираться в психологии труда, знать основы трудового законодательства, уметь должным образом ставить задачи перед подчиненными. Большое

значение для ритмичной работы любого производства имеют вопросы материально-технического снабжения. Инженер-производственник, по существу, является первичным источником информации о необходимых предприятию материально-технических ресурсах.

**Инженер-холодильщик на селе.** Реализация Продовольственной программы, постановлений партии и правительства по интенсификации сельскохозяйственного производства приводит к становлению новой «профессии» инженера-холодильщика — инженер-холодильщик на селе. Область технической деятельности такого инженера разнообразна — это эксплуатация холодильников и охлаждаемых фрукто- и овощехранилищ, которые сейчас интенсивно строятся при колхозах и совхозах, эксплуатация временных и стационарных устройств для охлаждения овощей и фруктов перед загрузкой их в холодильный транспорт, работы по обслуживанию установок микроклимата оранжерейных хозяйств, эксплуатация установок кондиционирования воздуха в животноводческих помещениях. Инженер-холодильщик на селе призван выполнять важные функции по сохранению и первичной холодильной обработке сельскохозяйственной продукции непосредственно в месте ее производства.

Сельская профессия инженера-холодильщика требует универсальных знаний и навыков механика, знания специфики сельскохозяйственного производства и, разумеется, умения находить общий язык с основными специалистами сельского хозяйства — агрономом и механизатором.

Постепенное насыщение сельского хозяйства специалистами в области холодильной техники имеет и важное социальное значение. Ведь инженер-холодильщик вслед за сельским учителем, агрономом, механизатором становится еще одним представителем сельской интеллигенции.

Еще одна инженерная специальность, до недавнего времени считавшаяся практически исключительно городской, становится важной и необходимой сельской специальностью. Важная роль принадлежит сельскому инженеру-холодильщику и в скорейшем налаживании профессиональных контактов между основными партнерами агропромышленных объ-

единений: хозяйствами, производящими сельскохозяйственную продукцию, и пищевыми предприятиями, ее перерабатывающими, ведь инженеры-холодильщики входят в штат тех и других организаций.

**Инженер-администратор.** Практически все инженеры, где бы они ни работали и к какой бы инженерной профессии ни принадлежали, являются в большей или меньшей степени администраторами в силу того, что они практически всегда руководят коллективами людей. Вместе с тем значительное количество инженеров занято почти исключительно административной деятельностью в органах государственного управления и планирования. Основная задача этих специалистов заключается в подготовке материалов, необходимых для принятия решений, своевременном доведении принятых решений до исполнителей и постоянном контроле.

Квалификация инженеров-администраторов как в технических, так и в экономических вопросах должна быть исключительно высока. Кроме того, инженер-администратор должен обладать определенным деловым авторитетом среди исполнителей. Следует, однако, подчеркнуть, что назначение на административные должности в государственном аппарате целесообразно лишь для специалистов, имеющих определенный опыт работы в промышленности.

Мы кратко рассказали об основных инженерных «профессиях», несколько их схематизировав. Фактически между основными «профессиями» инженера нет четких границ, более того, очень часто инженеру в своей творческой жизни приходится работать в нескольких инженерных «профессиях». И все же различия объективно существуют, вследствие чего вузовская подготовка должна учитывать потенциальную возможность плодотворной, творческой работы инженера в любом качестве. Такая возможность обеспечивается принятой в нашей стране подготовкой инженера широкого профиля.

### **Современный инженер — инженер широкого профиля**

Что же это означает — инженер широкого профиля? Это инженер высокого научного потенциала,

способный оперативно рассматривать и решать все текущие технические задачи. Для такой подготовки необходимо выработать навык самостоятельной работы, непрерывного самосовершенствования, самообразования, т. е. обновления знаний. Существующие учебные планы, на основании которых ведется подготовка инженерных кадров для пищевых отраслей, включают следующие взаимосвязанные друг с другом циклы дисциплин:

дисциплины общественно-политического цикла (история КПСС, политическая экономия, марксистско-ленинская философия, научный коммунизм);

дисциплины общенаучного цикла (высшая математика, физика, теоретическая механика, химия);

дисциплины общинженерного цикла (инженерная графика, теория механизмов и машин, детали машин, сопротивление материалов, процессы и аппараты, теплотехника, термодинамика и теплопередача, гидравлика, вычислительная техника и пр.);

дисциплины экономического цикла (экономика, организация и планирование производства, основы советского законодательства);

дисциплины специального цикла.

При подготовке инженера широкого профиля особое внимание уделяется глубокому изучению и сочетанию общенаучных и общинженерных дисциплин. Изучение специальных дисциплин производится на базе общенаучных и общинженерных. В процессе обучения студент выполняет проекты и курсовые работы. Завершают процесс обучения государственный экзамен по научному коммунизму и дипломный проект. Можно указать на следующие качества, которыми должен обладать высококвалифицированный инженер: фактические знания; инженерное мышление; собственная инженерная точка зрения; постоянное стремление к повышению квалификации.

Цикл подготовки современного инженера — инженера широкого профиля направлен на то, чтобы воспитывать и развивать эти качества.

Мы отмечаем важность для инженера подготовки в области общенаучных дисциплин. Дисциплины общинженерного цикла, по существу, сообщают сведения относительно принципов применения науки в ин-

женерной практике, а также систематизированные практические знания. Фактические знания инженера — это своеобразный набор «кубиков», из которых складывается базовая основа знаний, та ее часть, которая не только сегодня, но и постоянно находится в памяти и соответственно в распоряжении инженера.

Инженерное мышление заключается в наличии развитой наблюдательности, в навыке экспериментирования и составлении абстрактных схем явлений и процессов таким образом, чтобы получать максимум надежной информации при минимуме времени и затрат. Не следует спешить с выводами, наблюдая даже простые явления. Следует иметь в виду, что ни одна измерительная схема не является совершенной, а на процесс измерения всегда оказывают влияние случайные факторы. Важной гранью инженерного мастерства является умение логично рассуждать, критически мыслить, четко и ясно излагать свои мысли. Инженер должен не только хорошо владеть словом, но и уметь выражать свои мысли в заданных временных границах и при необходимости использовать графические и математические приемы. Другая важная грань мастерства инженера — способность работать с людьми различных профессий, чтобы обеспечить максимальную эффективность своей деятельности. Собственная инженерная точка зрения развивается благодаря постоянному и глубокому интересу к своей профессии, стремлению выяснить все необходимые детали. Важным качеством, необходимым для развития собственной точки зрения, является объективность и профессиональная этика.

Развитие собственной инженерной точки зрения способствует готовности инженера воспринимать все новое. Инженер должен развивать мобильность своего ума таким образом, чтобы он был гибким и легко воспринимал новые концепции, теории и приемы в инженерном деле. Чрезвычайно важно выработать в себе умение объективной оценки не только деятельности своих коллег, но и своей собственной. Постоянное стремление к расширению и углублению своих знаний, накопление опыта, непрерывное стремление к повышению своей квалификации являются обязательными условиями превращения инженера (им

студент становится после окончания вуза) в высококвалифицированного специалиста.

Особенности подготовки инженеров, специализирующихся в области холодильной технологии и техники, вытекают как из характерных черт самой специальности, так и из организационной структуры производства холода.

Работа холодильных машин и холодоиспользующих аппаратов базируется на закономерностях термодинамики и теплопередачи, поэтому изучению этих дисциплин следует уделять особое внимание.

Специальные требования предъявляются и к организации производственной практики студентов, специализирующихся в области холодильной технологии и техники. В процессе практики студент должен подробно ознакомиться с работой соответствующих предприятий, так как холод производят в тех сферах народного хозяйства, где его и потребляют. Естественно, что инженеры, работающие в рассматриваемой области, должны профессионально понимать инженеров смежных профессий; по этой причине глубокие общенаучные и общетехнические знания (а ведь только они дают возможность относительно быстро и полно разбираться в смежных профессиях) необходимы холодильщику в большей степени, чем инженерам других специальностей.

## 2. Как получают холод?

Что же такое холод? Давайте проведем небольшой эксперимент. Откройте водопроводный кран с голубой отметкой и подставьте руки под струю холодной воды (летом температура водопроводной воды 18—20 °С). Достаньте из холодильника немного льда или снега, потрите им в течение нескольких минут руки, после чего подставьте их под ту же струю холодной воды. В этом случае вы почувствуете, что вода «теплая». Итак, вода при 18—20 °С холодная или теплая? Оказывается, на этот вопрос нет однозначного ответа.

Человек не испытывает ощущений тепла или холода, если его организм находится в тепловом равновесии с окружающей средой. Поэтому для человека хо-

лод — это множество ситуаций, при которых нарушается тепловое равновесие между его организмом и окружающей средой таким образом, что отвод теплоты от человеческого тела превышает выделение теплоты внутри организма. Такое нарушение может быть локальным (например, для рук, ног, лица) или общим для всего тела. Каковы причины, способные вызвать этот дебаланс? Ветер, дождь, снег, плохая одежда или болезнь (повышение температуры) и т. п. В общем, мы можем сказать, что ощущение холода связано с повышением интенсивности отвода теплоты от нашего организма. Это ощущение является субъективным, относительным, эмоциональным. Более того, как вам станет ясно из дальнейшего, холод — в известной степени условное понятие.

### Через теплоту — к холоду

Античные мыслители объясняли природу «теплого» и «холодного», вводя понятие некоторой субстанции — огня (в восемнадцатом веке такую тепловую субстанцию стали называть теплородом, флогистоном или калорием). Поскольку в повседневном опыте мы всегда наблюдаем механическое движение (полет камня, движение воды, движение воздуха — ветер и т. д.), то отождествление теплоты с некоторой субстанцией оказалось очень наглядным. В самом деле, если теплота — это некоторая субстанция (тепловая жидкость), а температура — потенциал (уровень) этой жидкости, то легко себе представить перенос теплоты как течение этой жидкости от более высокого потенциала (более высокая температура) к более низкому (более низкая температура). Потребность в теории, позволяющей делать количественные расчеты, не вникая во внутреннее строение вещества привела к созданию термодинамики.

Термодинамика исходит из понятий, данных опытом, и базируется на нескольких экспериментально установленных законах или началах. Первый закон термодинамики является частной формой всеобщего закона природы — закона превращения и сохранения энергии применительно к тепловым явлениям. Согласно субстанциональному представлению первый закон

термодинамики можно рассматривать как невозможность уничтожения, равно как и возникновения из ничего «тепловой жидкости». Второй закон термодинамики характеризует направление протекающих в природе макроскопических процессов. И здесь субстанциональная аналогия позволяет получить весьма наглядное и понятное представление о процессах. Точно так же, как камень самопроизвольно падает только вниз, точно так же, как вода течет самопроизвольно с верхнего уровня на нижний, теплота самопроизвольно может передаваться только от тел с более высокой температурой к телам с более низкой.

Однако субстанциональное представление о теплоте, несмотря на свою наглядность, могло объяснить далеко не все наблюдаемые факты: эквивалентность перехода теплоты в механическую работу, нагревание тел под действием трения и т. д. Наконец, как было показано нашим великим соотечественником М. В. Ломоносовым, сама тепловая субстанция не могла быть физически обнаружена, т. е. была как бы невесомой. Современная термодинамика представляет собой «теорию макроскопических процессов, сопровождающихся превращениями энергии»<sup>1</sup>.

Молекулярно-кинетические представления о теплоте возникли еще в античном мире из потребности понять, что же такое «тепловая субстанция». Однако первоначально такие представления не могли объяснить всех наблюдаемых явлений и тем более стать базой для количественных расчетов. Становление молекулярно-кинетических представлений, как и вообще большинства принципиально новых научных положений, происходило постепенно и трудно. Сильная сторона субстанциональной теории теплоты — наглядность аналогии — обернулась упорным нежеланием ее последователей воспринимать разумные доводы оппонентов. Как это часто бывало, становление нового оказалось не только «драмой идей», но и драмой людей, создающих это новое. Широко известно, какой травле подвергался М. В. Ломоносов; немецкий врач Майер, впервые экспериментально установивший эквивалентность теплоты и механической работы, был

<sup>1</sup> Вуклович М. П., Новиков И. И. Термодинамика. — М.: Машиностроение, 1972, с. 7.

объявлен душевнобольным. Законченное строение молекулярно-кинетическая теория получила в работах австрийского физика Людвиг Больцмана.

Современная молекулярно-кинетическая теория конкретизирует понятие внутренней энергии тела, под которой понимают суммарную кинетическую энергию хаотичного движения всех молекул тела относительно его центра масс и суммарную потенциальную энергию взаимодействия этих молекул друг с другом. Например, для идеального газа внутренняя энергия складывается из кинетической энергии поступательного движения молекул, кинетической энергии вращательного движения молекул, энергии внутримолекулярных колебаний. Для реального газа сюда прибавляется еще потенциальная энергия сил сцепления.

С позиций молекулярно-кинетической теории процессы нагревания и охлаждения трактуются не столь наглядно, как с позиций субстанциональной теории теплоты. Что, например, происходит с телом, которое помещают в открытое пламя? С позиций субстанциональной теории теплоты все предельно просто и наглядно — «тепловая субстанция» пламени имеет более высокий потенциал (температуру), чем «тепловая субстанция» тела и поэтому переходит (как бы переливается) от пламени к телу до тех пор, пока потенциалы (температуры) не сравняются. Иначе объясняет это явление молекулярно-кинетическая теория: кинетическая энергия молекул продуктов горения существенно возрастает по сравнению с кинетической энергией исходных веществ (ведь горение — химическая реакция между кислородом и горючим веществом). Кинетическая энергия молекул вещества, которое мы поместили в открытое пламя, меньше кинетической энергии молекул продуктов горения. При внесении тела в открытое пламя часть энергии молекул продуктов горения переходит к молекулам тела — энергия молекул тела повышается, а энергия молекул продуктов горения снижается.

Таким образом, с позиций молекулярно-кинетической теории переход теплоты есть не что иное, как передача молекулами одного тела (в данном случае молекулами продуктов горения) части своей кинетической энергии другому телу. Нагревание тел всегда

сопровождается увеличением средней кинетической энергии всех молекул и, следовательно, увеличением внутренней энергии тела. При охлаждении внутренняя энергия уменьшается.

Молекулярно-кинетическая картина передачи теплоты более реалистично, чем субстанциональные представления, моделирует реальный процесс. Заметим, что всякая модель передает лишь основные стороны реального явления и поэтому всегда является его идеализированной, упрощенной картиной. В шутку говорят, что модель — карикатура реального процесса.

Однако расчеты, выполняемые на основе молекулярно-кинетических представлений, технически крайне сложны. По этим причинам большинство вопросов, связанных с холодильной техникой, рассматривают преимущественно с термодинамической точки зрения, привлекая молекулярно-кинетические представления в основном для физического истолкования явлений.

Мы совершили краткий экскурс в область, связанную с основными принципами изучения тепловых явлений. Внимательный читатель мог без труда заметить, что при передаче теплоты необходимо участие как минимум двух тел, одно из которых охлаждается, нагревая при этом другое. Поэтому холода как такового просто не существует. Наше привычное, обыденное, житейское понятие «холод» эквивалентно теплоте, отводимой от какого-либо объекта или тела к другому телу или к окружающей среде.

### Начнем с опыта

Возьмите стакан с водой и измерьте ее температуру, затем насыпьте в воду поваренную соль (20% от массы воды) и опять измерьте температуру. Вы убедитесь, что температура воды понизилась. Повторите тот же опыт, но со снегом. Здесь понижение температуры будет еще существеннее. Почему? В процессе растворения соли в воде происходит поглощение теплоты, которое и вызывает некоторое понижение температуры воды в стакане. Тот же эффект наблюдается и при смешении снега с солью. Хорошо известно свойство смеси поваренной соли и снега (или льда)

плавиться при температурах значительно ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Это свойство часто используют (к сожалению!) при освобождении улиц ото льда в зимний период. Смеси соли со льдом широко применяют в лабораторной практике (например, смесь льда и хлористого кальция, которая плавится при температуре  $-55^{\circ}\text{C}$ ). Раствор, концентрации которого соответствует наиболее низкая температура плавления, называется эвтектическим (легкоплавящимся).

Итак, мы научились отводить теплоту (т. е. осуществлять искусственное охлаждение) с помощью химических реакций. Но это отнюдь не означает, что мы создали систему, способную непрерывно и стабильно отводить определенное количество теплоты, ибо для этого необходимо столь же непрерывно затрачивать определенное количество энергии. При использовании эвтектических растворов для охлаждения они периодически должны «заряжаться» холодом. Для этих целей эвтектические растворы помещают в специальные герметические металлические или пластиковые сосуды (зероторы), которые по мере надобности замораживают. При замораживании эвтектических растворов от них отводится энергия и они как бы аккумулируют холод.

### Перейдем к теории

Мы переходим к изложению некоторых специальных сведений из холодильной техники.

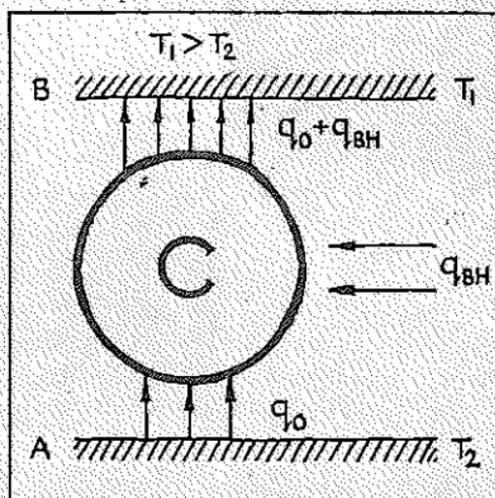
Хотя студенты, начиная с третьего курса, будут тщательно и подробно изучать соответствующие специальные дисциплины, мы полагаем целесообразным дать некоторые основные сведения именно сейчас: во-первых, для того, чтобы можно было понять дальнейшее, а во-вторых, просто затем, чтобы познакомить студентов с формой изложения специального материала.

Итак, искусственное охлаждение есть процесс переноса теплоты от тел с более низким потенциалом (температурой) к телам с более высоким потенциалом (температурой) за счет затраты внешней работы.

Процессы переноса теплоты широко используются в технике. Особенно важны такие процессы, в кото-

Рис. 1. Принципиальная схема холодильной машины:

А — охлаждаемый объект — с температурой  $T_2$ ; В — окружающая среда с температурой  $T_1$ ; С — рабочее тело холодильной машины;  $q_0$  — количество теплоты, отбираемой от охлаждаемого объекта;  $q_{вн}$  — внешняя энергия, необходимая для сжатия рабочего тела



рых начальное и конечное состояния рабочего тела, осуществляющего перенос теплоты от одного источника к другому, одинаковы. Они называются круговыми процессами или циклами.

Цикл — это ряд процессов, в результате которых система возвращается к своему начальному состоянию.

В тепловых машинах (а к ним относят двигатели и холодильные машины) можно осуществлять как прямые, так и обратные циклы. В прямых циклах (двигатели) теплота переносится рабочим телом от источника с высокой температурой к источнику с низкой температурой в целях получения механической энергии. В обратных циклах (холодильные машины) рабочее тело переносит теплоту от тел с более низкой температурой (охлаждаемый объект) к телам с более высокой температурой. Для переноса теплоты в обратном цикле к рабочему телу должна быть подведена энергия извне.

Принципиальная схема холодильной машины приведена на рис. 1. Тело А (охлаждаемый объект) имеет температуру  $T_2$ , более низкую, чем тело В (окружающая среда) с температурой  $T_1$  ( $T_1 > T_2$ ). Рабочее тело С (газообразное вещество) способно изменять свою температуру при изменении давления. Предоставив предварительно сжатому рабочему телу возможность расширяться, снизим его температуру до уровня, меньшего  $T_2$ . Тогда рабочее тело сможет в результате естественного самопроизвольного процесса отнять от охлаждаемого объекта количество теплоты  $q_0$ .

Затрачивая энергию извне  $q_{\text{вн}}$ , осуществим теперь сжатие рабочего тела, повысим тем самым его температуру до уровня, большего  $T_1$ . Это следует возможным передачу от рабочего тела к окружающей среде теплоты в количестве  $q_0 + q_{\text{вн}}$ . Такая периодически повторяющаяся совокупность процессов теплообмен — сжатие — теплообмен — расширение, в результате которой теплота переносится с низкого температурного уровня на более высокий, и называется обратным циклом. Перенос теплоты от тела  $A$  к телу  $B$  с минимальной затратой внешней энергии осуществляется с помощью обратного цикла Карно.

### Поговорим об обратимости

С тем чтобы дальнейшие рассуждения стали понятными, авторы должны впервые употребить термин «энтропия» и сделать некоторые пояснения.

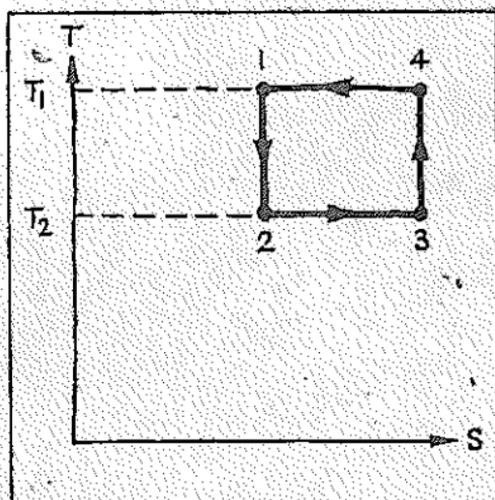
Преращение теплоты в работу происходит согласно второму началу термодинамики, которое можно сформулировать математически, вводя функцию состояния — энтропию  $s$

$$\Delta s = \Delta Q/T.$$

Из этого равенства, в частности, следует, что в изотермических процессах энтропия есть отношение теплоты, сообщенной системе  $\Delta Q$  к ее абсолютной температуре  $T$ . Например, при испарении жидкости изменение энтропии равно отношению теплоты испарения к абсолютной температуре жидкости. Возможны только такие процессы, в которых энтропия остается постоянной (обратимые процессы) либо возрастает (необратимые процессы).

Вернемся к рассмотрению обратного цикла Карно. Этот цикл (рис. 2) состоит из четырех процессов изменения состояния рабочего тела: изотермического отнятия теплоты  $q_0$  от охлаждаемого объекта (2—3), адиабатического (без теплообмена с окружающей средой — в этом процессе энтропия остается постоянной) сжатия (3—4), изотермического подвода теплоты ( $q_0 + q_{\text{вн}}$ ) к окружающей среде (4—1) и адиабатического расширения (1—2). Каждый из процессов яв-

Рис. 2. Схема обратного цикла Карно в  $T, S$ -диаграмме



ляется обратимым. Понятие обратимости является одним из ключевых в термодинамике и не очень просто усваивается. Попробуем дать этому понятию приближенное упрощенное толкование.

Представим себе реальный процесс расширения газа, в результате которого получено, например,  $q_1$  Дж энергии; легко понять, что на сжатие газа до первоначального состояния того же количества энергии окажется недостаточно; часть ее будет утрачена, например, в виде потерь на трение в рабочих органах машины. Такой реальный процесс называется необратимым. Чем больше потери, тем глубже необратимость процесса, тем больше энергии придется тратить извне на возвращение газа в исходное состояние. Стремление к энергетической эффективности процесса заставляет искать такие пути его реализации, когда затраты энергии извне будут минимальными.

Идеальным, хотя и принципиально неосуществимым, случаем будет такой, когда получив при расширении  $q_1$  Дж энергии, мы затратим на сжатие газа, т. е. на возвращение его в начальное состояние, те же  $q_1$  Дж энергии, не больше. Такой идеальный процесс, на реализацию которого в прямом и обратном направлении не требуется затрат энергии извне, и называется обратимым.

Рассмотрим еще один пример, который, как мы надеемся, поможет понять разницу между обратимым и необратимым процессами. Представим себе цилиндрический сосуд, содержащий 1 кг газа в определенном объеме. Сверху цилиндрический сосуд ограничен невесомым поршнем, способным без трения перемещаться внутри цилиндра. На поршне насыпано неко-

торое количество песка. Таким образом, газ внутри цилиндрического сосуда находится под некоторым общим давлением, которое равно атмосферному давлению плюс давление, создаваемое песком. Уменьшая количество песка, находящегося на поршне, мы можем расширять газ до какого-то конечного состояния. Можно представить себе два различных метода расширения газа: в одном случае можно сразу убрать весь песок, а в другом убирать песок не сразу, а по одной песчинке, давая каждый раз газу возможность расширяться на весьма малую долю объема против уменьшающегося внешнего давления.

Если мы убираем песок по одной песчинке (песок предполагается достаточно мелким), то весь процесс расширения газа можно представить себе как ряд постепенных изменений: каждая стадия процесса характеризуется состоянием газа, близким к равновесному, а давление расширяющегося газа на каждой стадии отличается от внешнего давления на весьма малую величину. Такое расширение газа можно рассматривать как обратимое в отличие от расширения, вызванного удалением всего песка сразу.

Идеальный обратимый процесс рассматривают как образцовый, эталонный, процесс, служащий для оценки необратимости реальных процессов. Условием обратимости при работе холодильной машины является постепенное, плавное расширение (сжатие) при минимальных перепадах давления.

Это же понятие (понятие обратимости) применимо и к процессам теплообмена: обратимыми, а значит и наиболее экономичными будут такие процессы подвода и отвода теплоты, которые происходят при бесконечно малой разности температур между источником теплоты и рабочим телом.

Следовательно, обратный цикл Карно, состоящий только из обратимых процессов, является образцовым циклом максимальной энергетической эффективности, образцом, с которым сопоставляются по энергетической эффективности реальные необратимые циклы.

### **Получение умеренно низких температур**

Рассматривая различные способы получения и применения холода, мы будем пользоваться двумя

температурными шкалами. В шкале Кельвина температура отсчитывается от абсолютного нуля (теоретически наиболее низкая температура, до которой принципиально возможно охладить тело) и обозначается  $T$  [К].

В шкале Цельсия за начало отсчета принята температура плавления льда, а температура кипения воды принята за  $100^\circ\text{C}$ .

Температура, измеренная по шкале Цельсия, обозначается как  $t$  [ $^\circ\text{C}$ ].

Соотношение между температурами, измеренными по шкале Кельвина  $T$  и Цельсия  $t$ :

$$T = 273,16 + t.$$

В технических расчетах можно 273,16 округлять до 273.

В холодильной технике существует сложившаяся классификация температурных уровней искусственного охлаждения:

под термином умеренно низкие температуры понимается область температур выше 120 К.

под термином криогенные температуры понимают температуры ниже 120 К, которые достигаются при охлаждении объекта в специальных криогенных установках либо в результате кипения жидких криопродуктов (гелий, водород, азот, кислород);

под термином сверхнизкие температуры понимают температуры ниже 4 К (4 К — температура кипения жидкого гелия);

В области криогенных и сверхнизких температур обычно пользуются шкалой Кельвина.

Шкала Цельсия удобна в области умеренно низких температур, так как температура фазового перехода водных растворов, входящих в состав пищевых продуктов и различных биологических материалов (а они являются основными объектами охлаждения), лежит вблизи  $0^\circ\text{C}$ .

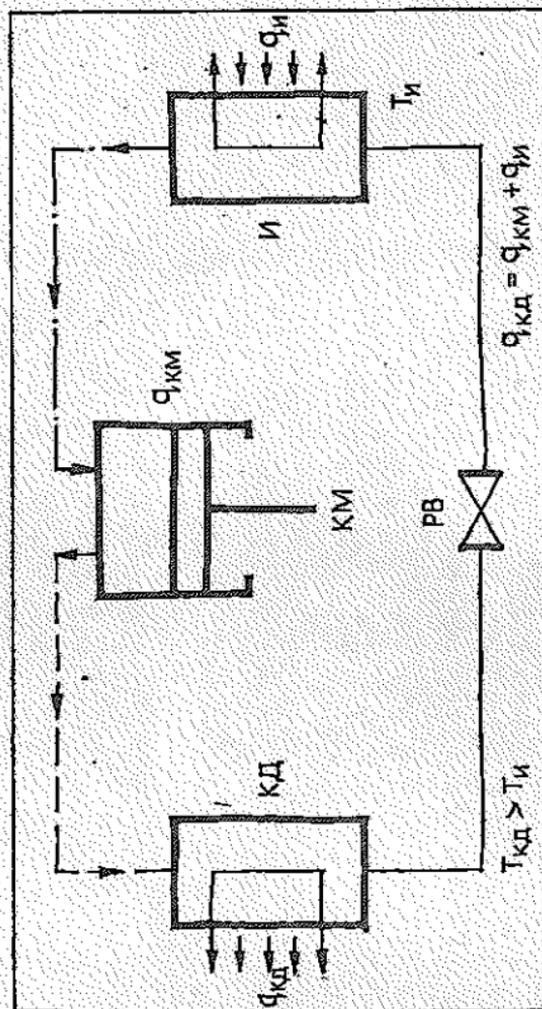
Для получения умеренно низких температур используют холодильные машины: паровые компрессионные, воздушные, абсорбционные, парожеткторные и термоэлектрические.

Начнем с простейшего устройства. Ознакомимся с работой холодильного устройства, которое иногда ис-

пользуют в небольших лабораториях, там, где потребность в холоде невелика и применение более сложной установки нежелательно. Представим себе небольшой шкаф, тщательно изолированный снаружи, например, пробковыми плитами. Тепловая изоляция препятствует проникновению в шкаф теплоты извне; под потолком шкафа подвешена изогнутая трубка (змеевик); один конец змеевика выходит наружу, а второй присоединен к стальному баллону, наполненному жидким диоксидом углерода. Благодаря высокому давлению внутри баллона (порядка 8 МПа) диоксид углерода в баллоне остается в жидком состоянии, хотя при обычном давлении он быстро испаряется. При открывании вентиля, установленного на трубопроводе, соединяющем баллон со змеевиком, жидкий диоксид углерода переходит в змеевик, давление его быстро падает почти до давления наружного воздуха и он начинает бурно кипеть. Необходимая для кипения жидкого диоксида углерода теплота отбирается от предметов, размещенных в шкафу, а также от воздуха; температура в таком устройстве может понижаться до  $-60 \div -70$  °С. Образовавшиеся в змеевике пары выходят в окружающую среду; после опорожнения баллона его заменяют новым.

В описанном устройстве рабочее тело (диоксид углерода) подвергается сжатию и сжижению вне системы охлаждения. Потери диоксида углерода в воздух оправдываются в данном случае только малыми размерами устройства и стремлением сделать систему охлаждения максимально простой по конструкции.

Паровые компрессионные холодильники машины. Эти машины наиболее распространены в современной холодильной технике. Из конденсатора  $KД$  (рис. 3) компрессионной холодильной машины жидкий холодильный агент, имеющий высокое давление (оно может достигать 1,2—1,4 МПа) и температуру  $T_{кд}$ , поступает к устройству, позволяющему снижать давление холодильного агента, — регулирующему вентилю РВ. Если вернуться к рассмотренной раньше схеме, в которой баллон с жидким диоксидом углерода выполнял роль аккумулятора жидкости высокого давления, то роль конденсатора до некоторой степени аналогична роли этого баллона. Однако есть и различие.



Р и с. 3. Принципиальная схема паровой компрессионной холодильной машины:

КМ — компрессор; КД — конденсатор; РВ — регулирующийся вентиль; И — испаритель;  $T_{и}$  — температура испарения (кипения);  $T_{кд}$  — температура конденсации;  $Q_{и}$  — теплота, отводимая от охлаждаемого объекта к холодильной машине в испарителе;  $Q_{кд}$  — теплота, отводимая от холодильной машины к окружающей среде в конденсаторе;  $Q_{км}$  — энергия, необходимая для работы компрессора

Если запас диоксида углерода в баллоне ограничен, то запас жидкости высокого давления в конденсаторе непрерывно возобновляется. Как? Об этом чуть ниже. После перехода через узкое отверстие регулирующего вентиля *PВ* давление холодильного агента снижается и он попадает в трубопровод испарителя *И*. Прикрывая или открывая регулирующей вентиль, мы можем изменять (понижать или повышать) давление в испарителе *И*. Понижая давление в испарителе, мы создаем условия, при которых холодильный агент кипит (обычно при температурах  $-10^{\circ}$ — $-25^{\circ}\text{C}$ ). Необходимую для кипения теплоту холодильный агент получает от продуктов, находящихся в теплоизолированном контуре (т. е. в холодильной камере). Это может быть также описанный выше теплоизолированный шкаф, тогда испарителем будет являться расположенный в нем змеевик. Отдавая теплоту кипящему холодильному агенту, продукты (или охлаждаемые объекты), находящиеся в изолированном вместе с испарителем контуре, охлаждаются, в то время как холодильный агент кипит, поглощая подведенную теплоту. Компрессор *КМ*, отсасывая образовавшиеся пары холодильного агента, сжимает их до давления, немного большего, чем давление в конденсаторе, и выталкивает в конденсатор. Каждый, кто накачивал велосипедным насосом шины, чувствовал повышение температуры корпуса насоса, которое происходит вследствие сжатия воздуха. Аналогичное явление происходит в компрессоре. Поступившие в конденсатор сжатые горячие пары холодильного агента охлаждаются проточной водой или воздухом и мало-помалу обращаются в жидкость, т. е. конденсируются. Жидкий холодильный агент вновь направляется к регулирующему вентилю *PВ*, и описанный процесс повторяется снова. Чтобы сжать пары холодильного агента, необходимо затратить энергию в компрессоре  $q_{км}$ . Эта энергия вместе с теплотой, отводимой от объекта охлаждения  $q_{п}$ , передается окружающей среде в конденсаторе:  $q_{кд} = q_{км} + q_{п}$ .

Как следует из описанной схемы, в паровой компрессионной холодильной машине происходит перенос теплоты к более высокому потенциалу (температура  $T_{кд}$ ) от более низкого потенциала (температура  $T_{п}$ ),

на что в компрессоре затрачивается механическая работа  $q_{км}$ . Температуры кипения холодильного агента  $T_{кп}$  и конденсации  $T_{кд}$  в установившемся режиме работы паровой компрессионной холодильной машины являются постоянными величинами.

В качестве холодильных агентов в паровых компрессионных холодильных машинах применяют аммиак (температура кипения при атмосферном давлении —  $33,4^{\circ}\text{C}$ ) и группу углеводородных соединений — фреонов. Температура кипения при атмосферном давлении наиболее распространенных из них: R12— $28,8^{\circ}\text{C}$ , а R22— $40,8^{\circ}\text{C}$ .

Аммиак  $\text{NH}_3$  является наиболее распространенным холодильным агентом. К положительным свойствам аммиака можно отнести относительно низкую температуру кипения при атмосферном давлении и не очень высокое давление конденсации при температурах окружающей среды. Немаловажно и то, что производство аммиака организовано в массовом масштабе. Он доступен и относительно дешев. Некоторые исследователи полагают, что в определенных физических условиях (такие условия имеются, видимо, на Юпитере) аммиак в принципе может служить основой гипотетических форм жизни, выполняя ту роль, которую на Земле играет вода. Однако, когда вы познакомитесь с аммиаком поближе, эта гипотеза вряд ли вас привлечет. В самом деле, в нормальных условиях (т. е. при атмосферном давлении) аммиак представляет собой бесцветный газ с удушливым запахом, вызывающим раздражение слизистой оболочки глаза и верхних дыхательных путей.

В связи с токсичностью и пожаро- и взрывоопасностью аммиака эксплуатация аммиачных холодильных машин требует строжайшего соблюдения правил техники безопасности. Расширение применения фреонов (особенно R12 и R22) связано главным образом с их меньшей токсичностью (по сравнению с аммиаком). В небольших количествах фреоны практически безвредны для человека. Будучи примерно в 3,5 раза тяжелее воздуха, фреоны вытесняют кислород, а при соприкосновении с открытым пламенем (при температуре около  $400^{\circ}\text{C}$ ) разлагаются, выделяя ядовитый газ — фосген.

Фреоны более текучи, чем аммиак, практически нерастворимы в воде и хорошо растворимы в смазочных маслах. Эти свойства фреонов принимают во внимание при конструировании компрессоров и теплообменной аппаратуры.

Паровые компрессионные холодильные машины наиболее распространены в современной технике; в частности, такими машинами оборудовано большинство домашних холодильников. С понижением температуры кипения растут удельные затраты энергии на производство холода. Это связано с тем, что при повышении давления повышается температура паров холодильного агента на выходе из компрессора (возрастает теплота перегрева) и увеличиваются потери энергии при дросселировании в регулирующем вентиле (дросселированием называют резкое снижение давления жидкости или газа при прохождении их через суженное отверстие — дроссельный клапан, вентиль, пористую перегородку).

Выше мы говорили о получении температур  $-10 \div -25$  °С. Ну а если нам нужны более низкие температуры, например,  $-30 \div -50$  °С. В этом случае в целях повышения технико-экономических показателей паровых компрессионных холодильных машин применяют двухступенчатое сжатие, а при более низких температурах — трехступенчатые и каскадные холодильные машины. Двухступенчатое и вообще многоступенчатое сжатие предполагает разделение процесса сжатия холодильного агента на две или несколько ступеней. Основные достоинства такого метода состоят в следующем:

пары холодильного агента после сжатия в ступени низкого давления и связанного с этим перегрева могут быть охлаждены, вследствие чего уменьшаются объем паров и, следовательно, работа сжатия этого уменьшенного объема в следующей ступени;

при разделении процесса сжатия на несколько ступеней возникает возможность работать с несколькими различными температурами кипения, что в ряде случаев целесообразно, в практике применения холода.

Каскадные холодильные машины применяются для получения температур до  $-120$  °С. Каскадная холо-

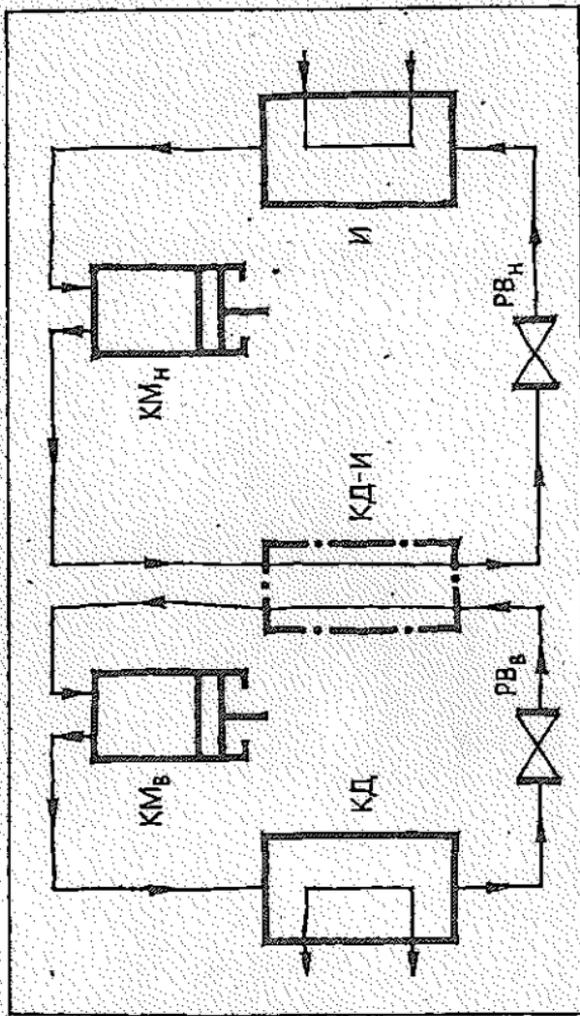


Рис. 4. Принципиальная схема каскадной холодильной машины:  
 КМ<sub>д</sub> и КМ<sub>в</sub> — компрессоры нижней и верхней ветвей; КД — конденсатор; РВ<sub>д</sub> и РВ<sub>в</sub> — регулирующие вентили нижней и верхней ветвей; КД-И — конденсатор-испаритель; И — испаритель

дильная машина (рис. 4). состоит из нижней и верхней ветвей. По существу, каскадная машина — это две совместно работающие холодильные машины. В нижней ветви каскада используют холодильную машину, работающую на холодильном агенте с низкими температурами кипения и конденсации. Благодаря этому система работает при атмосферном давлении или под небольшим вакуумом. Верхняя ветвь каскада работает на холодильном агенте с более высокой температурой кипения и более высокой температурой конденсации. Испаритель верхней ветви каскада служит конденсатором для нижней. В обеих ветвях каскада могут работать одно-двухступенчатые холодильные машины.

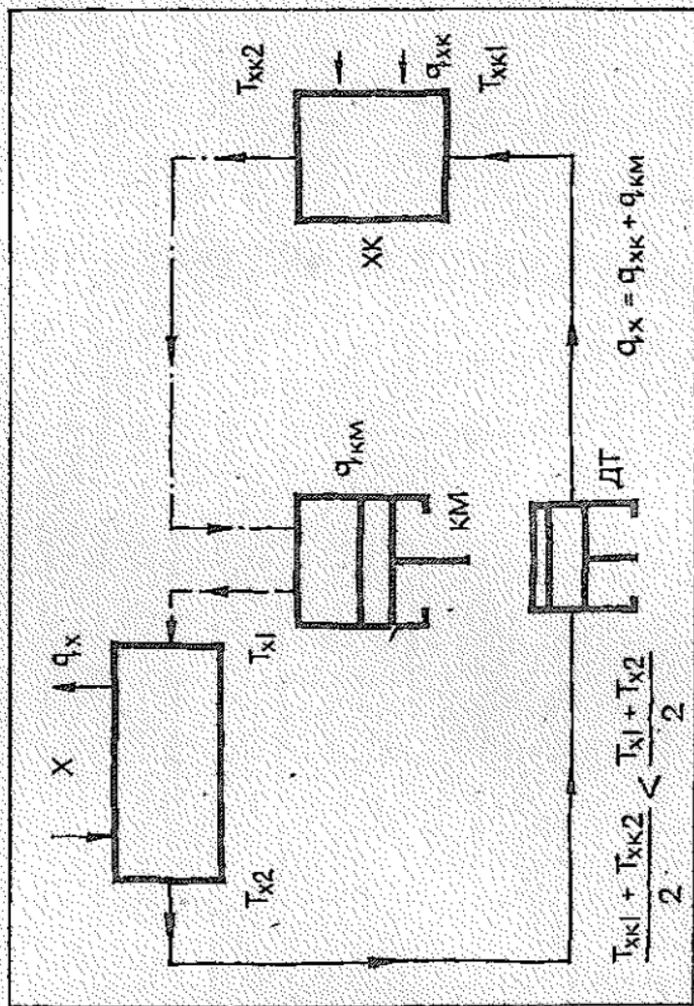
Основная идея использования каскадной холодильной машины заключается в следующем: две холодильные машины работают таким образом, что теплота, передаваемая конденсатором нижней ветви каскада, воспринимается испарителем верхней ветви. Каскадная холодильная машина обладает рядом практических преимуществ:

вследствие уменьшения перепада давлений компрессоры как нижней, так и верхней ветви работают с высокой эффективностью;

каскадная схема позволяет осуществлять совместную работу машин с различными холодильными агентами, причем в различных интервалах температур применяют такие холодильные агенты, которые им наиболее соответствуют.

**Холод с помощью воздуха.** В воздушной холодильной машине рабочее тело в течение цикла не изменяет своего агрегатного состояния. Рабочим телом является воздух, доступный, распространенный и абсолютно безопасный.

Получение низких температур в воздушной холодильной машине осуществляют путем адиабатического расширения, сопровождаемого производством внешней работы. Принцип действия воздушных холодильных машин основан на том, что при расширении воздуха с падением давления падает и температура. Такой воздух может уже выполнять роль носителя холода и может быть направлен в помещение, где требуется понизить температуру. Отнимая там тепло-



Р и с. 5. Принципиальная схема воздушной холодильной машины: КМ — компрессор; ХК — холодильная камера; Х — холодильный танкер (расширитель); Т<sub>х1</sub> — температура воздуха на выходе из компрессора; Т<sub>х2</sub> — температура воздуха на выходе из холодильника; Т<sub>хк1</sub> — температура воздуха на входе в холодильную камеру; Т<sub>хк2</sub> — температура воздуха на выходе из холодильной камеры; Q<sub>хк</sub> — теплота, воспринимаемая воздухом в холодильной камере; Q<sub>км</sub> — энергия, необходимая для работы компрессора

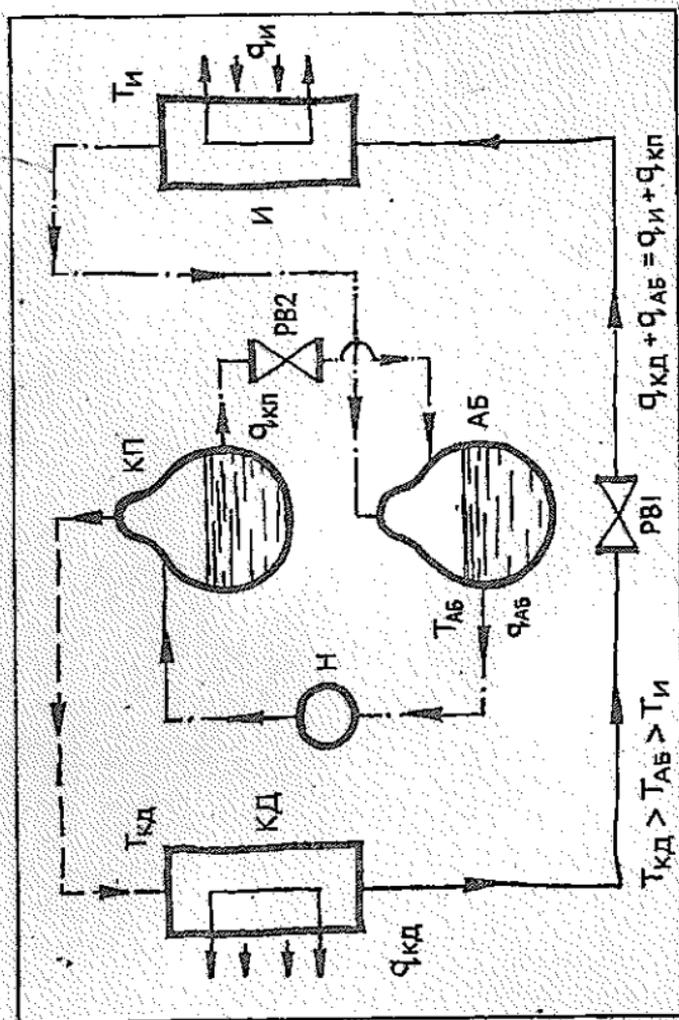


Рис. 6. Принципиальная схема абсорбционной холодильной машины:  
 И — испаритель; КП — кипятильник; АБ — абсорбер; КД — конденсатор; РВ1 —  
 регулирующий вентиль; РВ2 — вентиль, соединяющий кипятильник и абсорбер;  
 Н — насос;  $T_{\text{и}}$  — температура испарения (кипения);  $T_{\text{аб}}$  — температура абсорб-  
 ции;  $T_{\text{кд}}$  — температура конденсации;  $q_{\text{и}}$  — теплота, поглощаемая в испарителе;  
 $q_{\text{кд}}$  — теплота, подводимая в кипятильнике;  $q_{\text{аб}}$  — теплота абсорбции;  $q_{\text{ид}}$  —  
 теплота конденсации

ту, воздух нагревается и возвращается к исходному состоянию. Схема воздушной холодильной машины представлена на рис. 5. Воздух температурой  $T_{\text{хн1}}$ , более низкой, чем температура в холодильной камере, при атмосферном давлении поступает в холодильную камеру  $ХК$ , где воспринимает теплоту  $q_{\text{хк}}$  от охлаждаемого продукта, а сам при этом нагревается до  $T_{\text{хн2}}$ . Далее воздух засасывается компрессором  $КМ$ , который осуществляет его адиабатическое сжатие, на что затрачивается энергия  $q_{\text{км}}$  и температура воздуха повышается до  $T_{\text{х1}}$ . Воздух, сжатый компрессором, охлаждается в холодильнике  $Х$  до температуры  $T_{\text{х2}}$ , отдавая окружающей среде теплоту  $q_{\text{хк}} + q_{\text{км}}$ . После холодильника воздух поступает в расширительный цилиндр (детандер)  $ДТ$ , расширяется в нем адиабатически, охлаждаясь при этом до температуры  $T_{\text{хн1}}$ . Далее цикл повторяется.

Воздушная холодильная машина позволяет получать на входе в холодильную камеру температуры  $-60 \div -80^\circ\text{C}$  и даже ниже.

Химия плюс теплота — тоже холод. В абсорбционной<sup>1</sup> машине (рис. 6) для получения холода используется теплота. В рабочем процессе абсорбционной холодильной машины участвуют два полностью взаимно растворимых вещества (например, вода и аммиак), одно из которых (аммиак) является собственно холодильным агентом, а другое (вода) — абсорбентом. Аммиак активно поглощается водой (в обиходе такая смесь называется нашатырным спиртом), при температуре  $0^\circ\text{C}$  в 1 объеме воды растворяется до 1148 объемов пара аммиака.

Повышение давления холодильного агента достигается так называемой термохимической компрессией, для осуществления которой необходимо, чтобы водо-аммиачный раствор циркулировал в замкнутом цикле, состоящем из кипятыльника, абсорбера (поглотителя), насоса, трубопроводов и арматуры.

Если проводить аналогию с компрессионными холодильными машинами, то кипятыльник по своему функциональному назначению оказывается аналогичным нагнетательной стороне поршневого компрессора,

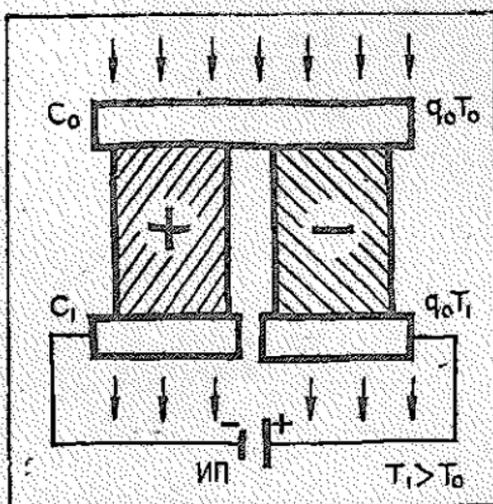
<sup>1</sup> Вспомните, что абсорбция — это поглощение одного вещества другим.

а абсорбер — всасывающей. Но такая машина работает без затраты механической энергии, за исключением небольшого расхода ее на работу насоса. В кипяильнике *КП*, к которому подводится теплота, кипит раствор, состоящий из двух уже известных вам компонентов (вода и аммиак), имеющих различные температуры кипения. Образовавшийся пар легкокипящего компонента (аммиак кипит при более низкой температуре, чем вода) поступает в конденсатор *КД*, где конденсируется, отдавая окружающей среде теплоту  $q_{кд}$  при температуре  $T_{кд}$  (напоминаем, что давление в конденсаторе определяется температурой охлаждающей среды). Итак, сконденсированный холодильный агент дросселируется в регулирующем вентиле *РВ1*, и поступает в испаритель *И*, где кипит при температуре  $T_{и}$  за счет подвода теплоты  $q_{и}$  от объектов. Пары, образовавшиеся в результате кипения, поступают в поглотитель (абсорбер) *АБ*, где поглощаются невыпаренной частью жидкости, поступающей в абсорбер из кипяильника через вентиль *РВ2*. В нашем примере пары аммиака, поступающие из испарителя в абсорбер, поглощаются слабым водоаммиачным раствором. Процесс поглощения паров аммиака идет с выделением теплоты  $q_{аб}$ , которая отводится в окружающую среду при температуре  $T_{аб}$ . Водоаммиачный раствор из абсорбера насосом *Н* перекачивается в кипяильник *КП*, где происходит его разделение. Далее цикл повторяется. За последние годы выпуск и использование абсорбционных холодильных машин резко возросли. Причина? Эти машины могут использовать для своей работы отработавший пар ТЭЦ, т. е. энергию низкого потенциала.

**Холод напрямую из розетки.** Работа термоэлектрической холодильной машины основана на эффекте выделения или поглощения теплоты в местах контакта (спаях) разнородных полупроводников, называемых ветвями термоэлемента, при прохождении через них электрического тока. Сущность этого эффекта заключается в том, что под воздействием электрического поля электроны, перемещаясь из одной ветви термоэлемента в другую, переходят в состояния с большей энергией. Спай охлаждается вследствие того, что энергия электронов повышается за счет кинетической

Рис. 7. Принципиальная схема термоэлектрической холодильной машины:

ИП — источник питания;  $C_0$  — спай, поглощающий теплоту;  $C_1$  — спай, выделяющий теплоту;  $T_0$  — температура спая  $C_0$ ;  $T_1$  — температура спая  $C_1$ ;  $q_0$  — поглощаемая теплота



энергии, отбираемой от атомов ветвей термоэлемента в местах их сопряжения. В случае изменения направления тока на обратное электроны переходят на более низкий энергетический уровень, отдавая при этом избыточную энергию атомам кристаллической решетки, а спай нагревается.

Термоэлемент (рис. 7) состоит из двух последовательно соединенных полупроводниковых элементов с электронной ПЭ(—) и с дырочной ПЭ(+) проводимостью. С помощью медных пластинок полупроводниковые элементы образуют спаи. Термоэлектрические элементы можно последовательно соединять друг с другом в батареи. При пропускании постоянного тока через термоэлемент на одном из спаев  $C_0$  будет поглощаться теплота  $q_0$  при температуре спая  $T_0$ , а на другом выделяется теплота  $q_0$  при температуре  $T_1$ . Таким образом, в термоэлектрической холодильной машине роль холодильного агента выполняет «электронный газ».

### Доставка холода потребителю

Транспортирование холода к охлаждаемому объекту, или, вернее, отнятие теплоты от охлаждаемого объекта, может осуществляться различным путем.

Первый способ заключается в том, что испаритель холодильной машины размещают в теплоизолирован-

ной холодильной камере (так, например, осуществляется охлаждение в домашнем холодильнике). Такой способ охлаждения называют непосредственным.

Второй способ состоит в том, что испаритель холодильной машины располагают вне холодильной камеры. В этом случае он представляет собой теплообменный аппарат, в котором охлаждается некоторая жидкость, называемая промежуточным хладоносителем. Обычно в качестве промежуточных хладоносителей используют рассолы (водные растворы хлористого натрия и кальция, температура замерзания которых составляет соответственно около  $-21$  и  $-55^{\circ}\text{C}$ ). Такой способ охлаждения называют рассольным. С помощью системы трубопроводов промежуточный хладоноситель (рассол) насосами направляют к охлаждаемым объектам (т. е. в холодильные камеры), где он отепляется, и вновь возвращается в испаритель. Рассольный способ охлаждения требует при равных условиях больших затрат энергии, чем способ непосредственного охлаждения. Это связано с дополнительными потерями при передаче теплоты от продукта к рассолу и от рассола к холодильному агенту. Вместе с тем рассольный способ охлаждения обладает и определенными достоинствами (аккумуляция холода, большая безопасность).

### **Получение криогенных и сверхнизких температур**

Обратили ли вы внимание на то, что, изучая методы получения холода, мы постепенно опускаемся все ниже и ниже по температурной шкале? Прекрасно! Вот сейчас мы, наконец, достигли криогенных температур, верхний уровень которых четко установлен:  $120\text{ K}$ , а нижний... но о нем мы еще успеем поговорить. А пока посмотрим, каковы способы получения холода на уровне криогенных температур. Чтобы получить столь низкую температуру, нужно, по-видимому, иметь какую-нибудь криогенную жидкость. Вот и настало время познакомить вас с наиболее известными криогенными жидкостями (криоагентами) и температурой их кипения при атмосферном давлении:

Кислород	90К (—183°С)
Воздух	80К (—193°С)
Азот	77К (—196°С)
Водород	20К (—253°С)
Гелий	4К (—269°С)

Жидкие кислород, водород и воздух применяют как криоагенты относительно редко вследствие их высокой химической активности, другими словами — взрывоопасности.

Жидкий азот — наиболее распространенная и относительно дешевая криогенная жидкость (стоимость ее составляет около 40 руб. за тонну). Эта криогенная жидкость химически нейтральна, не реагирует с охлаждаемыми объектами. Отвод азота в атмосферу безвреден для окружающей среды: в самом деле, в обычном воздухе около 70% азота. В то же время температурный уровень, получаемый с помощью жидкого азота, обеспечивает длительную сохранность различного биологического сырья. Скажем больше, при температуре жидкого азота продолжительность хранения практически бесконечна.

В настоящее время в ряде стран, в том числе и в нашей стране, начинают использовать автомобильные рефрижераторы, охлаждаемые с помощью жидкого азота, заливаемого наподобие бензина в специальный резервуар, оснащенный высококачественной изоляцией. Азот распыляется в кузове с помощью автоматического дозатора и поддерживает в нем заданную температуру.

Жидкий азот применяют также для быстрого замораживания желез внутренней секреции сельскохозяйственных животных, желез, собираемых на мясокомбинатах и являющихся ценным сырьем для получения медицинских препаратов, таких, как инсулин, адреналин, пепсин и т. п.

Получение криогенных жидкостей — процесс сложный, требующий особого технического оснащения и достаточно дорогостоящий: при понижении температуры затраты энергии резко возрастают. Первым этапом ожижения является сжатие газа до давления в сто раз больше атмосферного, при котором он нагревается, а образовавшаяся теплота отводится в окружающую среду. Сжатый газ охлаждается в теплообменнике, а затем расширяется; при этом его кинети-

ческая энергия расходуется на осуществление работы. Уменьшение кинетической энергии приводит к дальнейшему охлаждению газа. На этой стадии одна часть его ожидается, а другая возвращается в теплообменник; в дальнейшем цикл повторяется.

Особые трудности вызывает получение сверхнизких температур порядка  $1\text{ К}$  и ниже, т. е. температур, близких к абсолютному нулю (сверхнизкие температуры). Такие температуры получают с помощью изотопа гелия  $\text{He}^3$ , кипящего при пониженном давлении. Это связано с тем, что обычный гелий при температуре  $2,17\text{ К}$  переходит в состояние сверхтекучести<sup>1</sup>, что существенно затрудняет его дальнейшее охлаждение. В более легком изотопе  $\text{He}^3$  такого эффекта при этой температуре не наблюдается, и поэтому его можно охладить до температуры несколько ниже  $0,5\text{ К}$  путем понижения давления, при котором кипит  $\text{He}^3$ . Для получения температур около  $1\text{ К}$  используют также метод парамагнитного размагничивания и сверхпроводящего намагничивания<sup>2</sup>.

Первая непрерывнодействующая магнитная холодильная машина была сконструирована американским физиком Дауном в 1949 г. В машине Дауна использован эффект существенного уменьшения теплопроводности свинца при состоянии электрической сверхпроводимости. С помощью магнитной холодильной машины можно получать температуры около  $0,2\text{ К}$ . Столь низкие температуры применяют в специальных физических исследованиях<sup>3</sup>. Изучение свойств материи при температурах, близких к абсолютному нулю, где тепловое движение молекул и колебание атомов затухают, представляет громадный интерес.

### **3. Энергетическая цена холода и энергетические отходы**

Энергетика — основа развития всех существующих технологий. Производство энергии в нашей стране по-

<sup>1</sup> Сверхтекучесть жидкого гелия была открыта выдающимся советским ученым лауреатом Нобелевской премии академиком П. Л. Капицей.

<sup>2</sup> Джолли У. П. Криоэлектроника. — М.: Мир, 1975. — 182 с.

<sup>3</sup> См. например, Манжелей В. Г. Криокристаллы. — Природа, 1983, № 7, с. 64—74.

стоянно расширяется и совершенствуется, непрерывно снижается удельный расход условного топлива на ТЭС. Вместе с тем и потребление энергии во всех сферах народного хозяйства непрерывно возрастает.

Так, для сельскохозяйственного производства необходимы минеральные удобрения, пестициды, средства орошения, осушения и сельскохозяйственные машины, что связано со значительными затратами энергии, получаемой от различных источников (уголь, нефть, газ и др.). И как ни печально, эти затраты превышают чуть ли не в шесть раз те, которые «расходуется» природой (в виде солнечной энергии) на выращивание сельскохозяйственной продукции. Однако если мы превысим расход энергии (получаемой от упомянутых выше невозобновляемых источников) за пределы  $15 \text{ ГДж/га}^1$ , то возникнет реальная опасность для окружающей нас среды.

Мы непрерывно увеличиваем производство продуктов питания, что требует повышения затрат энергии в сельском хозяйстве. Повышаем урожай — возрастают и потери. Сейчас и в обозримом будущем основным средством сохранения продуктов является холод, на производство которого необходимо затрачивать энергию.

Поэтому главная задача заключается в том, чтобы разработать методы, способные сократить удельный расход энергии на производство холода, т. е. снизить «энергетическую цену» холода. Это можно осуществлять, используя низкопотенциальную теплоту и другие «энергетические отходы» производств.

### **Откуда берется энергия для холода и всего остального**

Итак, чтобы получить холод, нужно затратить энергию. Однако чтобы освещать и отапливать здания, чтобы ездить на автомашинах, поездах, чтобы обеспечить работу промышленных предприятий, тоже необходима энергия.

Откуда берется эта вечная и бесконечная энергия? Где она производится? Увы, энергию мы не произво-

<sup>1</sup> Жученко А. А. Адаптивная стратегия в интенсивном растениеводстве. — Природа, 1982, № 12, с. 100—104.

дим. Мы либо непосредственно используем солнечную энергию, либо берем энергию из «сберегательной кассы» природы. Берем то, что природа создала за миллиарды лет своего существования. Берем успешно в виде газа, угля, нефти и т. д. Настолько успешно, что остатки органического топлива уже не столь бесконечны. За последние 15 лет мировое потребление энергии увеличивается ежегодно примерно на 5%. Вот почему данные прогнозов по энергоресурсам необходимы для выработки представлений относительно будущего производства искусственного холода.

За последние 100 лет потребление энергии возросло в  $10^3$  раз. В настоящее время для производства примерно 75% электроэнергии используется органическое топливо (нефть, газ, уголь). Специалисты расходятся в оценке невозпроизводимых запасов этого топлива, однако средняя цифра, называемая ими, — 150—200 лет. При этом более 80% этих запасов составляет уголь, а наиболее необходимые для промышленности нефть и газ — около 20%. Заметим, что себестоимость 1 кВт·ч электроэнергии на тепловых станциях при использовании природного газа составляет 0,12 коп., а угля 0,31 коп.<sup>1</sup>

Современные прогнозы развития энергетики предполагают стабилизацию удельного потребления энергии, а следовательно, при стабилизации роста населения, и производства энергии к концу XXI века.

Одним из массовых потребителей энергии является автомобиль. Сейчас автомобилей выпускается около 30 млн. шт. в год, а ежегодное их производство увеличивается примерно на 8%. Автомобили оказались чрезвычайно плодовитыми. Они «размножаются» в несколько раз интенсивнее тех, кто ими пользуется, и, вполне возможно, что численность автомобилей скоро будет соизмерима с численностью людей, живущих на Земле.

Тенденции, связанные с увеличением энергозатрат, прослеживаются и в холодильной технике, современный этап развития которой характеризуется:

неуклонным ростом потребления холода практиче-

---

<sup>1</sup> Козлов В. Б. В поисках чистой энергии. — М.: Знание, 1979. — 95 с.

ски во всех отраслях народного хозяйства и здравоохранения (в количественном выражении);

постепенным понижением среднего температурного уровня его использования. Так, рекомендуемое значение температуры замороженного мяса изменялось от  $-12^{\circ}\text{C}$  (предвоенные годы) до  $-30^{\circ}\text{C}$  (последние рекомендации ВНИКТИХолодпрома);

четко выраженным стремлением перехода к высокоинтенсивным процессам.

Отметим, что при охлаждении пищевых продуктов расходуется примерно 500 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади холодильной камеры, а при замораживании — около 900 Вт. Хранение замороженного продукта «стоит» около 65 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади камеры.

Иллюстрацией изменения удельных энергозатрат при интенсификации процессов холодильной обработки являются приводимые ниже значения удельных энергозатрат в зависимости от продолжительности замораживания мясных полутуш. Сокращение продолжительности замораживания достигается снижением температуры среды и повышением скорости воздуха.

Продолжительность замораживания, ч	32	32	30	27	25	23
Удельные энергозатраты, кВт·ч/т	1750	1650	1520	1370	1350	1480

Данные показывают, что минимум энергозатрат уже достигнут (при продолжительности замораживания менее 25 ч удельные энергозатраты начинают возрастать).

Итак, дилемма: с одной стороны нужен рост производства холода как необходимого условия развития народного хозяйства при непрерывном увеличении численности населения, с другой стороны нужны ограничения в потреблении энергии. Как предвидел К. Э. Циолковский, наступило время выносить производство энергии для Земли в космос. Когда-нибудь человечество к этому придет. Сегодня же возникает задача оптимального использования энергии (особенно высокопотенциальной). Как следствие, преимущественное развитие получают те методы холодильной обработки, при которых эта энергия затрачивается предельно экономно, рационально и с минимальными отходами.

## Отходы теплоты — «доходы» холода

Отходы производства и отходы потребления (увы!) — они непрерывно растут. Это дань прогрессу и цивилизации. Это дым из заводских труб, кипы старых газет, пакеты из-под молока, сточные воды... но не стоит продолжать. Отходы не просто негативная сторона нашей жизни — это неиспользованный общественный труд. Однако мы перечислили лишь «видимые» отходы, не меньше отходов «невидимых»: энергетических, тепловых.

Осуществление любой технической, технологической или транспортной операции требует затрат энергии на вполне определенном уровне (потенциале). Так, для термической обработки колбасных изделий требуются затраты теплоты, уровень которой определяется температурой пастеризации ( $+72^{\circ}\text{C}$ ). Ниже этого уровня теплота в данном технологическом процессе не может быть использована. Однако это совсем не значит, что ее нельзя использовать вообще. Например, размораживание осуществляется при температуре  $16^{\circ}\text{C}$ , вследствие чего энергия вентиляционных выбросов цехов термической обработки колбасных изделий может быть использована для размораживания.

Идеальной является такая схема технологического процесса, при которой используется на различных уровнях весь энергетический потенциал. В этом случае процесс будет безотходным.

Использование в производственном цикле всего энергетического потенциала является необходимым условием создания «замкнутых», т. е. «безотходных», технологических процессов, с реализацией которых связывают сегодня решение экологических проблем ближайшего будущего. Промышленные и транспортные предприятия по возможности стремятся использовать энергию на различных уровнях. Однако такое стремление наблюдается сейчас преимущественно в целях использования энергии лишь для нужд собственного производства. Кроме того, частичная регенерация энергии осуществляется, как правило, без изменения основной целевой функции ее использования (классический пример — использование тепловой

энергии отходящих газов на ТЭЦ для подогрева воды, подаваемой в котлы). Кстати, отметим, что в среднем на 1 кВт установленной мощности ТЭЦ необходимо 5—8 м<sup>2</sup> площади поверхности водохранилища — охладителя. Между тем производство холода представляется в настоящее время одним из наиболее перспективных направлений использования энергетических отходов.

Так, к примеру, теплоту относительно низкого потенциала (до 100°С) можно использовать для получения холода с помощью абсорбционных холодильных машин, о которых мы уже говорили.

Значительные потери энергии имеют место при транспортировке природного газа по магистральным трубопроводам. По условиям эксплуатации давление газа в магистральных трубопроводах составляет (35—50) 10<sup>5</sup>Па и имеет тенденцию расти (при более высоком давлении производительность газопровода увеличивается). Для поддержания такого давления затрачивается энергия в значительном количестве: на всем протяжении газопровода устанавливаются поджимные компрессионные станции. Газ под таким давлением поступает потребителю (обычно крупный город или индустриальный центр). Однако в газораспределительных сетях такое большое давление уже не нужно. Более того, оно нежелательно по соображениям безопасности. И давление снижают до (3—12) 10<sup>5</sup>Па, снижают с помощью простых дроссельных устройств на газораспределительных станциях.

А энергия? Куда девается потенциальная энергия давления газа? Превращается в энергетические отходы. Между тем, как известно, при дросселировании температура газа понижается, а следовательно, холодный газ (температура газа зависит от степени снижения давления и ориентировочно составляет —50°С) может служить источником холода, охлаждая (через промежуточный хладоноситель), например, камеры холодильника. Но это еще не все. Замена дросселя детандером (детандер—машина, преобразующая потенциальную энергию сжатого газа в механическую работу и позволяющая осуществлять расширение термодинамически более выгодно, чем дроссель) дает возможность почти полностью утилизировать избыточ-

ный перепад давления магистрального газа, а полученную энергию использовать для повышения холодопроизводительности.

На современных металлургических предприятиях для интенсификации процессов выплавки широко применяется кислородное дутье. Необходимый для производства кислород получается из атмосферного воздуха путем разделения его на нужный для металлургического производства кислород и ненужный для металлургии азот. Азот зачастую выбрасывается в атмосферу, а следовательно, энергия, затраченная на разделение воздуха, используется лишь частично.

Если сжимать азот, уже выделенный из атмосферного воздуха, с использованием для этих целей потенциальной энергии природного газа, то из «отходов» энергии может быть получен универсальный источник холода — жидкий азот. Применение жидкого азота для сохранения пищевых продуктов весьма перспективно.

В настоящее время оно сдерживается сравнительно высокой его стоимостью.

Не следует, однако, думать, что производство холода является экологически чистым процессом. По своей физической природе производство холода связано со сбросом теплоты в окружающую среду. Чем ниже потребный температурный уровень, тем больше количество «сбрасываемой» теплоты (например, на уровне гелиевых температур отвод от охлаждаемого объекта 1 Дж энергии окупается сбросом в окружающую среду 1000 Дж).

Вообще экологически чистых процессов и технологий просто не существует. Отметим, что в настоящее время в среднем лишь около 10% извлекаемых из природы ресурсов используется непосредственно на нужды технологии, остальное (90%) рассеивается. Замкнутую, экологически чистую систему производства товаров и услуг можно представить себе лишь как сообщество различных производств — точно так же, как жизнь на Земле может мыслиться не иначе как сообщество различных форм организмов. И вот в таком сообществе производств роль холода, являющегося потенциальным приемником вторичных энергетических ресурсов, может быть очень существенной.

## Как холод экономит топливо

Климат большинства районов нашей страны суров, гораздо более суров, чем климат других развитых государств; в связи с этим расход энергии на тепло-снабжение зданий велик и составляет около 40% всего добываемого топлива<sup>1</sup>.

Наиболее распространенный, а до изобретения холодильной машины и единственный способ получения теплоты для целей отопления состоит в сжигании топлива и передаче теплоты от горячих продуктов сгорания (либо непосредственно, либо через промежуточный теплоноситель) воздуху отапливаемого помещения. Почему же невыгодно обогревать комнату каминном, неважно даже каким — дровяным или электрическим? Потому, что температура продуктов сгорания 900—1000°C, а необходимая температура в помещениях около 20°C. В этих условиях теплообмен сопровождается потерей работоспособности энергии.

Работоспособностью, или полезной работой, или эксергией<sup>2</sup> (термин предложен югославским ученым Рантом), называют максимальное количество технической работы, которое в состоянии совершить рабочее тело данной природы, находящееся в заданном начальном состоянии при взаимодействии его с окружающей средой.

Эксергия служит мерой качества энергии. Механическая и электрическая энергия обладают стопроцентной работоспособностью и могут полностью переходить в другие виды энергии. Иначе обстоит дело с внутренней энергией, которая зависит от теплового движения молекул и которую нельзя полностью превратить в электрическую энергию или механическую работу (обратный процесс возможен).

Невозможность стопроцентного превращения внутренней энергии в механическую работу связана с хаотическим неупорядоченным движением молекул. Поэтому при превращении внутренней энергии в другие

<sup>1</sup> Богословский В. Н. Строительная теплофизика. — М.: Высшая школа, 1982. — 407 с.

<sup>2</sup> Популярное и в то же время строгое изложение основ эксергетического анализа приводится в статье В. М. Бродянского. Энергия. Проблема качества. — Наука и жизнь, 1982, № 3, с. 85—95.

формы энергии часть этой энергии расходуется на упорядочение движения.

Постараемся пояснить сказанное наглядными примерами. В районе Оймякона, где температура в зимний период понижается до  $-70^{\circ}\text{C}$ , внутренняя энергия вещества с той же температурой (скажем, стакан снега при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$ ) «мертва» и не может быть превращена в работу. В этих же условиях внутренняя энергия содержащейся в стакане воды, имеющей температуру  $40^{\circ}\text{C}$ , обладает определенной работоспособностью (эксергией).

Ситуация принципиально изменится, если перенести оба стакана (со снегом при температуре  $-70^{\circ}\text{C}$  и с водой при температуре  $+40^{\circ}\text{C}$ ) куда-нибудь в район Ашхабада. Здесь уже работоспособностью будет обладать снег, а внутренняя энергия содержащейся в стакане воды потеряет работоспособность.

Из приведенных примеров видно, что качество энергии теплоносителя (работоспособность или эксергия) определяется как состоянием их самих (температура, давление), так и состоянием окружающей среды.

В энергетических превращениях, происходящих в технологических процессах и живой природе, эксергия, как энергия, не может возрастать; в идеальных процессах эксергия остается постоянной, а в реальных уменьшается. Уменьшением эксергии характеризуется бесполезное рассеяние энергии в окружающей среде. Чем меньше снижается эксергия, тем выгоднее, лучше осуществляется процесс преобразования энергии.

Отопление зданий и сооружений, осуществляемое путем сжигания топлива, связано со значительным рассеянием энергии и, следовательно, с большими потерями эксергии. Увеличение стоимости органического топлива приводит к необходимости искать другие, термодинамически, а следовательно, в конечном счете и экономически более выгодные методы отапливания помещений.

И здесь нам на помощь приходит холодильная машина. Как мы уже установили выше, назначением холодильной машины является перенос теплоты от источника с низким потенциалом (температурой) к источнику с более высоким потенциалом (температурой).

Полезно используемым эффектом является процесс охлаждения.

А может ли при работе холодильной машины использование теплоты, отнятой от источника низкого потенциала, считаться полезным эффектом?

Разумеется может. Установки, в которых за счет затраты какого-то вида энергии (механической, электрической и др.) осуществляют перенос теплоты от источника с низкой температурой к объекту с более высокой температурой с целью его отопления, называют тепловыми насосами. Таким образом, холодильная машина может и обогревать.

Точно так же, как обычный насос (например, центробежный), поднимая воду в напорный бак, повышает ее потенциал, тепловой насос повышает потенциал теплоты. В целом ряде случаев отопление с помощью теплового насоса эффективнее отопления путем сжигания топлива, так как при таком способе отопления потери эксергии снижаются.

Тепловые насосы используют в системах кондиционирования воздуха в жилых общественных и промышленных зданиях и сооружениях. Наиболее выгодно использовать одну и ту же установку для охлаждения (летом) и отопления (зимой).

Работа системы кондиционирования воздуха в режиме теплового насоса возможна только при наличии источника теплоты с низкой, но желательно стабильной температурой. В качестве такого источника используют теплоту земляного грунта, грунтовых вод, водоемов (речная, озерная и морская вода) и наружного воздуха. В производственных зданиях используют теплоту вытяжного воздуха.

В системах отопления с тепловыми насосами, использующими низкопотенциальную теплоту земляного грунта, в качестве приемников теплоты применяют пластмассовые трубы, закладываемые на глубину 0,65—1 м, по которым непрерывно циркулирует рассол. Теплота грунта воспринимается рассолом; эта теплота обеспечивает испарение фреона в испарителе. Пары фреона засасываются компрессором и конденсируются в конденсаторе. Конденсируясь, фреон передает теплоту конденсации воде, которая насосом подается к батареям отопления.

Испытания подобной системы отопления были проведены в Стокгольме. Наряду с положительными факторами (рациональное использование энергии, стабильность отопления) было отмечено, что охлаждение почвы рассолом отрицательно сказывается на городском озеленении.

Системы отопления с тепловыми насосами, использующие в качестве низкотемпературного источника теплоты грунтовые воды, применяют для отопления теплиц и оранжерей (Франция). В городах, расположенных на берегах водоемов, системы отопления с тепловыми насосами используют теплоту водоемов как источник низкотемпературного тепла. В частности, такие системы применяют для отопления некоторых городов, расположенных на Женевском озере (Швейцария).

Так же, как и холодильные машины, тепловые насосы могут быть не только компрессионными, но и абсорбционными, термоэлектрическими и т. д.

Определенные перспективы использования тепловых насосов имеются в пищевых отраслях промышленности и, в частности, в мясной и молочной. Дело в том, что в значительном числе технологических помещений предприятий мясной и молочной промышленности должна поддерживаться температура от 4 до 12°C (это камеры для созревания сыра, сушки сырокопченых колбас, экспедиции и пр.). Такие помещения зимой необходимо отапливать, а летом охлаждать. Так сейчас и поступают. Заслуживает внимания применение в этих помещениях холодильной машины, работающей в зимний период в режиме теплового насоса, а в летний — в режиме охлаждения. Расширение сферы использования холодильных машин для целей отопления следует связывать и с изменением структуры энергоснабжения промышленных предприятий. Развитие атомной энергетики приводит к тому, что доля электрической энергии, потребляемой промышленными предприятиями, будет постепенно возрастать, а доля энергии, поступающей на предприятия в виде отработавшего пара ТЭС, снижаться.

Использовать же электрическую энергию на цели отопления непосредственно в электронагревательных устройствах значительно менее выгодно, чем в холо-

дильной машине, работающей в режиме теплового насоса.

При отоплении помещений с помощью электронагревательных приборов количество теплоты, выделяемой нагревательными элементами, равно расходу электроэнергии. Если же электроэнергию использовать для привода холодильной машины, работающей в режиме теплового насоса, то отапливаемое помещение получит больше теплоты, чем ее выделилось бы при непосредственном преобразовании электроэнергии в теплоту. При отсутствии потерь в холодильной машине количество теплоты, получаемой отапливаемым помещением, равно расходу электроэнергии плюс количество теплоты низкого потенциала, перекачиваемой в помещение.

Эффективность теплового насоса есть отношение количества теплоты, получаемой отапливаемым помещением, к расходу электроэнергии. Заметим, что эффективность теплового насоса не следует путать с коэффициентом полезного действия.

Таким образом, холодильная машина может быть использована не только по своему прямому назначению, но и для отопления. Использование холодильной машины для целей отопления в ряде случаев оказывается более эффективным, чем сжигание топлива. Так холод способствует экономии топливно-энергетических ресурсов.

#### **4. Как спасти миллиард!**

Ежегодно человечество теряет почти миллиард тонн продуктов питания (по данным Международного института холода). Из них не менее половины составляют скоропортящиеся продукты животного и растительного происхождения, мясопродукты, морепродукты, протеинсодержащие, следовательно, наиболее ценные. Сократить эти потери, а в дальнейшем и полностью исключить — основная задача холодильной технологии. О холодильной технике вы уже имеете некоторое представление. А что же такое холодильная технология и технология вообще?

## ○ технологии вообще и холодильной технологии в частности

Попытаемся разобраться в этих вопросах — ведь вам предстоит жить и работать в технологической сфере. В самом деле, ведь мы окружены предметами и услугами, производимыми тысячами предприятий; сотни НИИ работают над совершенствованием технологических процессов; десятки вузов готовят специалистов для их обслуживания.

Для того чтобы понять какое-то явление, нужно попытаться взглянуть на него со стороны... «лицом к лицу лица не увидать». Если мы живем в мире технологий и если, наконец, каждый из нас в своей повседневной деятельности сам является элементом какой-либо технологической системы, то для понимания сущности технологии нужна некоторая посторонняя база, независимая точка отсчета, нужен мысленный выход за рамки технологии и того стереотипа мышления, которым специалисты расплачиваются за приобретенные ими знания.

Может быть, попытаться взглянуть на технологию с позиций экологии — науки, изучающей взаимодействие организмов между собой и с окружающей абиотической средой? Ведь как для развития живых организмов, так и для развития технологий в одинаковой степени необходимы такие природные компоненты, как атмосферный воздух постоянного состава, пресная вода, почвы.

Сейчас можно считать установленным, что одним из основных ограничений развития любой технологии является возможность природных процессов нейтрализовать технологические отходы. В настоящее время степень использования природного сырья в технологических процессах составляет 5—10%, остальные 90—95% изымаемого из природы вещества безвозвратно теряются<sup>1</sup>. В технологическую сферу вовлечено около 100 млрд. т вещества, а технологические сооружения занимают примерно 15% обитаемой суши. Рассеяние значительного количества вещества и энергии при производстве товаров и услуг является той ценой, кото-

<sup>1</sup> Олдак П. Г. Глобальная стратегия. — Химия и жизнь, 1979, № 5, с. 11—17.

рую человек «платит» за бурное развитие технологии. Технология была ранее и остается теперь важным элементом, обеспечивающим развитие человека, его эволюцию.

Уникальность человека в животном мире проявляется в том числе и в особом, «человеческом», способе его эволюции.

Если живая природа в процессе своей эволюции изменяется таким образом, что результирующий эффект изменения проявляется в ней самой, поддерживая некоторое динамическое равновесие между живым организмом и окружающей средой, то человек изменяет окружающую среду, приспособлявая ее к своим потребностям. У растений, в частности, существуют сложные приспособления к возможности жизни при низких температурах, хотя не ясно, почему эволюцией не создано «теплокровных» растений.

Правомерно считать, что эволюция в самом широком смысле этого слова может идти не только путем перестройки организма для наилучшего согласования его функций и поведения с окружающей средой, ведь нет запрета и на иной путь эволюции — согласования свойств окружающей среды с живым организмом.

Здесь преимущество в выживании получают популяции, которые способны наиболее оптимальным образом изменить окружающую среду. Ведь изменения окружающей среды могут не обязательно быть глобальными; это и постройка нор, гнезд, муравейников и пр.

Если мы лишим животное каких-либо приобретенных в ходе эволюции признаков, то шансы на его выживание сильно падают; точно так же нам, «человечеству», сейчас уже трудно представить саму возможность нашей жизни без многочисленных технологических услуг. Развивающаяся технология так изменила среду нашего обитания, что, будучи перенесенными, скажем, в середине века, мы вообще вряд ли выжили бы. Эта ситуация тонко подмечена Андерсеном в его известной сказке «Калоши счастья», а ведь там описан уже далекий XIX век. Сейчас (увы!) калош не носят.

Таким образом, вполне разумно предположить, что, начиная с какого-то момента времени, традиционный биологический путь эволюции достигнет «насыщения» — дальнейшие эксперименты природы, основанные на принципе естественного отбора, уже не будут приводить к сколько-нибудь ощутимым результатам, и тогда тот же принцип трансформируется в существование иной механизм эволюции — технологический. Надо думать, что метод «технологической эволюции» — не первая попытка природы такого рода, ведь деятельность пчел, муравьев и других коллективных насекомых есть не что иное, как попытка создать нечто подобное технологии. Кто знает? Будь муравьи «побольше» или, наоборот, наша планета «поменьше», возможно биологическая эволюция окончилась бы муравьями, а дальше началась бы «технологическая эра» насекомых. Таким образом, технологию можно рассматривать как организационную структуру, обеспечивающую воздействие человеческого общества на окружающую среду, и

снабжающую каждого члена общества предметами потребления в самом широком смысле этого слова.

Удовлетворяя потребности человека, технология одновременно и формирует некоторые из них. По этим причинам, будучи изначально средством, обеспечивающим существенное преимущество человека над остальным животным миром в конкурентной борьбе за выживание, лавинообразное развитие технологий становится опасным в силу своей крайней расточительности по отношению к экологическим ресурсам.

Очевидный путь преодоления возникших трудностей — снижение степени рассеяния вещества и энергии в технологических процессах. «Экологический КПД» технологий может и должен быть значительно повышен, и в этом направлении уже много сделано. Вместе с тем следует отдавать себе отчет и в том, что разработка безотходных, «чистых», технологий — очень дорогое и сложное в инженерном отношении дело.

Другой путь преодоления трудностей связан с ограничением потребностей или, по крайней мере, числа вариантов, удовлетворяющих одну и ту же потребность. По этой причине правомерна постановка вопроса об иерархической структуре потребностей и технологий, удовлетворяющих эти потребности. Здесь мы допускаем, что возможно разделение потребностей человека на первичные и вторичные (престижные).

С точки зрения общества в целом, видимо, следует для удовлетворения престижных потребностей производить товары с максимальным сроком пользования и ограниченного ассортимента, направляя основную часть ресурсов на удовлетворение первичных потребностей человека.

Управление развитием технологий требует разработки их иерархии, т. е. системы распределения технологий по степени их важности. Критерий, или, точнее, система критериев, по которому следует распределить человеческие потребности и обслуживающие их технологии, далеко не очевидны.

Каждый из нас, решая для себя проблему иерархии своих личных потребностей в условиях ограниченности времени, средств и ресурсов здоровья, поступает, если, конечно, смотреть со стороны, далеко не всегда разумно и логично.

Разработка иерархии человеческих потребностей и базирующейся на ней иерархии технологий является сложной теоретической проблемой и составляет одну из центральных задач теоретической технологии.

Разумеется, теоретическая технология не исчерпывается этой проблемой. Очевидные успехи математизированных областей знаний дают определенные надежды на возможность выведения стройной системы «технологических истин» из ограниченного числа начальных посылок.

Хотя в силу известной теоремы Геделя<sup>1</sup> дедуктивный метод принципиально не позволяет построить полную теорию только путем логических рассуждений, дедуктивные построения, исходя-

---

<sup>1</sup> В 1931 г. австрийским математиком Куртом Геделем было строго показано, что дедуктивных, логических, рассуждений не

щие из минимума посылок, в нашем случае могут оказаться плодотворными.

Трудности, возникающие при построении технологии как дедуктивной системы, связаны прежде всего с формализацией (численным выражением) понятия качества технологической продукции.

Возьмите любой бытовой товар (холодильник, пальто, сахар — все это продукты технологий) и попробуйте его оценить. Вы немедленно убедитесь в том, что наряду с измеряемыми свойствами этих товаров существует еще что-то, чего нельзя измерить (внешний вид, форма, вкус и пр.). Даже подробное знание свойств еще не дает полного представления о качестве: по Аристотелю целое есть сумма частей плюс связи между ними. Стремление оценить качество технологической продукции числом, превратив таким образом качество в параметр, наподобие температуры, давления, влажности и пр., привело в последние годы к созданию специальной научной дисциплины квалиметрии, с развитием которой, видимо, следует связывать и возможности дедуктивного построения отраслевых промышленных технологий, в том числе и холодильной.

Квалиметрия — это отрасль науки, занимающаяся численной оценкой качества промышленной продукции. При численной оценке качества пищевых продуктов методами квалиметрии качество пищевого продукта рассматривается как динамическое сочетание отдельных свойств, каждое из которых может иметь различную значимость (различную степень влияния на численную оценку качества) <sup>1</sup>.

Наконец, третий путь преодоления возникших трудностей в развитии технологий — это создание специальных технологий, задачей которых является либо снижение рассеяния природных компонентов (снижение потерь), либо переработка рассеянных компонентов в полезные продукты.

Именно такой технологией, основная задача которой — снижение потерь пищевых продуктов, является холодильная технология.

Заметим, что пищевые продукты удовлетворяют наиболее насущную потребность человека — потребность в пище, которая, видимо, никогда не будет отнесена к категории престижных потребностей.

Холодильная технология пищевых продуктов — это отрасль знаний и практической деятельности, решающая задачи сохранения пищевых про-

---

достаточно для того, чтобы из конечного числа принципов вывести все истинные утверждения о целых числах, формулируемых на языке школьной алгебры. Теорема Геделя имеет существенное общенаучное значение, так как показывает принципиальную ограниченность дедуктивных рассуждений.

<sup>1</sup> Бражников А. М. Формализация понятия качества в мясной технологии. — Мясная индустрия СССР, 1983, № 2, с. 31—34.

дуктов с помощью холода и использования холода при их промышленном производстве.

Холод является наиболее надежным, универсальным и эффективным способом сохранения пищевых продуктов. Развитие холодильной технологии как самостоятельной области знаний началось одновременно с применением холода в пищевых отраслях промышленности. Первая лаборатория по холодильной технологии пищевых продуктов в нашей стране была организована проф. Ф. С. Касаткиным в Институте народного хозяйства им. Г. В. Плеханова в 1918 г.

Холодильная технология, как и все прикладные отрасли знаний, использует данные многих наук, — ведь холодильная технология имеет дело с достаточно сложными объектами и процессами.

Основными вопросами, решаемыми холодильной технологией, являются:

изучение изменений в пищевых продуктах в зависимости от условий холодильной обработки и определение для каждого продукта и каждого технологического процесса (охлаждение, замораживание, хранение, размораживание, сублимация) оптимальных условий проведения процесса;

выбор системы охлаждения, отвечающей конкретным условиям холодильной обработки конкретного вида продукта;

разработка инженерных методов расчета и проектирования систем холодильной обработки, хранения и транспортировки пищевых продуктов; в частности, крайне важной задачей является определение продолжительности соответствующих процессов;

разработка научно обоснованных методов снижения потерь массы (усушки) пищевых продуктов при их холодильном хранении;

составление научно обоснованных рекомендаций по развитию и совершенствованию холодильного машиностроения.

Пищевые продукты, являющиеся объектом холодильной технологии, — это особые объекты, сложность и специфичность которых связана с их изначальной биологической природой. Биологическая природа пищевых продуктов проявляется в следующем.

Физические свойства пищевых продуктов (плот-

ность, удельная теплоемкость, теплопроводность и пр.) не могут быть определены однозначно даже для продуктов одного вида, сорта, категории. Эта неоднозначность есть результат индивидуальных биологических различий, которые заметны даже для объектов, находящихся в одинаковых условиях; скажем, томаты одного сорта, собранные на одном поле. Еще большая степень различий возникает в связи с неидентичными условиями полива и выращивания для растительных продуктов или с неидентичными условиями кормления для продуктов животноводства. По этой причине данные по физическим свойствам продуктов, которые приводятся в справочной литературе и которые используются в инженерных расчетах, следует рассматривать как средние.

Геометрическая форма натуральных пищевых продуктов разнообразна и варьирует в широких пределах. Между тем все аналитические соотношения, позволяющие рассчитать процесс отвода теплоты от объектов, получены лишь для тел правильной геометрической формы. По этим причинам в инженерных расчетах широко пользуются экспериментальными коэффициентами, так называемыми «коэффициентами формы».

Пищевые продукты являются предметом непосредственного потребления людей, вследствие чего во всех пищевых технологиях, в том числе и в холодильной технологии, важное значение имеет контроль санитарного благополучия продуктов.

Ниже мы приводим краткие сведения о применении холода в различных отраслях пищевой промышленности, имея при этом в виду, что общим вопросам использования холода в народном хозяйстве посвящен основной материал настоящего пособия.

Среди скоропортящихся продуктов мясо по пищевой ценности занимает одно из первых мест. Переработка скота приобрела характер индустриального производства только после того, как удалось сконструировать надежную холодильную машину (это произошло в 1875 г.). На современных мясоперерабатывающих предприятиях использование холода позволяет круглогодично хранить мясо и мясопродукты, доставлять их в места потребления из сырьевых районов как в охлажденном, так и в мороженом виде, обеспечивать относительно равномерную работу мясоперерабатывающих предприятий в течение всего года (это называют сглаживанием сезонности). На мясоперерабатывающих предприятиях холод широко используют и в основной технологии производства мясопродуктов: в колбасном производстве (охлаждение фарша в процессе его выдержки, охлаждение

колбасных изделий и копченостей после термической обработки, производство водного льда, кондиционирование воздуха в сушильных камерах для производства сырокопченых колбас); при производстве жира (кристаллизация жира в целях выделения олеомаргаринов и стеарина), при производстве медицинских препаратов (сублимационная сушка, специальное кондиционирование и т. д.); при производстве полуфабрикатов (пельмени, фрикадельки) и быстрозамороженных продуктов. Из всех пищевых отраслей промышленности, мясная отрасль располагает наиболее развитым холодильным хозяйством.

При переработке птицы в птицеперерабатывающей промышленности холод применяют для охлаждения и замораживания тушек птицы, хранения яиц, сухого яичного порошка, замораживания и хранения яичного меланжа (меланж — это содержимое яиц). Холод используют и в установках кондиционирования воздуха, обслуживающих помещения, в которых выращивают и содержат птицу.

В молочной промышленности холодильные установки в целом менее мощные, чем в мясной и птицеперерабатывающей, что связано с особенностями ее организационной структуры. Принята следующая классификация подотраслей молочной промышленности: цельномолочная промышленность, выпускающая свежее молоко, мороженое, молочнокислые продукты (кефир, сметана, творог и т. д.); молочноконсервная промышленность, производящая сгущенные и сухие молочные продукты; маслодельная и сыродельная промышленность, производящая сливочное масло и сыры. В цельномолочной промышленности холод применяют на низовых молочных предприятиях (фермы) для возможно быстрого охлаждения парного молока. Чем быстрее удастся осуществить этот процесс, тем более длительным оказывается срок хранения молока. Молоко охлаждают перед пастеризацией (в случае необходимости кратковременного хранения) и после нее.

Холод применяют для кратковременного хранения всей продукции кисломолочной промышленности в охлажденном состоянии. Замораживать цельное молоко не рекомендуется, так как качество оттаявшего молока ухудшается вследствие расслоения. В молочноконсервной промышленности холод применяют для охлаждения сгущенного молока. Охлаждают и складские помещения, в которых хранят готовую продукцию. В маслодельной и сыродельной промышленности холод широко используют при производстве сливочного масла (выдерживание сливок при низкой температуре, охлаждение сливок в маслообразователе и т. д.). Длительное хранение сливочного и топленого масла осуществляют при низких температурах (ниже 0°C). При производстве сыров холод применяют для охлаждения рассола, используемого при посоле сыра, а также в установках кондиционирования воздуха, обслуживающих камеры для созревания сыра. Хранят сыр также в охлаждаемых помещениях.

Специфическим и популярным продуктом молочной промышленности является мороженое. Этот продукт имеет длительную историю. Смесь фруктовых соков, молока и льда входила в рацион питания знаменитой армии Александра Македонского. В Европе рецепты приготовления мороженого стали известны в

XIII веке после путешествий по странам Востока Марко Поло. Первое в Европе предприятие по производству мороженого открылось в Париже в 1666 г. В 1791 г. на русский язык была переведена французская поваренная книга, в которой искусству приготовления мороженого посвящалась целая глава. Вскоре мороженое становится популярным продуктом в Петербурге, Москве, а потом и повсеместно. Современные фабрики мороженого являются предприятиями с высоким уровнем механизации и автоматизации. Роль холода в производстве мороженого настолько велика, что основной объем выпускаемого мороженого производят не на молочных заводах, а на хладокомбинатах, т. е. на предприятиях, имеющих развитое холодильное хозяйство. Мороженое представляет собой замороженную и насыщенную воздухом смесь, состоящую из молочных продуктов, сахара и различных вкусовых добавок. При производстве мороженого часто используют фруктовые соки — фруктовые сорта мороженого пользуются заслуженной популярностью. Основной процесс в производстве мороженого — фризирование — заключается в одновременном охлаждении смеси и насыщении ее воздухом. Мороженое на выходе из фризера по существу представляет собой переохлажденную пену, которая лишь потом подвергается закаливанию, т. е. замораживанию.

Наряду с предприятиями мясной и молочной промышленности белковые, наиболее ценные пищевые продукты, в значительном объеме производят на предприятиях рыбной промышленности. Рыбпродукты, и в целом морепродукты продолжают оставаться важным источником пищевого белка для человека. Холод в рыбной промышленности применяют как на рефрижераторных судах, так и на береговых рыбоперерабатывающих предприятиях. Промысловое рефрижераторное судно это одновременно и мощное добывающее судно, и плавучее рыбоперерабатывающее предприятие. Такие суда оснащены самой совершенной холодильной техникой, предназначенной для замораживания и холодильного хранения улова. Обслуживающие рыбную промышленность транспортные рефрижераторные суда предназначены для приема с добывающих судов замороженной, охлажденной и соленой рыбопродукции и доставки ее в базовые порты. К судовым холодильным установкам предъявляют специальные повышенные требования безопасности и надежности. Эти требования определяются правилами Международных классификационных обществ, к числу которых относятся Морской Регистр СССР, Английский Ллойд и др. Проектирование и постройка рефрижераторных судов осуществляется согласно этим требованиям. Холодильные машины и аппараты, эксплуатируемые на рефрижераторных судах, должны быть изготовлены в специальном, так называемом морском исполнении, обеспечивающем надежную и безопасную работу в агрессивных средах (морской воздух и забортная вода) при крене или дифференте судна и т. д. Требования Морского Регистра СССР регламентируют обеспечение гибкости в управлении холодильной установкой путем резервирования основных аппаратов, механизмов и отдельных узлов.

В принципе процессы холодильной технологии рыбо- и морепродуктов не отличаются от холодильной технологии мясных

и молочных продуктов. Специфические особенности проявляются лишь в следующем.

В последнее время отмечается интенсивное развитие как флота рыбной промышленности, так и средств добычи морепродуктов и орудий лова. Это приводит к тому, что численность отдельных видов рыб, морского зверя и пр. в весьма короткие сроки может снизиться до такого уровня, что промысел этих видов становится невозможным, либо крайне ограниченным. В то же время появляется возможность промышленной добычи некоторых новых видов рыб и морепродуктов. По этим причинам технология переработки рыбо- и морепродуктов вынуждена непрерывно меняться — ведь способ обработки существенно зависит от вида продукта. Холодильная технология море- и рыбопродуктов также существенно зависит от вида объекта. Таким образом, если холодильная технология мясных и молочных продуктов оперирует с объектами постоянного видового состава, то объекты холодильной технологии — рыбо- и морепродуктов непрерывно меняются.

В целом можно считать, что рыба подвергается порче быстрее, чем другие организмы, используемые человеком в пищу (сельскохозяйственные животные, птица и т. д.). В связи с этим свежельвовленная рыба должна быть подвергнута холодильной обработке (либо консервированию другим методом, например, посолу) практически сразу после вылова.

Поскольку естественной средой обитания рыбы является водная среда, холодильная обработка рыбо- и морепродуктов с успехом может быть осуществлена в жидких средах (замораживание в рассоле). Полезным технологическим приемом, применяемым при холодильной обработке рыбы является глазирование. Глазурь — это ледяная оболочка, выполняющая защитную функцию, непосредственно воспринимая воздействие внешней среды и предохраняя рыбу от усушки и окисления жира.

Наряду с белковыми продуктами (мясо, яйца, птица и рыба) холод применяют при обработке овощей и фруктов. Фрукты и овощи являются основным видом питания, обеспечивающим человека витаминами и микроэлементами. Это продукты, содержащие большое количество влаги и очень чувствительные к механическим повреждениям. Сбор овощей и фруктов носит ярко выраженный сезонный характер. Например, продолжительность сбора зеленого горошка — всего несколько дней. Работа предприятий плодоовощной промышленности рассчитана на определенные сроки созревания сельскохозяйственных культур. Но капризы погоды, иногда непрогнозируемые, могут нарушить установленную последовательность созревания культур: может происходить совмещение сроков созревания и пр. По этим причинам высококачественное сохранение овощей и фруктов в течение всего года — более трудная задача, чем сохранение продукции мясомолочной и рыбной промышленности, как в организационном, так и в технологическом отношении.

В плодоовощной промышленности холод применяют для предварительного охлаждения плодоовощного сырья (перед транспортировкой), при транспортировке, хранении в охлажденном состоянии, замораживании, хранении в замороженном состоянии и производстве соков. Предварительное охлаждение

плодов и овощей осуществляют вскоре после их сбора, так как холодильный транспорт обеспечивает, как правило, только компенсацию теплопритоков, поступающих от окружающей среды, и не рассчитан на отвод теплоты от продукта.

Кроме охлаждения в воздушной среде, применяют охлаждение плодоовощного сырья ледяной водой, а также вакуумное охлаждение. Вакуумное охлаждение основано на частичном испарении влаги с поверхности плодов и овощей при остаточном давлении несколько ниже атмосферного. При испарении скрытая теплота фазового перехода отнимается от продукта, и он охлаждается. Вакуумное охлаждение целесообразно применять для продуктов, имеющих большую удельную поверхность (салат, шпинат и т. д.). При транспортировке охлажденных плодов и овощей и их хранения в охлажденном состоянии необходим некоторый приток свежего воздуха, чтобы обеспечить «дыхание» плодов.

Режимы охлаждения и хранения плодов и овощей зависят от их вида, сорта, степени зрелости и т. д. Плодоовощное сырье при хранении часто укладывают в штабель. Так как дыхательные объекты происходят с выделением теплоты, то температура в штабеле становится выше температуры окружающего воздуха. В процессе холодильного хранения овощей и фруктов происходит усушка, вызываемая испарением влаги. Если при хранении сырья животного происхождения усушка — это только потери массы сохраняемого продукта, то усушка растительных продуктов — это еще и снижение их качества. Снижение массы хранимого сырья на 5% приводит к потере растительным сырьем иммунитета к различным заболеваниям.

Качество замороженных продуктов из плодоовощного сырья существенным образом зависит от сорта и степени зрелости. Наиболее пригодны для замораживания ягоды. Хорошие результаты дает замораживание ягод в сахарном сиропе, так как сахар связывает влагу продукта, вследствие чего клетки повреждаются кристаллами льда в меньшей степени. Замораживанию подвергаются плодово-ягодные (холодные компоты) и овощные смеси. Достаточно хорошие результаты дает замораживание предварительно подсушенных (до 50% первоначальной массы) плодов и овощей. При производстве фруктовых соков холод применяют для их быстрого охлаждения на разных стадиях технологического процесса и для удаления винного камня из виноградного сока. Удаляют винный камень путем замораживания виноградного сока, последующего хранения его в течение нескольких недель, размораживания и отстаивания. Сок замораживают как для целей хранения (например, сок цитрусовых), так и для последующей сублимационной сушки (сок с мякотью). Сублимационная сушка фруктовых соков и вообще многих видов плодоовощного сырья имеет крайне важное значение для снабжения населения северных и восточных районов нашей страны растительными продуктами.

Пожалуй, древнейшей отраслью, в которой применяется холод, является виноделие. В производстве вин холод используют при отстаивании сусла, регулировании температуры в процессе брожения, стабилизации и криоконцентрации (сгущение путем вымораживания воды) вин. В целом, можно считать, что обра-

ботка вин холодом (охлаждение, отстаивание охлажденного вина и фильтрация в охлажденном состоянии) благоприятна для повышения их качества.

Особое место в виноделии занимает производство шампанского. Шампанские вина — это сухие виноградные вина, содержащие значительное количество углекислого газа, который получается брожением (именно в этом отличие шампанских вин от других шипучих вин). Холод используют при производстве шампанских вин как по классической технологии (так называемое «коллекционное» шампанское), так и резервуарным методом. Исходным продуктом для производства шампанских вин служит белое столовое вино, содержащее 10—12% спирта, получаемое из специальных сортов винограда. Чтобы вызвать новое брожение, необходимое для насыщения вина углекислым газом, в него добавляют немного сахара и разливают в прочные бутылки. Бутылки закупоривают сменной пробкой и ставят в охлаждаемые камеры пробками вниз. В охлаждаемых камерах или подвалах происходит брожение, образующийся углекислый газ растворяется в вине, а дрожжи опускаются вниз к пробке. Сложным технологическим процессом, процессом, требующим виртуозной техники рабочего, является дегоржирование. Рабочий, держа бутылку наклонно вниз пробкой, откупоривает ее (при этом сменная пробка вылетает вместе с дрожжевым осадком), затем он быстро переворачивает бутылку и закрывает ее новой пробкой. Для облегчения этого процесса и уменьшения потерь шампанского осадок намораживают на пробку, для чего перед дегоржированием бутылки (их располагают пробкой вниз) пропускают через рассольную ванну. При производстве шампанского резервуарным методом (брожение осуществляют в резервуарах) холод применяют для охлаждения шампанских виноматериалов, регулирования температуры брожения, охлаждения в процессе отстаивания и регулирования давления при розливе шампанского в бутылки.

В пивоварении холод используют для приготовления солода и сусла, регулирования температуры брожения, выдержки и фильтрации. Кроме того, холод применяют и для хранения сырья и материалов на пивоваренных заводах.

В кондитерской промышленности холод применяют для осуществления физико-химических процессов, связанных с изменением агрегатного состояния (застуднение, кристаллизация). В частности, холод используют для охлаждения карамельной массы, ускорения процесса затвердевания шоколадной глазури при производстве конфет, охлаждения сиропа при производстве помады и ириса, застывании масла какао, кристаллизации шоколада и т. д.

### **Планета на голодном пайке!**

Однако достаточно ли пищи «производит» Земля? Хватает ли продуктов всем ее жителям?

Питание — основа существования жизни на Земле. Все виды растений, микроорганизмов, насеко-

мых и животных связаны друг с другом сложными «пищевыми цепями» и находятся в соответствующем динамическом равновесии.

Сделаем предположение, что животный мир полностью «самообеспечивается» пропитанием. А человек? Так же как и развитие всего животного мира, его развитие определяется в первую очередь запасом пищи. Бурное возникновение городов и рост их населения начались, по существу, лишь во второй половине XIX века (табл. 2), т. е. именно с того момента времени, когда была сконструирована надежная холодильная машина<sup>1</sup>. Это обстоятельство нельзя считать случайным, так как только наличие развитого холодильного хозяйства обеспечивает саму возможность создания огромных запасов пищевых продуктов, что необходимо для существования крупных городов и того, что мы называем городской цивилизацией.

Таблица 2

Число жителей	Количество городов (по годам)							
	1700	1864	1900	1950	1960	1970	1975	2000
Свыше 100 тыс. чел.	40	164	300	670	1340	1842	—	—
Свыше 1 млн. чел.	—	—	—	71	—	—	181	413 (прог- ноз)

История доколумбовой Америки дает удивительный пример тщетности попыток создания городской цивилизации без достаточного продовольственного базиса.

Около 610 года н. э. народ государства Майя покинул место своего пребывания и без всяких на то видимых (с позиций сегодняшнего дня) причин переселился в девственные джунгли, основав там новое государство — «Новое царство».

Позволим себе процитировать соответствующее место из великолепной книги К. Керрама «Боги, гробни-

<sup>1</sup> Надежная аммиачная компрессорная паровая холодильная машина была изобретена в 1875 г. одновременно и независимо друг от друга немецким инженером Линде и американским инженером Бойлем.

цы, ученые»<sup>1</sup>: «Целый народ, состоявший в основном из жителей городов, внезапно покинул свои добротные и крепкие дома, распрощался с улицами, площадями, храмами и дворцами и переселился на далекий дикий север. Ни один из этих переселенцев никогда не вернулся на старое место. Города опустели, джунгли ворвались на улицы, сорные травы буйствовали на лестницах и ступенях...»

Причиной такого внезапного переселения явилось истощение земель, окружавших города Майя. Подсечное земледелие, т. е. земледелие на выжженных участках джунглей, без применения плуга быстро истощало почву. Великая цивилизация древнего царства Майя прекратила свое существование потому, что она лишилась своего базиса. Цивилизация без техники еще возможна, но цивилизация без плуга — нет.

Это — наглядный пример жесткой зависимости человека от ресурсов Земли. Однако сегодня больше чем когда-либо продовольственный баланс в мире является напряженным. В настоящее время существует дефицит в общемировом производстве продуктов питания как в количественном, так и в качественном отношении. Количественный недостаток пищи испытывают около 15% мирового населения, в основном в развивающихся странах. Например, дефицит производства пищи по энергетическому эквиваленту в Индии около 20%. Еще более серьезно обстоит дело с проблемой качественного состава пищи, а именно содержания аминокислот. Из 20 видов аминокислот, которые необходимы человеку, организмом могут синтезироваться лишь 12, а остальные 8 (их называют незаменимыми), человек должен получать вместе с пищей. Незаменимые аминокислоты содержатся преимущественно в животных белковых продуктах, которые и являются наиболее ценными. Таким образом, качественный аспект проблемы питания связан с дефицитом полноценного белка. Качественную нехватку пищи испытывают около  $\frac{2}{3}$  мирового населения, преимущественно в развивающихся странах Азии, Африки, Латинской Америки.

---

<sup>1</sup> Керам К. Боги, гробницы, ученые. — М.: Иностранная литература, 1960. — 353 с.

В настоящее время в мире ежегодное поступление животных белков составляет примерно 20 млн. т. (17 млн. т из сельского хозяйства и 3 млн. т — «дары моря») при потребности 34 млн. т. Производство растительного белка составляет около 150—180 млн. т (40 млн. т дают зерновые культуры). Около 40 млн. т растительного белка потребляется человеком, а остальное поступает на корм скоту. Итак, с трудом, с явным дефицитом белкового рациона, пищевой баланс планеты почти сходится. Это сегодня. Но через неделю за стол сядут уже на один миллион больше едоков, через две недели — на два миллиона больше и т. д. По имеющимся прогнозам, население только развивающихся стран возрастет на 2 млрд. к 2000 г. По одной из оценок ООН, к 2000 г. на долю индустриальных районов придется только 20% населения по сравнению с 36% в 1900, 33% в 1930 и 27% в 1970 г. Уже сейчас жители развивающихся стран Южной и Центральной Америки, Африки, Азии обеспечены животным белком крайне недостаточно. Каковы же перспективы обеспечения питанием населения планеты?

### Есть еще резервы

Не следует полагать, что природные ресурсы полностью (или почти полностью) освоены человеком. Так, растительность Земли усваивает лишь около 0,3% солнечной энергии, а на долю сельскохозяйственных растений приходится всего 3% этого количества. Из пятисот тысяч видов растений в сельском хозяйстве используется лишь несколько сот, а из более чем 2 млн. видов животных не более 50, в том числе лишь два вида насекомых — пчела и шелкопряд<sup>1</sup> (данные по работе К. М. Малина. Жизненные ресурсы человечества. — М.: Наука, 1967, с. 101). Наконец, далеко еще не исчерпан резерв земной целины.

В функционирующей системе производства продуктов питания еще недостаточно используются следующие источники получения пищевого белка: раститель-

<sup>1</sup> В пятидесятых годах известный советский специалист в области холода проф. Д. А. Христуло серьезно увлекся проблемой получения «биологического жира» из насекомых путем его экстракции.

ные масла, рыбная мука, дрожжевые грибки, листовые овощи (салат, капуста), содержащие значительное количество белка, и особенно орехи. По оценке специалистов, общемировой резерв производства белковых продуктов за счет более широкого использования этих резервов превосходит 20 млн. т в год.

Дальнейшее увеличение производства продуктов питания связывается со следующими технологиями: биологическое преобразование макромолекулярных ископаемых (нефть); выращивание морских водорослей; химическая или биологическая переработка древесины.

В период Ленинградской блокады профессор Ленинградского холодильного института Н. Ловягин разработал технологию получения супа из древесных опилок, тем самым способствовал спасению студентов и преподавателей, оставшихся в Ленинграде и продолжавших учебу.

Наиболее смелым прогнозом является гипотетическая возможность изменения генетического кода человека таким образом, чтобы человеческий организм мог сам синтезировать незаменимые аминокислоты. Но — это дальняя перспектива.

Предельные возможности морей и океанов в целом сегодня оцениваются в 6% мирового сбора протеинов.

Таким образом, на данном периоде нашего развития пищевой баланс земли на пределе. Это в целом, «на круговую», в случае равномерного распределения ресурсов среди всех жителей планеты. К сожалению, такое положение не имеет места. Даже несмотря на то, что народы мира, и в первую очередь социалистические страны, делают все возможное для облегчения бедственного положения голодающих в развивающихся странах, даже с учетом фондов помощи, создаваемых ЮНЕСКО и другими международными организациями, пытающимися использовать излишки в одних районах для снабжения других. Это, по существу, первые робкие шаги к перераспределению ресурсов нашей планеты. Перераспределение в силу возникшей необходимости. А не может ли это стать первым шагом к созданию разумного, научно обоснованного распределения ресурсов Земли? Распределения, при котором каждый житель планеты независимо от свое-

го географического места жительства, расы, гражданства, религии будет обеспечен необходимым «пищевым» прожиточным минимумом. Может и должно стать.

### **Наша «норма питания»**

В настоящее время проводятся многочисленные исследования, имеющие своей целью выяснить суть рационального питания. Этому способствовало возросшее число заболеваний, возникающих как следствие нерационального питания или, если говорить более прозаично, невоздержанного и даже неограниченного питания. В развитых странах энергетический эквивалент потребляемых пищевых продуктов составляет в среднем 12 560 кДж на человека в день при средней норме около 9 630 кДж. Напротив, в развивающихся странах энергетический эквивалент потребляемой пищи не превышает 9 440 кДж в день (верхний предел).

Давайте встанем с вами на весы, после чего, пользуясь хорошо известными таблицами нормального веса (в которых вес дается как функция роста, возраста и комплекции), выясним, насколько наш вес превышает норму. А ведь каждый килограмм сверх нормы — лишний во всех отношениях. Если воспользоваться статистикой и выполнить элементарный расчет, можно легко подсчитать, сколько миллионов «лишних тонн» человечество вынуждено добровольно, добросовестно и молчаливо носить на себе. И не в спортивных целях приходится носить груз, каждый килограмм которого (по мнению специалистов, в компетенции которых трудно сомневаться) сокращает жизнь на несколько лет. Любопытно: американские ученые подсчитали, что их соотечественники «носят на себе» столько жира, сколько хватило бы (в энергетическом пересчете) для освещения в течение года 4 самых крупных городов США. Итак, первый шаг — рационализация питания и по составу, и по количеству.

### **Естественная «искусственная» пища**

Не сможет ли химия обеспечить синтез разнообразных пищевых продуктов? Есть ли в этом необходи-

мость? Какова прогнозируемая роль холода в этом случае?

Некоторые современные исследователи связывают решение экологических проблем с созданием искусственных пищевых продуктов.

Чтобы избежать путаницы, уточним классификацию продуктов питания:

традиционными называют продукты, получаемые из естественного сырья, проходящего технологическую обработку в целях стерилизации, сохранения и придания определенных органолептических свойств (внешний вид, вкус, аромат, консистенция), к которым человек адаптировался в силу исторических и психологических причин;

искусственные продукты — это продукты, получаемые из естественного сырья после технологической обработки, при которой выделяют ценные пищевые компоненты, главным образом белковые, и придают им структуру, внешний вид и вкус, соответствующие первичному представлению потребителя о продуктах. Производство искусственных продуктов питания мыслится как создание технологий, обеспечивающих полное использование природных веществ. И в этих технологиях существенное место принадлежит холоду. Так, создание мясоподобной структуры на основе крови осуществляется путем периодического замораживания и размораживания исходного сырья. Такой метод получения структуры был разработан в МТИММПе группой исследователей во главе с проф. И. А. Роговым;

синтетическими считают продукты, создаваемые на основе химического или микробиологического синтеза.

Согласно прогнозу американских специалистов Гордона и Хелмера (1964 г.) экономически целесообразное производство синтетического белка следует ожидать между 1985—2003 гг.

В настоящее время наиболее реальный путь производства синтетического белка — микробиологический. Достаточно дешевый синтетический белок получается из дрожжей, выращенных на углеводородах парафинового ряда, причем для покрытия мирового дефицита белковых продуктов оказывается достаточ-

им использовать для пищевых целей около 2% мировой добычи нефти. Однако насколько данный вид ископаемого продукта будет приемлем для человеческого организма, еще предстоит выяснить. Не входя в обсуждение проблем искусственной пищи, в одном можно не сомневаться: какова бы ни была искусственная пища, она должна имитировать естественные продукты, чтобы не нарушать протекающих в организме человека обменных процессов, сформировавшихся в результате длительной эволюции. Поэтому готовые к употреблению синтетические продукты, вероятно, будут иметь высокое влагосодержание и при этом состоять из неустойчивых к внешним воздействиям соединений. Следовательно, можно ожидать, что проблема холодильного консервирования останется актуальной и при производстве «искусственной пищи», получаемой на основе белков животного и растительного происхождения путем «синтеза» физической структуры и свойств продукта, а не путем химического синтеза его компонентов. Другими словами, речь идет о «конструировании продуктов питания с заданными свойствами».

Но, может быть, и естественной пищи будет достаточно, если полностью сохранить все то, что земля производит?

### **Сохранить урожай, сократить потери**

Энергетический баланс человека обеспечивается питанием. Ежедневным, многократным. И состав пищи должен быть полноценным независимо от дня недели, месяца или сезона.

Хороши лето и осень, когда природа «выдает урожай». Ну, а как же быть зимой, весной? Более того, как быть всем тем, которые далеки от урожая, живут в северных районах? Эту серьезнейшую задачу решает холодильная технология, которая предполагает два основных способа сохранения продуктов питания: в охлажденном и в замороженном состояниях.

Самое простое — охладить. Еще наши предки знали, что холод сохраняет продукты питания.

Наиболее древнее сооружение для сохранения пищевых продуктов — это погреб. В погреб закладыва-

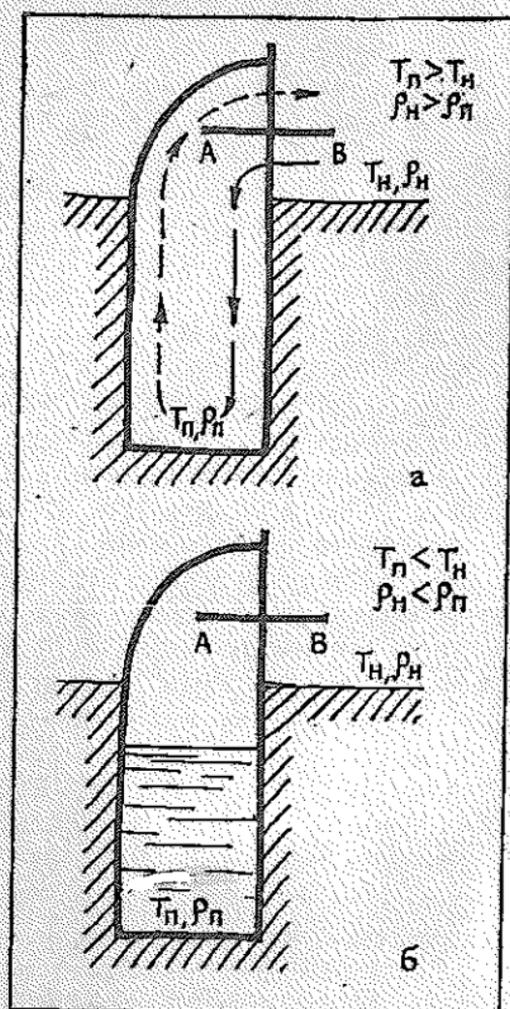


Рис. 8. Схема циркуляции воздуха в погребе:

а — «холодный» период  
 б — «теплый» период

ли запасенные зимой снег и лед, что позволяло в течение теплого периода года поддерживать температуру  $4-8^{\circ}\text{C}$ . Погреб как сооружение для сохранения пищевых продуктов обладает еще одним интересным и полезным свойством — циркуляция воздуха в нем происходит только в тот период, когда температура воздуха в погребе  $T_n$  выше, чем температура наружного воздуха  $T_n$ , т. е. либо в холодный период года либо в период кратковременных похолоданий. Чтобы понять, почему это так, обратимся к рис. 8.

Если температура наружного воздуха  $T_n$  ниже температуры воздуха в погребе  $T_n$  (рис. 8, а), то более холодный, а следовательно, и более плотный наруж-

И воздух ( $\rho_{вн}$ ) поступает в погреб через нижнюю часть входного отверстия и вытесняет из погреба менее плотный воздух ( $\rho_{п}$ ). Схема циркуляции воздуха в этом случае приведена на рис. 8, а; входное отверстие в погребе условно разделено плоскостью АВ верхнюю и нижнюю части. Если температура наружного воздуха выше температуры воздуха в погребе (рис. 8, б), то более холодный и плотный воздух расположен в нижней части погреба и естественная циркуляция прекращается. В этом и заключается особенность погреба, позволяющая снизить приток тепла в летний период и дополнительно «аккумулировать» холод в периоды кратковременных похолоданий. В настоящее время холодильное хранение совершенствуется не только в технике, но и в технологии, определяющей связь между длительностью качественного хранения и температурой хранения. Так, при температуре не ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , а точнее при температуре выше криоскопической<sup>1</sup>, можно сохранить продукты в течение одной — восьми недель. Но это в основном некоторые продукты (корнеплоды, капуста, яблоки зимних сортов и т. д.) можно сохранить в подобных условиях и дольше (до 6—10 мес).

Что же такое охлаждение?

Охлаждение — это процесс отвода теплоты в целях понижения температуры продукта до значения, несколько превышающего криоскопическое. При этом снижается интенсивность деятельности микрофлоры и замедляются неблагоприятные изменения, происходящие в самом продукте. Таким образом, охлаждение обеспечивает холодильное консервирование продуктов в «натуральном» виде. Разумеется в течение употребленных выше сроков. Однако следует учесть, что в подобных условиях продукты медленно, но обязательно теряют влагу (так называемая усушка), и это не единственный недостаток. Существенно хуже то, что в процессе подобного хранения в продукте происходят необратимые биологические превращения, снижающие его качество (сокращается содержание витаминов, уменьшается пищевая ценность и т. п.). Несколько часов, проведенных в условиях, когда температу-

<sup>1</sup> Криоскопической называют температуру, при которой в продукте начинается кристаллообразование.

ра среды 20—28 °С, иногда достаточно, чтобы существенно снизить качество или привести попросту к порче продукта. Вот почему все больший ассортимент продуктов хранят в замороженном состоянии.

Здесь следует учесть главное — как только плоды, ягоды, овощи сняты с дерева, куста, грядки, т. е. только они перешли в категорию «продукт», они подлежат немедленной холодильной обработке, первой стадия которой — охлаждение.

Вчера охлаждение осуществляли с помощью погребов, а сегодня в нашем распоряжении современная бытовая холодильная техника. Что касается промышленности, то она располагает соответствующими техническими средствами.

Существенно сложнее — замораживать. Для того чтобы длительно хранить продукты, их нужно заморозить. Замораживание заключается в понижении температуры пищевых продуктов ниже криоточечной (в этом процессе большая часть влаги, содержащейся в них, переходит в кристаллическое состояние). Замораживание и последующее хранение в замороженном состоянии гарантируют полную сохранность пищевых продуктов и по этой причине являются наиболее совершенным методом длительного (многочесночного) хранения.

Этим объясняется всевозрастающее распространение производства быстрозамороженных продуктов, полуфабрикатов, готовых изделий и блюд, способные длительное время сохранять свои исходные свойства не только в общественных холодильных хозяйствах, но и в домашних условиях — в холодильниках, морозильниках.

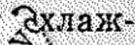
Высокая стойкость замороженных продуктов питания объясняется двумя факторами:

кристаллизацией влаги: превращение воды в лед препятствует размножению микроорганизмов, резко замедляет протекание биохимических реакций и практически исключает возможность диффузии реагирующих веществ;

существенным понижением температуры: низкие температуры сами по себе тормозят протекание биологических процессов, угнетают микрофлору и создают неблагоприятные условия для ее размножения.

Однако процессу замораживания (в быту осуществляется в «морозильнике» холодильника, на производстве — в специальных морозильных аппаратах или камерах) предшествует серьезная предварительная обработка, включающая осмотр, очистку, мойку, резку и другие операции (см. приложение), в зависимости не только от вида, формы, свойств продукта, но и от его назначения (потребление в готовом виде, кулинарная обработка, промышленная переработка и т. п.).

В нашей стране разработан способ холодильного консервирования, совмещающий преимущества охлаждения и замораживания. Суть способа заключается в том, что поверхностные слои продукта охлаждаются до температуры ниже криоскопической, в то время как температура центральных слоев продолжает оставаться выше криоскопической. Такой продукт находится как бы в подмороженном состоянии. Качество продукта приближается к качеству охлажденных продуктов при значительно более длительном сроке хранения. За разработку этого способа (способ близкриоскопического консервирования) проф. Н. А. Головкину (ЛТИХП) была присуждена Государственная премия СССР.

Охладив или заморозив, нужные  этапами холодильной обработки пищевых  продуктов и служат для подготовки их к холодильному хранению. Ведь никто не замораживает пищевые продукты с тем, чтобы сразу разморозить их.

Цель холодильного хранения заключается в замедлении изменений свойств (полностью исключить эти изменения нельзя), ухудшающих качество продукта. Эта цель достигается поддержанием в течение всего цикла хранения низкого значения температуры (как основного фактора, тормозящего различные изменения) на стабильном уровне, предусмотренном технологией.

Температуру хранения большинства охлажденных продуктов принимают равной примерно 0—2°C. При более высокой температуре в охлажденном состоянии сохраняют некоторые растительные продукты (цитрусовые, томаты, дыни), а при более низкой — яйца, подсоленные продукты. При хранении продуктов в ох-

лажденном состоянии одни продукты выделяют запахи, другие в свою очередь могут их адсорбировать. Этим обстоятельством объясняется необходимость либо отдельного хранения, либо применения соответствующей упаковки, а еще лучше — и того, и другого.

Индивидуальные особенности замороженных продуктов проявляются при хранении в гораздо меньшей степени, нежели охлажденных, что объясняется существенно более низкой температурой хранения.

Наиболее общие требования, определяющие условия и режимы холодильного хранения пищевых продуктов, следующие:

при хранении как охлажденных, так и замороженных продуктов крайне желательно обеспечить не меняющиеся во времени и пространстве камеры хранения основные режимные параметры — температуру и относительную влажность;

хранение охлажденных продуктов растительного происхождения должно сопровождаться вентилированием камеры.

Особое значение при холодильном хранении имеет борьба с потерями массы, т. е. разработка и создание условий для их сокращения. Наилучшие результаты получают при хранении упакованных продуктов в условиях равномерного распределения температуры и влажности в камере хранения. Потери возрастают, если часто без особой надобности посещать камеру (т. е. открывать и закрывать двери) и особенно если температура в камере резко колеблется. Однако самым лучшим решением является снижение температуры хранения, что связано с повышением энергетических затрат. Здесь, как практически во всех областях жизни, приходится делать выбор, учитывая, что важнее, что экономически целесообразнее. Вот почему одна из важнейших задач современной науки и техники — оптимизация, т. е. стремление найти разумный компромисс между тем, что нужно, и тем, что можно.

Замороженные продукты перед употреблением или кулинарной обработкой должны быть восстановлены в своих первоначальных свойствах, т. е. разморожены. В домашних условиях это осуществляется сравнительно просто — достал из морозильника. На предприятиях размораживание осуществляют в среде

влажного воздуха при температуре  $16^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности  $85\%$ . В последнее время разрабатываются и внедряются новые, более интенсивные способы размораживания: размораживание под вакуумом в атмосфере насыщенного водяного пара и размораживание путем нагрева продукта с помощью СВЧ-энергии. Применение СВЧ-энергии для размораживания позволяет осуществить объемный нагрев продуктов и сократить их потери.

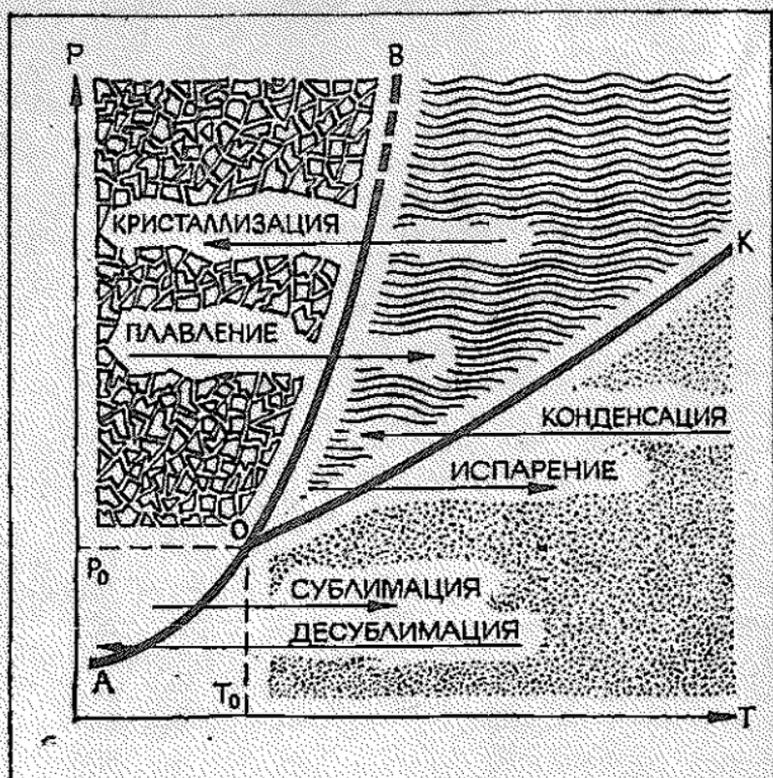
### **Увеличить «потери» — сохранить урожай**

Не парадокс ли это? Отнюдь нет. Весь вопрос заключается в том, о каких «потерях» идет речь, ибо потери потерям рознь. В данном случае «потери» — это вода, содержащаяся в продукте. Воду удаляют — продукт остается. Но удаляют ее не механически, а с помощью сушки в замороженном состоянии. Такой процесс называется чаще всего сублимационной сушкой, а также холодной сушкой, молекулярной или лиофильной сушкой. В процессе сублимационной сушки температура продукта поддерживается на уровне  $-20 \div -30^{\circ}\text{C}$ , а основная часть влаги (т. е. та, которая должна быть удалена) находится в кристаллизованном состоянии. Итак, в этом методе холодильного консервирования «потери» — основа технологического процесса. Оставшаяся в продукте влага ( $2-5\%$ ) не является помехой для длительного сохранения продуктом своего исходного качества при обычных условиях, т. е. без применения холода.

Итак, что же такое сублимационная сушка, а точнее сублимационное консервирование.

Сублимацией (или возгонкой) называется переход вещества из твердой фазы в газообразную.

Для пояснения эффекта сублимации рассмотрим схему фазовой диаграммы вещества. Такая диаграмма может быть построена для любого вещества, кроме гелия. Диаграмма характеризует зависимость равновесного состояния фаз (твердой, жидкой и газообразной) от внешних условий, т. е. от давления и температуры. Кривые, характеризующие равновесие попарно двух фаз, называют: *ОВ* — кривая плавления, *ОК* — кривая парообразования и *ОА* — кривая сублимации.



Р и с. 9. Схема фазовой диаграммы воды

Экспериментально установлено, что в системе жидкость — пар существует критическое состояние (точка *K* на рис. 9), при котором жидкость и пар становятся неразличимыми. Для кривых плавления и сублимации такой точки не обнаружено.

Кривые *OA*, *OB*, *OK* пересекаются в одной точке (точка *O* на рис. 9), называемой тройной. Тройная точка отвечает таким внешним условиям (температура и давление), при которых все три фазы (жидкая, твердая и газообразная) находятся в равновесии друг с другом. Для воды температура тройной точки около  $0^{\circ}\text{C}$ , а давление около  $610\text{ Па}$ . Таким образом, сублимация влагосодержащих продуктов происходит ниже тройной точки. В обычных атмосферных условиях сублимируют такие вещества, как нафталин и твердый диоксид углерода (сухой лед), а также лед из влагосодержащих материалов.

Вода — основа жизни на земле. В частности, в во-влажных средах (содержащих свыше 15% влаги) обычной температуре поразительно быстро развиваются самые различные микроорганизмы. Жизнедеятельность микроорганизмов можно приостановить, по-низив температуру или влажность, или то и другое временно. Удаление влаги путем тепловой сушки известно с глубокой древности. Тепловая сушка широко распространена и сейчас. Однако при этом пищевые продукты подвергаются существенным физико-химическим, биохимическим и другим изменениям, в результате которых пищевая ценность их уменьша-

ется. Если продукт (все пищевые продукты содержат значительное количество влаги, достигающее даже 80% и более) заморозить и поместить в вакуумную камеру (давление ниже 610 Па), а затем организовать подвод энергии к продукту, то влага начнет сублимироваться. Такой процесс называют сублимационной сушкой. Хотя сублимационная сушка требует больших затрат энергии, чем замораживание, хранение сублимированных продуктов можно осуществлять без понижения температуры, а следовательно и без дополнительных затрат энергии. Расчеты показывают, что если срок хранения пищевых продуктов превышает 5—7 мес, консервирование методом сублимации с энергетической точки зрения предпочтительнее хранения замороженных продуктов при отрицательных температурах. При этом качество продуктов, консервируемых методом сублимации, соответствует качеству замороженных продуктов, а после 4—5 лет хранения его превышает.

Особое значение сублимационное консервирование приобретает при сохранении таких видов продуктов, как творог, простокваша, которые не могут быть качественно сохранены длительное время другими методами, а также ягоды, плоды, соки, для доставки которых к месту потребления требуются значительные транспортные расходы (а следовательно, затраты энергетических ресурсов) независимо от того, консервируются они холодом или методом стерилизации (в автоклавах). Это объясняется тем, что масса сублимированных (т. е. обезвоженных при низких температу-

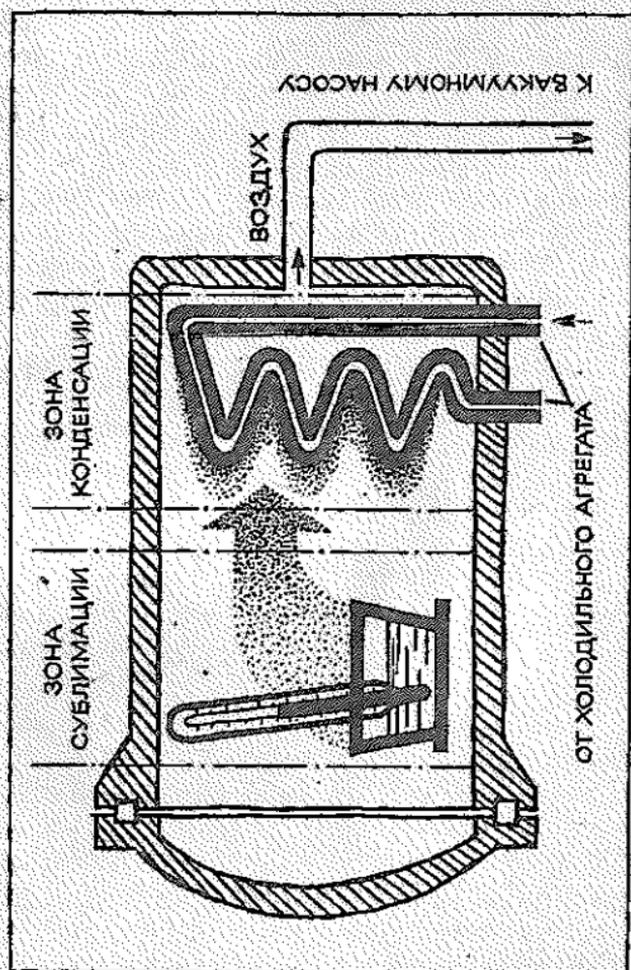


Рис 10. Схема работы сублимационной установки

рах продуктов значительно сокращается. Восстановление продуктов осуществляется путем простого погружения их в воду. Разумеется, сублимированные продукты применяют прежде всего для определенных целей (новостройки, экспедиции, отдаленные базы и районы туризма и т. п.).

Способ сублимированного консервирования пищевых продуктов был впервые запатентован в СССР горным инженером Г. И. Лаппо-Старженецким в 1921 г. Принцип работы сублимационной установки ясен из рис. 10. В герметичную камеру поставим небольшой сосуд с водой и в нем установим термометр. Соединим эту камеру с вакуум-насосом и начнем откачивать находящийся в ней воздух. Хорошо известно, что с понижением давления температура кипения воды понижается (вспомните альпинистов, которые не могут сварить кашу, находясь на больших высотах). Когда остаточное давление в камере станет ниже 610 Па (4,58 мм рт. ст.), температура воды снизится до 0 °С, а затем вода быстро замерзнет.

Если продолжать откачивать воздух, температура льда будет медленно понижаться. С таким же успехом «без холода» можно заморозить не просто воду, но и кусочек мяса или рыбы, яблоко или ягоду, молоко или творог.

Роль охладителя в этом случае будет играть вода, находящаяся в продукте. Тот же принцип заложен в использовании пористых сосудов, охлаждающих содержащуюся в них жидкость благодаря испарению части ее, которая просачивается через поры. Для того чтобы заморозить продукт, необходимо испарить 15—20% содержащейся в нем влаги. Если к замороженному продукту, который находится в нашей камере при остаточном давлении 70—300 Па, подводить понемногу теплоту, то начнется процесс непосредственного фазового перехода льда в пар, т. е. сублимационная сушка. При правильно организованном процессе сублимационной сушки продукт остается замороженным, влажность его постепенно снижается, а структура не претерпевает существенных изменений. В конечном счете получают продукт, из которого удалена почти вся влага (остается всего от 2 до 5%), причем это удаление происходит при низких температурах, резко

тормозящих почти все биологические процессы. Следовательно, практически все исходные свойства продукта сохраняются. Конечно, такой продукт очень порист, гигроскопичен. Поэтому его необходимо упаковывать в парогазонепроницаемую тару, в которой его можно хранить очень долго при обычной температуре.

Технически высокоразвитые страны мира успешно расширяют производство продуктов сублимационной сушки. В нашей стране в 1955 г. был пущен в эксплуатацию первый цех сублимационной сушки в Европе (г. Ростов-на-Дону). В дальнейшем были введены в эксплуатацию сублимационные производства в Ленинграде, Кишиневе, Таллине, Москве, Орше и Детчине (Калужская обл.). В ближайшее пятилетие планируется создание крупнейших производств в Кишиневе (для фруктов, ягод, соков и т. п.) и в г. Слуцке (БССР) для творога и других молочнокислых продуктов. Сегодня можно уверенно сказать, что сублимационное консервирование в нашей стране стало новой отраслью пищевого производства, отраслью прогрессивной, быстро развивающейся и особо перспективной для продуктов самого различного происхождения (растительного, животного, морепродуктов).

Мы коснулись использования метода сублимации в пищевых отраслях. Но следует иметь в виду, что данный метод, являясь единственно эффективным, свыше тридцати лет применяется в биологической и медицинской промышленности, в производстве лекарств, препаратов, вакцин и т. п.

### **Холод, вытянутый в цепочку**

Итак, холодильная цепь, что это такое? Это — разветвленная, сложная система, включающая холодильники различного назначения и устройства для охлаждения и замораживания, соединенные друг с другом специальным холодильным транспортом (рис. 11).

Начальное звено такой цепи — производственно-заготовительные холодильники, которые либо являются составной частью пищевого предприятия, либо представляют собой самостоятельные организационные структуры. Такие холо-

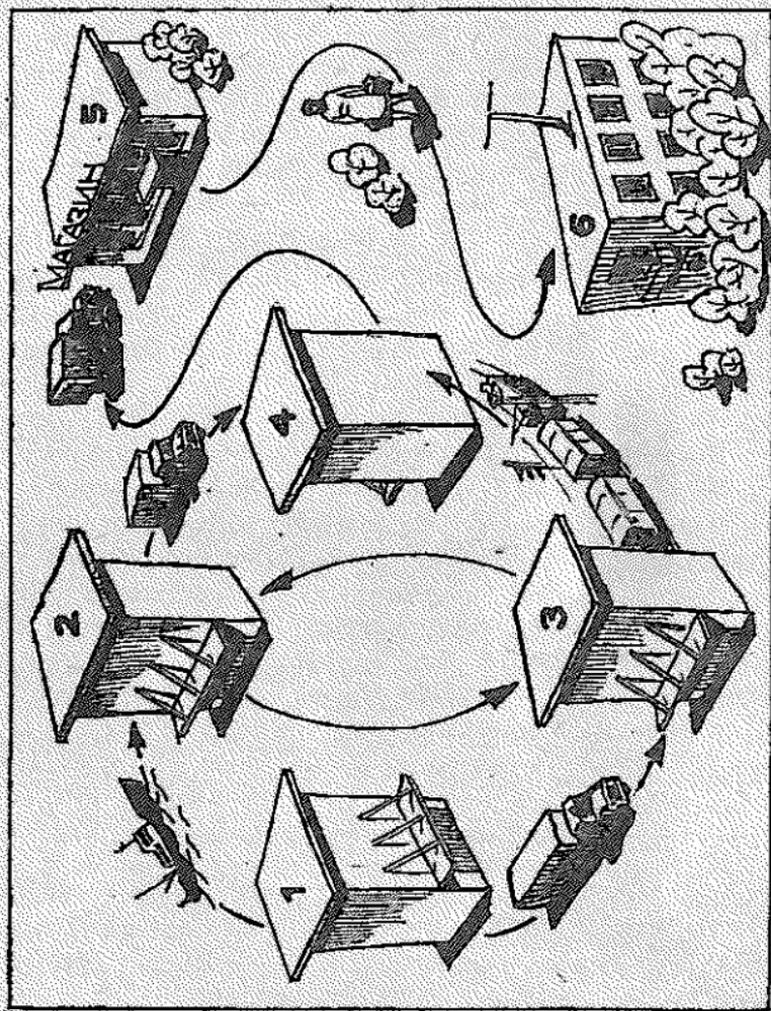


Рис. 11. Принципиальная схема холодильной цепи:  
 1 — производственно-заготовительный холодильник; 2 — «базисный» холодильник;  
 3 — «спервапочный» холодильник; 4 — распределительный холодильник; 5 — тор-  
 говый холодильник; 6 — бытовой холодильник

дильники характеризуются значительной вместимостью камер охлаждения и замораживания; работа производственно-заготовительных холодильников носит преимущественно сезонный характер, поэтому объем камер хранения не очень большой.

Базисные холодильники предназначены для накопления продукции, заготовленной в производственно-заготовительных холодильниках.

В местах, где продукты перегружают с одного вида транспорта на другой (с морского на железнодорожный или автомобильный и т. д.) создают холодильники, в которых можно недолго хранить продукты. Такие холодильники называют «перевалочными».

Распределительные холодильники предназначены для длительного хранения продуктов питания, а также для планомерного снабжения ими населения крупных городов и индустриальных центров через розничную торговую сеть, т. е. для максимального сглаживания сезонности. Именно распределительные холодильники являются основным «продовольственным складом» большого города.

Торговые холодильники предназначены для кратковременного хранения пищевых продуктов в розничной торговле и на предприятиях общественного питания. И наконец, домашний холодильник — последнее звено в сложной холодильной цепи, через которую должны пройти все виды пищевых продуктов, прежде чем они попадут на наш стол. Связующим элементом всех звеньев холодильной цепи является холодильный транспорт (автомобильный, железнодорожный, речной, морской и воздушный), который, по существу, представляет собой самостоятельное сложное хозяйство.

Таким образом, холодильная цепь берет на себя труд принимать, сохранять и доставлять продукты по назначению. Можно ли, однако, сказать, что холодильная цепь обеспечивает возможность сохранения всех продуктов, производимых сельским хозяйством? Нет! Растительная составляющая осталась почти без холода. Каковы же причины? И каковы пути устранения потерь?

Так уж повелось, что основное внимание холодильная цепь уделяет продуктам животного происхождения и морепродуктам. Они обеспечены «холодильной опекой» с момента их производства и до момента потребления, что является немалым достижением. Но сегодня этого уже недостаточно.

Посмотрим, как обстоит дело с растительным сырьем, точнее, с сочным растительным сырьем — с овощами, плодами, ягодами, бахчевыми, зеленью и т. п., как обеспечены совхозы, колхозы холодом?

Начнем с цифр. Холодильники и хладокомбинаты системы Минторга и Минплодоовощхоза располагают емкостью порядка 3 млн. т. Много это или мало? Увы! Такая емкость недостаточна. Но как ни покажется странным, и эта емкость далеко не всегда используется. Дело в том, что подавляющая часть холодильников расположена в городах. В районах выращивания сельскохозяйственной продукции холодильников незначительное количество и их емкость крайне мала (500—1000 т). Таким образом, для холодильной обработки плоды, ягоды и овощи необходимо переправлять на достаточно большие расстояния.

Вот почему сельское хозяйство старается как можно быстрее упаковать урожай и отправить его адресату. А работа эта весьма серьезная. Особенно в годы высокого урожая, когда холодильная цепь недостаточна для растительной составляющей. Но сегодня уже многое изменилось. Создаваемые агропромышленные комплексы будут оснащаться мощным холодильным хозяйством, располагающимся непосредственно в зонах выращивания плодов, овощей, ягод, способным перерабатывать, охлаждать, замораживать, сохранять и в нужные периоды года направлять продукцию по назначению.

Но, создавая холодильное хозяйство (независимо от его назначения), необходимо организовать в нем современную холодильную технологию обработки и хранения сырья и продуктов питания.

Итак, существующая холодильная емкость страны обеспечивает прием и передачу в торговую сеть скоропортящихся продуктов текущего потребления. А как обстоит дело с функцией аккумуляции? Какова необходимая холодильная емкость, способная принять и

сохранить всю сезонную продукцию? По подсчетам специалистов, чтобы полностью обеспечить прием и сохранение всего урожая, необходимо существующую холодильную емкость по меньшей мере удвоить. Но для увеличения холодильной емкости в целом нужно увеличить емкость либо всех звеньев холодильной цепи, либо некоторых из них. Как правило, планируемое увеличение относится ко всем звеньям, исключая последнее — домашний холодильник. И в самом деле, сколько может вместить домашний холодильник? Десять, пятнадцать килограммов продуктов, которые должны храниться не более 8—10 дней? Капля в море... Стоп! Действительно капля! Но ведь и море состоит из капель.

И взоры специалистов устремились к домашнему, бытовому холодильнику.

### **Миллион тонн в домашнем холодильнике**

Домашний холодильник служит для кратковременного хранения охлажденных и замороженных пищевых продуктов и производства небольшого количества водного льда. Домашний холодильник столь прочно вошел в наш быт, что мы уже не представляем себе, как можно без него обходиться. В то же время далеко не все имеют четкое представление о том, каковы функции и возможности домашнего холодильника. Рассмотрим их в аспекте современного развития этой области холодильной техники, в результате которого началось массовое производство домашних холодильников нового поколения.

**Что же такое домашний холодильник?** Домашний холодильник можно назвать хладокомбинатом в миниатюре. В самом деле, его назначение — обеспечить осуществление всех процессов холодильной обработки в домашних условиях, начиная с охлаждения и кратковременной выдержки продуктов и кончая их сравнительно длительным хранением. На первых порах (довоенные и первые послевоенные годы) домашний холодильник рассматривался как некий усовершенствованный ледник, т. е. такой шкаф, в котором можно сохранить продукты от нескольких дней до нескольких недель в естественном их виде, т. е. незамороженными.

Но вскоре появились в продаже замороженные мясо и рыба, овощи, фрукты, полуфабрикаты и готовые блюда (наиболее массовым, традиционным в нашей стране видом быстрозамороженных продуктов являются пельмени). Как следствие возникла необходимость их сохранения на длительный период. С этого и начался пересмотр функций домашнего холодильника. Стали увеличивать вместимость морозильника. Понизили температуру (чтобы обеспечить длительное, межсезонное сохранение качества продуктов).

Современный домашний холодильник состоит из двух камер, в каждой из которых расположены испарители (плоские и трубчатые): холодильного, в котором температура не ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , и морозильного, в котором она может быть  $-6$ ,  $-12$  и даже  $-18^{\circ}\text{C}$  (в последних моделях). В первом поколении холодильников в качестве холодильного агента использовали фреон. В новом поколении перешли на смеси холодильных агентов, позволяющие повысить КПД холодильного цикла на 20—30%, что имеет огромное значение для экономии энергии.

От ЗИЛа и «Саратова» к «Минску-22». Старожилы Москвы помнят витрины ГУМа 1948 г. В них было выставлено два домашних холодильника — ЗИЛ и «Саратов». Любопытные подходили, смотрели, улыбались, приценивались, кое-кто покупал. Никакой записи, никаких открыток, никаких страстей. Приходи, оплачивай чек и вези покупку домой. Это был тяжелый послевоенный период, период осмысливания необходимости и полезности любой покупки. Однако он оказался кратковременным. Однажды прохожие увидели на холодильниках вывеску «Образец не продается». Любопытствующие выяснили, что в продаже их нет. Когда будут, неизвестно. С этого начался великий «бум». Именно с этого момента домашние холодильники оказались позарез необходимы, и чем быстрее, тем лучше. Появился дефицит. Действительно дефицит и действительно надолго. Ведь и сегодня, спустя тридцать лет, спрос на ЗИЛы, «Мински» и «Бирюсу» превышает возможности. Правда, других холодильников на прилавках много. Бери — не хочу: хочу покрунее, с большим морозильником<sup>1</sup>, еще лучше, если

<sup>1</sup> Не случайно в постановлении ЦК КПСС и Совета Мини-

у него отдельная дверца, в общем, посовременней. И это не удивительно, поскольку доходы возросли, и сегодня почти каждая семья имеет домашний холодильник. Как следствие, заводы, выпускающие домашние холодильники, оказались в новых, непривычных условиях: появилась конкурентность, а за ней — затоваренность. В стрессовой ситуации оказались заводы, которые штамповали десятилетиями одни и те же модели, образцы, сводя «совершенствование» к изменению формы ручки или числа ячеек для яиц на внутренней стороне дверцы. Эти модели попросту перестали покупать. Можно ли из этого сделать вывод, что сегодня предложения превышают спрос? Конечно нет! Все дело в том, что большинство выпускаемых сегодня моделей устарело, если не физически, то морально. Эти обстоятельства и стимулировали разработки в этой области. Сегодня отечественными специалистами уже создан домашний холодильник нового поколения<sup>1</sup>. Его главные отличительные особенности: заметно увеличена вместимость морозильной камеры (ее объем 80—120 л); существенно понижена температура морозильной камеры (не выше  $-18^{\circ}\text{C}$ ); понижено удельное потребление энергии (по данным ВНИЭКИЭМП, на 20—30%).

Итак, первая партия новой отечественной домашней холодильной техники, выпуск которой подготовлен отечественным объединением «Атлант» (г. Минск), появилась уже под маркой «Минск-22». Далее холодильники нового поколения начнут выпускаться с маркой «Бирюса», «Донбасс» и др.<sup>2</sup>

**Основные характеристики домашнего холодильника.** Вопрос выбора холодильника возникает в каж-

---

стров СССР «Об увеличении производства товаров массового спроса, повышении качества и улучшении их ассортимента» намечено увеличить выпуск бытовых холодильников вместимостью 200 л и выше в 1,7 раза.

<sup>1</sup> В его разработке (началась в 1977 г.) принял участие ряд организаций: ВНИЭКИЭМП (головная), МТИММП, ОТИХП и др. (ВНИЭКИЭМП — Всесоюзный научно-исследовательский и экспериментально-конструкторский институт электронно-механических бытовых приборов, ОТИХП — Одесский технологический институт холодильной промышленности).

<sup>2</sup> Следует оговориться, что некоторые наши заводы, кроме холодильников, выпускают отдельно стоящие морозильники с температурой  $-20 \div -24^{\circ}\text{C}$ , вместимостью 120—160 л.

дой семье и висит как «дамоклов меч», пока кто-либо не решится принять «удар на себя». Важность вопроса определяется прежде всего стремлением хозяйки иметь достаточный запас продуктов питания дома, под рукой.

Итак, выбор следует осуществить по трем главным критериям: вместимости морозильника; температуре в нем; численности семьи.

Однако начнем с современной международной маркировки:

\* (одна звездочка) соответствует температуре в морозильнике  $-6^{\circ}\text{C}$ ;

\*\* (две звездочки) соответствуют температуре в морозильнике  $-12^{\circ}\text{C}$ ;

\*\*\* (три звездочки) соответствуют температуре в морозильнике  $-18^{\circ}\text{C}$ ;

\*\*\*\* (четыре звездочки) соответствуют температуре в морозильнике  $-24^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, качественный уровень холодильника, его совершенство устанавливаются таким же образом, как для коньяка: чем больше звездочек, тем лучше. Сохранить все исходные свойства и пищевую ценность продуктов можно: в течение 2—6 недель в морозильнике холодильника с двумя звездочками; в течение 6—12 мес в морозильнике холодильника с тремя звездочками и более.

Количественная характеристика холодильника зависит от численности семьи. В зарубежной практике<sup>1</sup> выбор холодильника рекомендуют производить из расчета до 100 л вместимости морозильника (три звездочки) на человека. Скажем прямо, цифра внушительная. Так, для семьи из трех-четырех человек необходим холодильник с морозильником вместимостью 400 л и более. Разумеется, эти рекомендации обращены к весьма состоятельным зарубежным покупателям.

Первые опытные образцы нового поколения отечественной бытовой холодильной техники уже прошли стадию испытаний. Технология хранения отработана<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Бери М. Секреты замораживания 1976 г. — издание на франц. языке.

<sup>2</sup> Технология отработана МТИММП при участии специалистов ВНИПГиСПТ и консультациях института питания АМН СССР.

Получены результаты, показывающие возможность двенадцатимесячного хранения ягод, плодов, овощей свежемороженными без существенного изменения исходных свойств. Однако к домашнему холодильнику предъявляются специфические, жесткие требования. Холодильник должен надежно работать длительное время (15 и более лет) без какого-либо технического обслуживания, должен быть предельно простым в управлении и абсолютно безопасным в эксплуатации, а также экономичным.

Компрессор домашнего холодильника сидит на одном валу с электродвигателем, и они заключены в общий герметичный кожух. В домашних холодильниках применяют конденсаторы воздушного охлаждения с естественной циркуляцией воздуха. Испарители домашних холодильников листовые, их изготавливают путем сварки из двух листов коррозионностойкой стали с выштампованными в них каналами или прокатки листов алюминия с последующим образованием каналов гидравлическим способом.

**Сделаем элементарный расчет.** Сегодня практически каждая семья страны пользуется холодильником. По ориентировочной оценке специалистов их примерно 80 млн. шт. Если принять, что в каждом морозильном отделении упомянутых холодильников можно разместить 12—15 кг (в самом первом приближении), то в сумме это дает:  $80 \text{ млн.} \times (12 \div 15 \text{ кг}) = 1 \text{ млн. т.}$  Другими словами, только в домашних холодильниках содержится продуктов больше, чем в морозильных камерах для растительного сырья всех ведомств вместе взятых.

Скажем прямо, цифра весьма внушительная. Ну а если увеличить вместимость морозильника в два, три или пять раз? Вот тогда эта «разрозненная», но вполне реальная емкость станет мощным «аккумулятором», способным существенно облегчить программу сохранения сезонных продуктов, примет на весь сезонный период немалую долю той части сочного растительного сырья, которая остается сегодня нереализованной, т. е. ту, которая составляет наши потери. А ведь они у нас пока не отличаются от приведенной выше, общей для планеты (напоминаем, примерно 30%).

Увеличение вместимости морозильной камеры бытовой холодильной техники будет способствовать сохранению всевозрастающего количества растительной продукции именно в период сезона, когда этой продукции много и холодильные емкости совхозов и торговли не в состоянии их вместить. Замороженное и замороженное в морозильник домашнего холодильника растительное сырье создает дополнительный резерв продуктов, дополнительный к резерву, создаваемому специализированными предприятиями, т. е. к продукции, сохраняемой в ведомственных холодильниках.

К изложенному следует добавить, что одобренная майским (1982 г.) Пленумом ЦК КПСС Продовольственная программа уже реализуется. А ведь основная задача программы — полностью обеспечить население продуктами питания, и в первую очередь растительной составляющей в течение всего года.

Таким образом, бытовое холодильное консервирование как последнее звено холодильной цепи станет качественно новым, дополнительным методом длительного сохранения продуктов, дополнительным к тем, которые уже давно практикуются (сушка, маринование, засолка, консервирование в банках и т. п.), но способным сохранить лишь часть (и не самую полезную), продуктов, дополнительным, но резко отличающимся от остальных качеством продуктов (сохраняются практически все исходные свойства) и полной безопасностью<sup>1</sup>.

Мы вступаем в новую фазу «бытовой революции», когда перед нами стоит задача раскрепощения человека от множества непроизводительных затрат времени и средств.

Быт сегодня все еще остается нашей «ахиллесовой пятой». Новая бытовая холодильная техника станет одним из наиболее весомых вкладов в дело нашей «продуктовой эмансипации».

Сочетание растительной и прочей продукции, самостоятельно заготавливаемой, с использованием всевоз-

---

<sup>1</sup> Замороженные продукты никогда не бывают токсичными. В то же время широко применяемое домашнее консервирование (в герметизируемых банках), осуществляемое с нарушением технологии (в домашних условиях ее крайне трудно контролировать), может в ряде случаев приводить к порче продуктов.

растающего производства быстрозамороженной продукции и изделий на предприятиях позволит в ближайшие годы существенно упорядочить наше питание, перейти к организации рационального, сбалансированного питания.

## **5. Холод и микроклимат**

Безусловно, важнейшим природным фактором, обеспечивающим саму возможность жизни, является атмосферный воздух. С биологической точки зрения он может быть рассмотрен как своеобразный «продукт питания», поскольку потребление воздуха является абсолютно необходимым для осуществления обменных процессов. Суточное потребление воздуха для взрослого человека составляет 25 кг, что значительно превышает потребление воды и пищи (в сумме около 3 кг). Чрезвычайно велико воздействие состояния воздуха на настроение, производительность труда и эффективность отдыха человека. Одно из направлений применения искусственного охлаждения — это кондиционирование воздуха, т. е. создание в помещениях желательного климата (микроклимата). Создание систем кондиционирования воздуха можно рассматривать как определенный этап в направлении усиления независимости человека от природы. Если сейчас мы еще не умеем управлять климатом в масштабах планеты или определенных географических регионов, то современная холодильная техника дает возможность управлять климатом в основной сфере человеческого обитания — жилищах, административных и промышленных помещениях.

Многие виды производственной и творческой деятельности человека осуществляются внутри помещений, и поэтому возможность управления микроклиматом — одно из важнейших достижений XX в. Предварительно — некоторые сведения о воздухе, «нас питающем».

### **Атмосферный воздух**

Воздух планеты содержит в своем составе, %: кислорода 20,95; азота 77,89, водорода 0,01, аргона и

гелия 0,94, водяных паров 0,18, а также фреона и диоксида углерода 0,03%, которым в последние годы уделяют усиленное внимание.

Обнаружены также озон, неон, следы аммиака и других газов, а в пробах воздуха, взятых в городах, — сернистый водород, серная кислота. Постоянство состава атмосферного воздуха обеспечивается природными процессами, мощность которых в настоящее время пока компенсирует технологическую деятельность человека. Тем не менее ученые уже сейчас наблюдают начало незначительных изменений в газовом составе атмосферы, последствия которых трудно предсказуемы в деталях, но, вне всякого сомнения, нежелательны.

Можно считать, что уменьшается содержание азота в атмосфере, так как значительные его количества используются мировой химической промышленностью. Уменьшается также содержание кислорода, который помимо химической промышленности и транспорта в большом объеме поглощается авиацией и черной металлургией.

Напротив, содержание диоксида углерода, угарного газа, окислов азота и некоторых других продуктов, являющихся отходами промышленности и транспорта, возрастает.

Возрастает также общая загрязненность атмосферы, особенно в крупных городах. Исследования, проведенные в США, позволили установить основные источники загрязнения атмосферного воздуха: автомобили 60,6%; промышленность 17%; электростанции 14%; отопление 5%; уничтожение мусора 0,4%.

Необходимо отметить, что источниками загрязнения атмосферы могут быть такие природные явления, как извержения вулканов, песчаные бури, лесные пожары, гниющие болота и др. Однако в последнее время все большее и большее значение приобретают искусственные источники загрязнения. Один легковой автомобиль в сутки выделяет от 0,5 до 1 кг выхлопных газов, в составе которых содержится до 3% угарного газа, 0,06% окиси азота, 0,5% углеводородов, 0,006% окиси серы, 0,004% альдегидов и др.

Влияние загрязнений воздуха на климатические условия практически проявляются пока лишь в неко-

торых крупных промышленных центрах, в городах, в которых естественная циркуляция воздуха незначительна. Однако в случае неконтролируемого увеличения загрязнений атмосферы это влияние может усилиться<sup>1</sup>.

В настоящее время постепенно начинает меняться отношение промышленности к таким необходимым для ее развития видам сырья, как чистый воздух и пресная вода.

Взгляд на природу, как на бесплатный и неисчерпаемый источник чистого воздуха и пресной воды, постепенно сменяется точной оценкой имеющихся в природе ресурсов, важнейшим из которых является атмосферный воздух постоянного газового состава. Такой подход не только является необходимым с точки зрения охраны природы, но и следует из логики развития промышленности. Ведь совершенно ясно, что загрязнение атмосферы создает трудности и для развития самой промышленности.

Если не очищать воздух теперь, то через некоторое время промышленность вынуждена будет работать на кондиционированном воздухе, что потребует огромных затрат сил и средств. Возникшая в последнее время тенденция более бережного и рационального отношения промышленности к природе позволяет надеяться, что этого не случится. Уже сейчас, видимо, есть смысл при проектировании промышленных предприятий и транспортных средств рассматривать воздух не как бесплатный «дар природы», а как продукт труда, имеющий определенную стоимость. Отрадным, например, является факт, что 80% прироста выпуска продукции химической промышленности в течение 1971—1975 гг. получено при неизменном заборе свежей воды и сокращении сброса сточных вод.

### **Воздух — универсальный «теплоноситель»**

Мы не только дышим воздухом — воздух является той естественной средой, через которую большая часть теплоты отводится от человеческого организма.

---

<sup>1</sup> Например, в Токио уже вводятся кислородные маски для регулировщиков транспорта.

Поддержание постоянного значения температуры организма человека возможно только при наличии непрерывного тепло- и влагообмена между телом человека и окружающей средой. Этот процесс строго индивидуален. Каждый человек по-своему реагирует на изменение температуры воздуха, его относительную влажность, скорость движения. Состояние воздуха, при котором человек не испытывает каких-либо неприятных ощущений, связанных с окружающими метеорологическими условиями (жара или холод, излишняя влажность или сухость воздуха, сквозняк или застой воздуха), называют комфортным микроклиматом.

Совершенно ясно, что параметры комфортного микроклимата различны не только для разных людей, но и для каждого человека в зависимости от выполняемой им деятельности, его одежды, времени года и др. Так, при легких физических нагрузках выделение теплоты с поверхности человеческого тела составляет примерно 170 Вт, а при тяжелых может превосходить 300 Вт. Тем не менее можно указать на следующие усредненные характеристики, определяющие комфортный микроклимат:

скорость воздуха в помещении более 0,35 м/с обычно ощущается как сквозняк; скорость воздуха меньше 0,08 м/с, как правило, не ощущается; комфортный уровень составляет 0,1—0,15 м/с;

температура в помещении должна изменяться от 22,5 до 25,5°C, а относительная влажность от 40 до 60%;

скорость изменения температуры воздуха не должна превышать 2,2°C/ч, а относительной влажности 20%/ч.

Большое значение для восприятия музыкальных произведений, театральных постановок, лекций и пр. имеет состояние воздуха в помещении, где происходит соответствующее мероприятие. Видимо, многие из нас испытывают чувство духоты в театральном или концертном зале старого типа и легко могут оценить достоинства современных театральных и концертных залов, оборудованных установками кондиционирования воздуха.

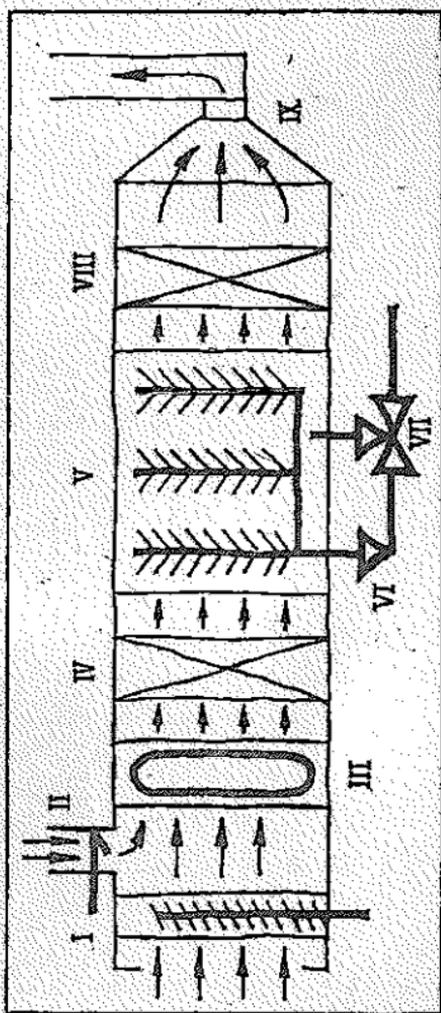


Рис. 12. Схема установки кондиционирования воздуха:  
 I — клапан наружного воздуха; II — клапан рециркуляции воздуха; III —  
 фильтр; IV — калорифер первого подогрева; V — воздухоохладитель; VI — насос;  
 VII — смесительный клапан; VIII — калорифер второго подогрева; IX — ве-  
 тиллятор

Воздух является наиболее распространенным теплоносителем и в процессе холодильной технологии (охлаждение, замораживание, холодильное хранение и размораживание).

### Что такое кондиционирование воздуха?

Как производят кондиционированный воздух и какова здесь роль холода? На рис. 12 в самом упрощенном виде показана схема установки кондиционирования воздуха. В большинстве случаев установки кондиционирования воздуха используют как наружный воздух, поступающий в аппарат через клапан *I*, так и воздух из помещения (рециркуляционный воздух), поступающий через клапан *II*. Смещение наружного и рециркуляционного воздуха осуществляется с целью экономии энергии.

Соотношение расходов наружного и рециркуляционного воздуха зависит от многих факторов, главными из которых являются состояние наружного воздуха (наружный климат) и характер тепловых нагрузок на кондиционируемое помещение. Поскольку факторы, от которых зависит соотношение расходов наружного и рециркуляционного воздуха, непрерывно изменяются, клапаны *I* и *II* работают в автоматическом режиме.

В зависимости от назначения кондиционируемого помещения и количества находящихся там людей в помещение во всех случаях подается санитарная (т. е. минимально необходимая) норма свежего воздуха. Перед тем как пройти дальнейшую тепловлажностную обработку, воздух проходит через фильтр *III*, где очищается от пыли. Очищенный воздух проходит через калорифер *IV*, работающий только в зимний период времени, и направляется в воздухоохладитель *V*. На рис. 12 схематично показан так называемый мокрый воздухоохладитель, который наиболее часто применяют в комфортных кондиционерах. Мокрый воздухоохладитель состоит из камеры, в которой через специальные устройства (форсунки) разбрызгиваются мелкие капли воды, насоса *VI*, создающего необходимый напор, и трехходового смесительного клапана *VII*, позволяющего регулировать соотноше-

ние оборотной (более теплой) и холодной воды. В зависимости от соотношения между температурами воздуха и воды воздух на выходе из мокрого воздухоохладителя может не только охлаждаться, но и осушаться.

Попытаемся разобраться в происходящем более подробно. Воздух проходит через слой мелких капелек воды и при определенных условиях не влага испаряется в воздух, увлажняя его, а, наоборот, влага, содержащаяся в воздухе в виде пара, конденсируется на мелких водяных каплях. Парадокс? Вовсе нет. Вспомним классический опыт из школьного курса физики по определению температуры «точки росы» воздуха. Основными элементами экспериментального стенда для проведения такого опыта являются два термометра, ртутные шарики которых заключены в тонкостенные металлические резервуары. Наружные поверхности резервуаров отполированы до зеркального блеска для защиты термочувствительных элементов от теплового излучения.

Один из резервуаров заполняется эфиром; в другой резервуар нагнетается воздух, что вызывает интенсивное испарение эфира и его охлаждение. Температура воздуха, при которой на холодной поверхности резервуара появятся капли конденсата и зеркальная поверхность затуманится, называется температурой «точки росы» воздуха. Таким образом, при температуре «точки росы» начинается конденсация влаги из воздуха.

Если в камере мокрого воздухоохладителя температура разбрызгиваемой воды понизится и станет меньше значения температуры «точки росы», то начнется конденсация влаги из воздуха на развитой поверхности водяных капель.

Изменяя соотношение между холодной и оборотной водой, можно регулировать не только температуру, но и влажность воздуха. Таким образом, в установках кондиционирования воздуха охлажденная вода может не только охлаждать, но и осушать или увлажнять воздух.

После воздухоохладителя *V* воздух в случае необходимости нагревается на калорифере *VIII* (калори-

фер второго подогрева) и вентилятором IX подается в кондиционируемое помещение.

Итак, искусственное охлаждение позволяет создать требуемый микроклимат в помещениях и в целом получить более «свежий» воздух, чем наружный. В этом и заключается смысл кондиционирования, т. е. доведения воздуха до заданной кондиции.

### Технологический микроклимат

Большая часть процессов современной технологии происходит в тех же условиях, в которых мы с Вами живем, т. е. в воздушной среде при атмосферном давлении. Микроклимат помещений, где осуществляется технологический процесс, может оказывать на него существенное влияние. Комфортные условия для людей — не обязательно лучшие для технологии. Поддержание параметров микроклимата на уровне, определяемом технологией, называют технологическим кондиционированием. В целом ряде производств (металлургическая, горно-добывающая промышленность и др.) трудовая деятельность без кондиционирования воздуха вообще вряд ли возможна. Кондиционирование воздуха осуществляется здесь в специальных условиях (например, в глубоких шахтах, при повышенных температурах (до  $70^{\circ}\text{C}$ ), в горячих цехах металлургических предприятий). Такое кондиционирование можно также считать технологическим. В частности, в кабине мостового крана, осуществляющего розлив стали, температура воздуха без кондиционера может достигать  $80^{\circ}\text{C}$ . Естественно, кондиционер является в этом случае обязательным элементом технологии.

Технологическое кондиционирование требуется также в помещениях, в которых обрабатываются, изготавливаются и хранятся гигроскопические материалы (например, газеты, книги, волокнистые материалы и пр.). Вам, видимо, приходилось бывать в музеях и картинных галереях. Музей — не только центр культуры, но и хранилище величайших культурных ценностей, т. е. в музее осуществляется технологический процесс хранения. Если внимательно осмотреть стены музея, то в каждой комнате можно увидеть психро-

метр — прибор для измерения относительной влажности воздуха. Относительная влажность и температура воздуха должны иметь вполне определенные значения — поддержание их на заданном уровне и является основной задачей установок кондиционирования воздуха в музеях, картинных галереях, хранилищах документов, рукописей и пр. Это тоже технологическое кондиционирование, обеспечивающее возможность длительного хранения культурных ценностей и документов.

Диапазон применения установок технологического кондиционирования воздуха необычайно широк — это и химическая промышленность (например, формирование структуры полимерных материалов из раствора), и производство искусственного волокна, обработка строительных материалов и пр. Большое значение имеет применение технологического кондиционирования в помещениях, где хранится углеродистая сталь. Скорость ее коррозии, незначительная при относительной влажности 30—40%, существенно (в десятки раз) возрастает при достижении влажности 65%.

При точной обработке измерительных инструментов и оптических приборов (допуск 2—3 мкм) установки технологического кондиционирования воздуха должны обеспечить поддержание температуры внутри помещения с высокой точностью, так как колебания температуры воздуха приводят к недопустимым отклонениям размеров деталей.

Технологическое кондиционирование применяют для защиты поверхностей полированных изделий от микророзрывов (необходимо поддерживать низкие значения температуры и относительной влажности воздуха), разрушения электростатических зарядов (относительная влажность воздуха должна быть выше 55%).

Широко применяют установки специального технологического кондиционирования воздуха в операционных и других специальных помещениях. Наряду с поддержанием определенных значений температуры и относительной влажности воздуха системы кондиционирования воздуха в лечебных учреждениях должны обеспечивать и бактериологическую очистку воздуха.

Разнообразна область использования техники кондиционирования воздуха и в пищевой промышленности.

Прежде всего это системы для хранения фруктов и овощей в охлажденном состоянии, причем лучшие результаты дает хранение в так называемой модифицированной атмосфере (повышенное содержание азота и углекислого газа и пониженное содержание кислорода).

Создание во фрукто- и овощехранилищах специального газового состава является еще одним этапом в развитии техники кондиционирования воздуха. Пониженное содержание кислорода (совсем его исключить из атмосферы нельзя, так как фрукты и овощи в процессе хранения «дышат») угнетает деятельность микрофлоры. Очень хорошие результаты получают при хранении яблок в такой атмосфере.

В нашей стране был осуществлен ряд опытных перевозок мясопродуктов и персиков холодильным автотранспортом с азотной системой охлаждения. При такой системе охлаждения пары азота частично вытесняли атмосферный воздух из охлаждаемого объема, и транспортировка осуществлялась фактически в атмосфере с повышенным содержанием азота. Результаты, полученные во время опытных перевозок, положительные. В г. Харькове вот уже в течение нескольких лет функционирует система внутригородской перевозки мясопродуктов. В целом надо отметить, что сочетание систем охлаждения с созданием в охлаждаемом объекте атмосферы заданного (вполне определенного для каждого вида продукта) состава имеет определенные перспективы во всех отраслях пищевой промышленности. Отметим, однако, что хранение в «модифицированной» атмосфере требует повышенной герметичности камер. В противном случае атмосферный воздух, проникая через неплотности, вытесняет «модифицированную» среду.

Важное значение имеют системы кондиционирования, обеспечивающие низкую относительную влажность воздуха (около 25%) в цехах для расфасовки овощей и фруктов сублимационной сушки. Продукты сублимационной сушки — высококачественные продукты, предназначенные для длительного хранения.

Однако, будучи обезвоженными до остаточной влажности 3—5%, они являются крайне гигроскопичными. Даже кратковременное (во время фасовки) нахождение этих продуктов в среде с высокой относительной влажностью воздуха может существенно снизить срок их хранения. Технологическое кондиционирование широко применяют в хлебопекарной, кондитерской и других отраслях пищевой промышленности.

На предприятиях мясной и молочной промышленности системы кондиционирования воздуха применяют в целом ряде производств: созревание сыра, сушка полукопченых и сырокопченых колбас, производство фасованного мяса, отрубов, полуфабрикатов. Значения параметров микроклимата в технологических помещениях (температура 12°C и относительная влажность 70—75%) также назначают с учетом многочисленных производственных факторов. Температура 12°C является промежуточной между температурой, рекомендуемой технологическими (4°C) и комфортными (18—20°C) условиями для работающего персонала. Поддержание температуры 12°C исключает возможность появления мух (личинки мухи начинают развиваться при температуре 14—15°C) в помещениях, где имеется непосредственный контакт сырья с окружающей средой.

Сочетание значений температуры (12°C) и влажности (70—75%) практически исключает влагообмен между продуктом и воздухом, так как температура «точки росы» воздуха примерно равна температуре поверхности продукта (около 7°C).

Таким образом, принятые параметры воздушной среды обеспечивают рациональное проведение технологического процесса. Приведенный режим является одним из многочисленных примеров решения инженерной задачи (о таких задачах мы писали в первой главе), когда конечный результат — компромисс между различными требованиями.

Установки технологического кондиционирования создают микроклимат, позволяющий осуществлять достаточно сложные микробиологические процессы, происходящие при созревании сыра или сушке сырокопченых колбас.

Эти процессы весьма длительны, и длительность их определяется характером микробиологических изменений.

Можно ли, например, высушить колбасу быстрее, чем это делается сейчас (продолжительность сушки около 30 суток)?

Да, изменив параметры микроклимата. Однако в этом случае необходимые микробиологические процессы просто не успеют пройти и технология будет не интенсифицированной, а укороченной. Принятые параметры (температура  $12^{\circ}\text{C}$  и влажность 75%) обеспечивают при сушке сырокопченых колбас одновременное завершение как микробиологических, так и теплофизических (обезвоживание) процессов.

Работая на предприятиях пищевой промышленности, вы должны обдуманно подходить к интенсификации подобных процессов.

Особенностью систем, создающих технологический микроклимат на предприятиях мясной и молочной промышленности, является наличие устройств для очистки воздуха от запахов и микроорганизмов. Ведь предприятия мясной и молочной промышленности должны выпускать продукцию, абсолютно благополучную в санитарном отношении.

Наличие посторонних запахов в производственном помещении — свидетельство запыленности и загазованности воздуха. Воздух производственных помещений предприятий мясной и молочной промышленности (камеры хранения колбасных изделий и полуфабрикатов, посола и созревания сыра и др.) является благоприятной средой для размножения микрофлоры. Количество микроорганизмов в таком воздухе составляет  $10^5$  единиц и более в  $1\text{ м}^3$  воздуха.

Простейшим способом уничтожения микроорганизмов, содержащихся в воздушной среде, является проветривание помещений наружным воздухом в холодный период года, когда содержание влаги в воздухе минимально. Поэтому холодный сухой воздух, поступающий в технологическое помещение, лишает микроорганизмы столь необходимой для их развития влаги. Кроме того, в системы технологического кондиционирования предприятий мясной и молочной промышленности вводят специальные устройства, позволяющие

очистить воздух от запахов и микроорганизмов. Это фильтрующие патроны с активным древесным углем, озонаторы, бактерицидные лампы. Однако средства очистки воздуха от запахов и микроорганизмов позволяют получить только поверхностный бактерицидный эффект. Например, такой хороший инактивирующий газ, как озон, не проникает в толщу продукта и не влияет на биохимические и микробиологические процессы, происходящие в нем.

Отметим, что системы технологического кондиционирования, как правило, дороже систем комфортного кондиционирования. Поэтому применять такие системы следует лишь там, где это необходимо. В частности, на предприятиях мясоперерабатывающей промышленности наиболее высокие требования к стерильности воздуха предъявляют цеха для производства медицинских препаратов.

## **6. Холод и долголетие**

Изобретение огня дало человечеству известную независимость от погодных условий и, возможно, явилось одним из решающих факторов, обеспечивавших становление человека. Средство спасения от жары — искусственный холод — было создано как вы, вероятно, уже обратили внимание, спустя миллионы лет (лишь в XIX веке). Первое средство было необходимо человечеству для того, чтобы выжить, второе — чтобы повысить жизненный уровень, обеспечить развитие цивилизации.

Получение искусственного холода не стало сенсацией века. Искусственный холод вошел в жизнь человека незаметно. Однако сегодня практически нет ни одной отрасли народного хозяйства, которая могла бы обходиться без него. Завтра искусственный холод может стать главным, центральным, фактором в решении проблемы «бессмертия», реализацию которой известный английский ученый-физик А. Кларк отнес к 2100 г.

### **От мифического «бессмертия» — к реальному долголетию**

Интересна постановка вопроса о продолжительности жизни человека с точки зрения термодинамики

необратимых процессов. Согласно термодинамическим представлениям удельная теплопродукция организма в процессе его развития непрерывно снижается, приближаясь к равновесному состоянию, которое и трактуется как естественная смерть. Экспериментальные данные<sup>1</sup> показывают, что даже на самых поздних стадиях старения людей продолжается непрерывное снижение удельной теплопродукции организма. Это позволяет сделать вывод о том, что предельный возраст далеко еще не достигнут, хотя сомневаться в самом его существовании не приходится. В частности, было установлено, что клетки, взятые от здоровых людей в возрасте от 63 до 92 лет, живут и размножаются в физиологической среде, однако продолжительность жизни и скорость роста клеток «стариков» меньше, чем клеток, взятых от людей в возрасте от 21 до 36 лет.

Изложенное дает все основания однозначно трактовать понятие «бессмертие» лишь как стремление к разработке методов, способных в целом обеспечить достаточно приемлемую продолжительность жизни, порядка 150—200 лет (при этом не исключая возможность постепенного ее увеличения), при главном условии — высокой активности на всем протяжении жизни.

Подобная постановка задачи уже, безусловно, реальна, современна, прогрессивна и вряд ли оспорима как по существу, так и по возможности ее реализации.

Однако при такой постановке возникают две задачи:

первая — профилактическая, заключающаяся в том, чтобы избавиться от груза наследственных недугов, вырастить максимально полноценное (во всех отношениях) поколение и обеспечить сохранение этой полноценности в течение всей жизни (разработка оптимального «генетического кода» и его внедрение в медицинскую практику);

вторая — лечебная, заключающаяся в том, чтобы восстановить полноценность состояния тех членов об-

---

<sup>1</sup> Зотин А. И. Термодинамический подход к проблемам развития, роста и старения. — М.: Наука, 1974. — 183 с.

щества, которые по каким-либо причинам (наследственность, несчастные случаи и т. п.) временно ее утратили. Для переходного периода потребуется весь современный (и будущий) арсенал науки и техники, способный решать поставленные задачи.

Проблема долголетия, разумеется, имеет множество аспектов, и хотелось бы подчеркнуть, что мы здесь касаемся только лишь одной стороны этой проблемы — проблемы использования холода для сохранения органов, тканей, необходимых для трансплантации. По всей вероятности, решение этой проблемы долголетия будет основываться на использовании холода (обратимая консервация «деталей» организма в «банках органов»); на хирургии (трансплантология); на решении проблем иммунологии.

Разумеется, при этом не исключается возможность использования искусственных органов. Опыт, однако, показывает, что самый лучший искусственный орган пока не сопоставим по продолжительности и качеству функционирования с естественным.

### ○ консервировании «жизни» холодом

Проблема обратимого консервирования живых биологических материалов делает лишь самые первые шаги в своем развитии. «Обратимое консервирование» предполагает осуществление процессов охлаждения, замораживания, хранения и размораживания в таких условиях, которые обеспечивают полное восстановление всех жизненных функций органа после всех упомянутых холодильных воздействий. Но эти первые шаги дают все основания прогнозировать главное — несомненную реализуемость поставленной задачи.

Итак, в чем суть, главное содержание «обратимого консервирования»? Почему современные методы недостаточны для решения данной задачи?

Большинство читателей не могут не помнить «сенсацию века», вызванную исключительными по своей смелости экспериментами доктора Кристиан Барнард по пересадке сердца. Несмотря на первую неудачу с Вакшанским, он буквально тут же повторил опыт с Блайбергом. И этот опыт имел трудно переоцениваемый эффект, точнее — последствия. Он вызвал

цепную реакцию появления последователей, подготовленных и неподготовленных (в результате чего было немало неудач), эмоциональную бурю (восторгов и негодования), привел к серьезному обсуждению проблемы пересадки в самых различных аспектах (хирургическом, иммунологическом, техническом, юридическом и моральном). Здесь нелишне отметить существенную роль русских и советских исследователей, которые уже с начала XX века работают над проблемами трансплантации. Необходимо отметить работы П. И. Бахметьева в области анабиоза, работы С. С. Брюхоненко, создавшего первый в мире аппарат искусственного кровообращения, и многих других.

Сегодня, когда страсти улеглись, можно вполне спокойно обобщить первые итоги и сформулировать основные выводы.

Итак:

1. Проблема пересадки как таковая (в техническом и хирургическом плане) практически разрешима.

2. Проблема иммунологическая (подавление реакции отторжения) находится в стадии разрешения. Люди с пересаженными органами, в том числе сердцем, живут 5, 6, 8 и более лет. С целью подавления реакций отторжения применяют ряд химических и биологических препаратов.

3. Проблема донора. Это круг проблем исключительно высокой степени сложности, который включает:

а) многочисленную группу показателей, способных наиболее полно и объективно характеризовать объект пересадки. Показатели должны наиболее полно совпадать с показателями человека, которому будут производить пересадку (реципиента);

б) состояние донора и реципиента;

в) юридические проблемы, включающие сложнейшие правила, регламентирующие условия изъятия органа для пересадки, морально-этические вопросы (решение семьи донора) и др.;

г) проблему времени. Не менее существенная и, по-нашему мнению, центральная. В самом деле, у врачей, готовящих пересадку, остаются считанные часы и минуты, ибо органы после изъятия (сегодня) могут быть сохранены при температуре порядка 6—8°C:

мозг в течение 5—6 мин, печень — 20—30 мин, почки — 40—60 мин, сердце — 60 мин, конечности — 3—4 ч. Более низкие температуры пока неприменимы. Такие органы, как почка, сердце, конечности могут быть сохранены в течение и более продолжительного времени (несколько часов) путем организации перфузии (прокачки охлажденного физиологического раствора через кровеносную систему)<sup>1</sup>.

Итак, перед хирургами, решившимися на пересадку непарного<sup>2</sup> органа, стоят две диаметрально противоположные и взаимоисключающие задачи:

первая — спасти страдающего (или пострадавшего) человека и тем самым лишить надежды на спасение другого, тяжело больного, человека;

вторая — вернуть к жизни тяжелобольного человека и тем самым лишить жизни пострадавшего человека.

Возможна ли альтернатива? Возможна, но единственная и заключающаяся в создании метода длительного (не менее 30 суток) консервирования органов.

В этом случае с врачей снимается тяжелейшая моральная проблема. Им остается лишь предпринять все, что они в состоянии предпринять для спасения пострадавшего, и, лишь убедившись в невозможности этого, они выполняют свой долг, изъяв и заложив на длительное консервирование орган (или органы), который в данный момент времени персонально никому не предназначается. Итак, единственное решение — «банк длительного хранения живых органов».

### **«Банк живых органов»**

Идея создания «банка живых органов» основана на реальном опыте создания «банков крови» (или «банков жизни»), т. е. центров, в которых длительное время сохраняется донорская кровь.

В нашей стране за последние годы успешно реше-

<sup>1</sup> Шумаков В. И., Мирский М. Б. Проблемы трансплантологии. — Природа, 1979, № 6, с. 62—68.

<sup>2</sup> Парный орган (например, почка) пересаживается чаще всего от здорового донора и к рассматриваемой проблеме отношения не имеет.

на проблема долгосрочного (6—10 лет) хранения крови. Создан крупный центр в Центральном ордена Ленина институте гематологии и переливания крови (Москва), в котором и был разработан метод. Интенсивные исследования в области обратимого консервирования крови, костного мозга, клеток и тканей осуществляются рядом других организаций, в том числе и Харьковским институтом проблем криобиологии и криомедицины АН УССР. «Банки крови» открыты в ряде крупных городов нашей страны. На их основе создаются центры по консервированию костного мозга, тканей и т. п. Разумеется, технология консервирования крови, костного мозга, роговицы и т. п. несопоставимо проще технологии консервирования органов. Не следует понимать слово «проще» буквально; простота здесь относительная. Консервирование крови холодом осуществляют в специальных плоских контейнерах; теплоту отводят в соответствии со специальной программой охлаждения крови от температуры тела до азотной температуры; при консервировании кровь защищают специальным раствором и т. п.

Предполагается, что в «банке живых органов» (который может быть либо национальным, либо международным) будет организовано многомесячное, а может быть и многолетнее хранение органов при низких температурах в особых условиях. Данные, характеризующие их, будут заложены в память ЭВМ.

По мере поступления запросов от клиник ЭВМ будут проводить поиск требуемого органа, сопоставление показателей и при наличии совпадения заданного числа последних сообщать соответствующий ответ в клиники.

При этом отпадает необходимость длительного ожидания «случая» (точнее — несчастного случая) для получения донора; снимается тяжелый моральный аспект пересадки (и с врачей, и с обеих семей); снимается одна из главных причин организационной сложности подобных трансплантаций — «дамоклов меч» нехватки времени; создаются условия для спокойной, продуманной во всех деталях, планомерной подготовки и организации трансплантации с учетом изменяющегося состояния больного. Внимание врачей

сосредоточено только на одном человеке, больном, которого нужно спасти.

Разумеется, подобный «банк» еще не создан, и его созданию должна предшествовать длительная многоплановая исследовательская работа специалистов самого различного профиля, в которой, однако, главная, центральная, роль будет отведена искусственному холоду.

### Биология и криобиология

Биология — наука о жизни. Криобиология (крио — холод) — наука о влиянии холода на жизнь.

Около 300 лет тому назад Генри Пауэр приступил к изучению влияния замораживания на биологические объекты. Значительно более существенным был подход к вопросу у наших соотечественников А. Н. Хорвата и П. И. Бахметьева в конце прошлого — начале настоящего века.

В текущем столетии, и особенно в последние десятилетия, криобиология начала бурно развиваться, демонстрируя удивительные результаты. Сегодня криобиология — одно из наиболее молодых и перспективных направлений использования холода. Консервирование донорской крови, костного мозга, роговицы, хрящей, микроорганизмов и спермы сельскохозяйственных животных уже вышло из стадии эксперимента и постепенно превращается в специальный раздел холодильной технологии — криобиологическую технологию.

Анабиоз целых организмов высших теплокровных животных — задача более сложная и пока нерешенная. В соответствии с современными представлениями анабиоз нельзя рассматривать как полное прекращение жизненных процессов; по определению проф. А. Г. Лапчинского анабиоз — это состояние скрытой жизни. Исследователи продвигаются к решению проблемы холодильного консервирования высокоорганизованных органов пока ощупью. В частности, О. Смит (в 60-х годах) удалось понизить температуру хомяков до  $0 \div -5^{\circ}\text{C}$  с последующим возвращением к жизни. Исследуя охлаждение крыс, В. Анджус достиг выживаемости животных после понижения температуры тела до  $0^{\circ}\text{C}$  (70-е годы).

Во ВНИИ животноводства удалось в течение нескольких суток законсервировать замораживанием при азотных температурах зародыши сельскохозяйственных животных (зародыш — это уже организм), которые потом, будучи пересажены «второй матери», нормально развивались.

Ученые убедились в том, насколько «резистабельны» (способны сопротивляться) многие формы жизни к воздействию холода. И это относится не только к микробам и вирусным формам. Таковы многие насекомые, особенно те, которые существуют в пустынях и других маловажных районах земли. Более того, природа позаботилась о хладоустойчивости некоторых из них. Так, в теле отдельных видов ос обнаруживается накопление до 27% глицерина в зимний период и снижение его до следов в летний. Между тем 27% — это уровень содержания глицерина, который исключает возможность образования «жестких» кристаллов в теле осы при морозах, достигающих  $-40^{\circ}\text{C}$ , и, следовательно, обеспечивает ее выживаемость. Аналогичные данные были получены японскими исследователями, которым удалось установить, что в теле личинок, выживающих в почве при  $-30^{\circ}\text{C}$ , количество глицерина достигает 25% массы личинки.

Различные организмы по-разному переносят длительное холодильное консервирование. Так, микроорганизмы тела мамонтов удалось вернуть к жизни, несмотря на то что они были заморожены в сибирском льду более 10 тысяч лет назад. Природой непрерывно ставятся эксперименты, результатом которых является поразительная приспособляемость земной флоры и фауны к низким температурам. Результат этих экспериментов показывает, что сопротивляемость организма к воздействию холода возрастает по мере снижения содержания влаги. В той же мере это относится к растительному миру.

Консервирующее действие холода связано не только с понижением температуры объекта, но и главным образом с замораживанием содержащейся в нем влаги. Вода играет исключительно важную роль во всех биологических процессах, являясь основным компонентом биологических объектов и пищевых продуктов.

Будучи самым обыденным, самым распространенным веществом, вода тем не менее обладает удивительными, точнее аномальными, свойствами:

высокая температура кипения ( $+100^{\circ}\text{C}$ ) и плавления ( $0^{\circ}\text{C}$ ). Эта аномальность становится понятной, если проследить за изменением температуры кипения гидратов: теллура ( $\text{H}_2\text{Te}$ ) —  $20^{\circ}\text{C}$ ; селена ( $\text{H}_2\text{Se}$ ) —  $41^{\circ}\text{C}$ , серы ( $\text{H}_2\text{S}$ ) —  $60^{\circ}\text{C}$ . Если экстраполировать этот ряд до гидрата кислорода — воды ( $\text{H}_2\text{O}$ ), то ее температура кипения должна была бы составлять  $-80^{\circ}\text{C}$ ;

повышение плотности воды в жидком состоянии ( $1\text{ г/см}^3$ ) по сравнению с твердым;

зависимость плотности капельно-жидкой воды от температуры: при охлаждении от  $4$  до  $0^{\circ}\text{C}$  вода не сжимается, а расширяется. Наибольшую плотность имеет капельно-жидкая вода при температуре  $4^{\circ}\text{C}$ ;

большое значение диэлектрической постоянной, вследствие чего вода является «универсальным» растворителем — спектр веществ, растворимых в воде, очень широк;

высокая теплоемкость, что обеспечивает стабильность температуры теплокровных животных;

высокое значение теплоты фазового перехода жидкость — пар, что позволяет избежать перегрева организмов (потоотделение), когда теплоотдача конвекцией становится весьма малой либо просто невозможной (при температуре среды  $37^{\circ}\text{C}$  и выше). Кстати говоря, именно вследствие высокой теплоты фазового перехода жидкость — пар большинство водоемов в летний период не испаряется до конца.

Влияние влажности объекта на характер холодильного консервирования является, как правило, решающим. Иллюстрацией могут служить опыты, выполненные с насекомыми, имеющими к человеку «самое близкое» отношение, — клопами. Замороженный до температуры жидкого азота ( $-195,6^{\circ}\text{C}$ ) клоп превосходно переносит эту процедуру, но лишь в том случае, если он доведен до предельной степени голодания (к этому моменту его организм содержит лишь самое минимальное количество влаги). Сытый клоп тут же «необратимо» погибает — его ткани разрываются при кристаллизации. Не менее интересно, что деревья го-

товятся к морозам, резко снижая содержание соков (влаги). Подробно эти процессы изучены школой чл.-корр. АН СССР И. И. Туманова.

Таким образом, мы видим, что природа сделала первый шаг в сторону приспособления к холоду. Второй шаг должен сделать сам человек на основе имеющегося опыта и постановки специальных исследований в этой новой области науки.

Не следует, однако, упускать из виду, что криобиология как наука значительно шире и включает все те области, которые касаются воздействия низких температур на живые организмы не только с целью их сохранения, но и с целью лечения.

Последние годы криомедицина (криохирurgia, криотерапия и т. п.) сделала столь существенные успехи, что мир сегодня находится в ожидании новых, еще более результативных открытий. Это ожидание используется в литературе и кинематографии для создания научно-фантастических произведений. Вместе с тем около десяти лет тому назад в печати появилось сообщение о том, что в США организовано общество по «замораживанию» и хранению людей при температурах жидкого азота. Разумеется, деятельность общества закончилась крахом и судом над его организаторами.

Сегодня ни один специалист планеты не может заявить о том, что он является автором или обладателем метода, точнее технологии, обратимого замораживания высокоорганизованной жизни, потому что еще никому не удалось обратимо заморозить и сохранить хотя бы один орган, одну часть человеческого организма<sup>1</sup>, даже изъятую из него. И лишь когда это будет достигнуто (а на то, что это может быть достигнуто в ближайшие 2—3 десятилетия, вероятно, следует надеяться), можно будет убедиться, что каждый орган потребует своего индивидуального, дифференцированного режима и технологии, отличной от других. Имеющиеся работы в области обратимого холодильного консервирования изолированных органов проводятся пока только на животных, носят экспери-

<sup>1</sup> Напомним читателю, что в тексте идет речь только о частях, комплексных органах, таких, как сердце, печень, селезенка, мозг, легкие, нога, рука, почка и т. п.

ментальный характер. В этом плане имеются некоторые успехи. Особенно в тех случаях, когда объект имеет малые габариты (чем меньше объект, тем легче обеспечивать равномерность холодильного воздействия). Заморозить же организм в целом, обеспечив при этом индивидуализацию технологии и режима для каждого органа — это уже задача на несколько порядков сложнее.

Проведем мысленный эксперимент. Что происходит при понижении температуры биологического материала? Ну, например, что произойдет в пальце человека, если последний будет его держать продолжительное время на двадцатиградусном морозе? Постепенно температура пальца будет понижаться, причем в первую очередь понизится температура его поверхностного покрова. Когда она достигнет  $1-2^{\circ}\text{C}$ , в нем начнется образование кристаллов. В дальнейшем эти кристаллы будут расти, разрастаться вглубь до того момента, пока температура внутри не станет близкой температуре среды ( $-20^{\circ}\text{C}$ ). Разумеется, после такой процедуры можно будет уже не беспокоиться о пальце — его тут же ампутируют, даже не задумываясь, ибо процесс, который мы описали, необратим<sup>1</sup>. В таком случае, как же сделать его обратимым?

Предположим, что мы ввели в палец вещество X, не токсичное, безвредное для пальца, но способное обеспечить условия, при которых понижение температуры его до  $-20^{\circ}\text{C}$  не вызывает в нем кристаллизации, т. е. влага, содержащаяся в пальце (70%), перейдет, например, в «переохлажденное состояние». После подобной процедуры возвращайте палец исходную температуру и можете все начинать заново. В пальце не обнаружится никаких перемен. Что же произошло — «обратимое замораживание?». Нет, не замораживание, поскольку в нем имел место процесс консервирования, а не кристаллизации. Разумеется, холодом, но в сочетании с химией. Вещества X сегодня не существует, но завтра?

Основными факторами, приводящими к необратимым изменениям объекта консервирования, можно

<sup>1</sup> Речь идет о весьма длительном пребывании пальца в зоне низких температур, когда ресурс организма, направленный на стабилизацию температуры тела, окажется исчерпанным.

считать механическое повреждение клеток при кристаллизации льда, возникающее при образовании внеклеточного льда, увеличение концентрации солей и электролитов во внеклеточной среде, обезвоживание клеток в процессе замораживания и внутриклеточная кристаллизация льда. Все эти факторы являются прежде всего следствием кристаллизации воды.

Можно говорить о двух методах борьбы с криповреждающими факторами:

разработка специальных программ замораживания и размораживания биологических объектов, предусматривающих отвод, а при размораживании и подвод теплоты с различной интенсивностью. В последнее время появились соображения, что жизнеспособность криоконсервированных клеточных суспензий возрастает, если режим размораживания является зеркальным отображением режима замораживания;

применение специальных криозащитных средств (криопротекторов), позволяющих снизить нежелательные изменения при холодильном консервировании биологических объектов. Последние экспериментальные данные свидетельствуют о том, что молекулы криозащитных веществ сорбируются на белковых макромолекулах, повышая их термочувствительность.

Обычно оба метода применяют совместно. Выбор программы отвода энергии строго индивидуален и определяется экспериментально. В настоящее время существует начальный выбор криозащитных, или криофилактических, средств, введение которых в объект консервирования в совокупности с комплексом других мероприятий (скорость отвода энергии при замораживании и конечный температурный уровень) ослабляет действие криповрежденных факторов. Механизм криозащитных средств в общих чертах сводится к связыванию свободной влаги (причем одни вещества связывают влагу, находящуюся во внеклеточном пространстве, другие связывают внутриклеточную влагу), что приводит к снижению температуры кристаллизации. При введении криофилактических средств повышается вязкость растворов, уменьшаются размер кристаллов при замораживании и степень обезвоживания клеток и, как следствие, повреждаемость объекта.

Однако каким образом оценить результат?

Предположим, исследователь убежден, что цель достигнута и орган сохранил свои функции. Но одного суждения мало. Нужны объективные показатели «обратимости». Где их взять?

Вернемся к пальцу. Разумеется, не к тому, ампутацию которого мы успешно совершили «необратимым» действием холода, а к другому, в который мы ввели волшебный препарат X. Можем ли мы выяснить степень его обратимости? Конечно, и даже элементарно. Как только температура его поднимется до  $36,6^{\circ}\text{C}$ , мы попросим обладателя его пошевелить пальцем, повертеть им и дать интервью о состоянии этого пальца. Мы посмотрим в лицо владельцу пальца и, наконец, подождем неделю и уже потом, обобщив результаты, с уверенностью скажем, что процесс оказался обратимым. Итак, достоверную информацию о состоянии пальца после обратимости его мы получим только от его обладателя.

Ну а если палец (или другой орган) отделен от донора, откуда будет получена информация? Какие объективные тесты могут нас информировать? Или тем более гарантировать 100%-ную обратимость двойного фазового перехода «туда» (замораживание, т. е. переход содержащейся влаги из жидкого состояния в кристаллическое) и «обратно» (размораживание, т. е. переход из кристаллического состояния в жидкое).

На этот вопрос следует негативный ответ. Имеются тесты, которые отражают какую-то одну сторону обратимости, но теста, способного однозначно, обобщенно отражать общее физиологическое состояние объекта, пока нет. Но не имея метода контроля восстановления, метода, способного объективно и количественно отразить результат процессов «замораживания—размораживания»<sup>1</sup>, нельзя приступить к самим исследованиям этих процессов. Возник научный тупик. Но ненадолго. Исследователи повели широким фронтом активнейшее изучение всех явлений, происходящих в процессах, о которых мы говорили выше. Исследователи находят наборы тестов (пока

---

<sup>1</sup> Или «понижение температуры — повышение температуры».

их свыше десяти), которые вместе взятые в какой-то степени (пусть пока субъективно) отражают степень восстановления органов.

Однако метод функционального определения «обратимости», т. е. степени «живучести», отсутствует. Поэтому первостепенная задача в этой области — создание инженерного метода количественной оценки качества (т. е. состояния) объекта на всех стадиях его обработки холодом.

Весьма интересными и плодотворными следует считать работы, связанные с измерением обратимости путем сопоставления группы физических свойств объекта до холодильного консервирования и после восстановления. В этом направлении уже делаются первые шаги.

Разумеется, проблема обратимого консервирования «жизни» со всеми ее аспектами чрезвычайно сложна. Сегодня невозможно представить конкретную дату ее решения, но это будет датой наступления новой эры в биологии.

### **Криобиологическая технология**

Криобиологическая технология — одно из развивающихся направлений холодильной технологии. Она оперирует с биологическими объектами и производит «биологические продукты потребления». Эти своеобразные продукты потребления удовлетворяют чисто биологические потребности человека и представляют, если можно так выразиться, отложенные, временно не нужные конкретному индивиду потребности. Таким образом, криобиологическая технология занимается как бы массовым изъятием из экологического цикла абстрактно необходимых биологических материалов, с тем чтобы вернуть их конкретному индивиду в нужный момент времени.

Современной криобиологической технологии пока еще очень и очень далеко до природы и, например, до достижения такого эффекта, как зимняя спячка животных. Что происходит, например, с симпатичным и всем известным ежом во время зимней спячки? Организм работает в крайне экономном режиме: сердце совершает 2—3 удара в минуту; от одного вдоха до

другого проходит четыре—пять минут, кровь охлаждается настолько, что температура ее лишь чуть-чуть выше точки замерзания, а обмен веществ сокращается до 3% от его величины в нормальных условиях. Ежи погружаются в спячку при понижении температуры среды до 10—15°C; однако все не так просто: если температура понизится до —5°C, то еж просыпается (органы чувств работают даже у спящего ежа), жировой запас зверька расходуется на прогрев тела и наступает состояние, при котором еж способен искать новое место для спячки. Механизм зимней спячки, выработанный длительной природной эволюцией, пока не ясен.

При любых мыслимых критериях оценки первичных и престижных потребностей биологические продукты потребления, производимые криобиологической технологией, следует отнести к первичным, наиболее необходимым, продуктам. Впрочем, деловитость капиталистического мира эксплуатирует и последние достижения криобиологии, удовлетворяя престижные потребности. В ФРГ фирмой «Мессер-Грисхайм» создан коммерческий криобанк, который сохраняет все по желанию клиента — от куска свадебного пирога (скажем, с тем, чтобы попробовать его вкус на золотой свадьбе), до запаха веера «прекрасной дамы» юности. Наконец, рассматривая криобиологическую технологию как элемент организационной структуры, обеспечивающий воздействие человека на окружающую природу, отметим, что криобиологическая технология в конечном счете создает возможности, пусть пока принципиальные, конструктивного воздействия индивида на самого себя (замена органов, тканей и др.).

Интересны наблюдения, которые были сделаны биологами при изучении полярных морей<sup>1</sup>. Ими было совершенно надежно установлено, что арктический лед — субстрат, в толще и на поверхности которого живые организмы, называемые криофильными организмами.

Отметим, что арктический лед непрерывно растет снизу вверх и дрейфует; продолжительность пребывания льда в Северном Ледовитом океане от 3 до 7 лет. На поверхности льда в конце мая — начале июня начинают появляться пятна мокрого снега — снежицы. В них активно развиваются некоторые виды зеленых водо-

<sup>1</sup> Мельников И. А. Живой лед. — Природа, 1984, № 1, с. 68—77.

рослей, среди которых доминируют хламидомонада, снежная и синезеленая водоросли. Развиваясь в снегу (начало развития приходится на период времени с отрицательными температурами), одноклеточные водоросли интенсивно используют солнечную радиацию и способствуют большему задержанию и рассеиванию лучистой энергии. Это является причиной появления талой воды под снегом при отрицательных температурах воздуха: развитие водорослей способствует интенсивному таянию снега. В сентябре, с наступлением холодов и приближением полярной ночи, развитие водорослей прекращается.

В нижних слоях льда (толщина арктического льда около 3 м) при более высоких и стабильных температурах живут планктонные водоросли. С наступлением полярной ночи развитие флоры в толще льда прекращается. С флорой связана и криофильная фауна, представленная беспозвоночными. Таким образом, ледяной покров арктических морей не является «белым безмолвием», а насыщен жизнью. Здесь природной эволюцией образованы сообщества, жизненный цикл которых включает как обязательную стадию — стадию анабиоза. По существу, это пример обратимого консервирования природного сообщества клеточных суспензий.

Если исходить из уровня сложности холодильного консервирования биологических объектов, то их можно классифицировать следующим образом:

I группа — объекты, состоящие из отдельных элементов, взаимозаменяемых как друг относительно друга, так и по положению в системе. К этой группе можно отнести суспензии клеток и субклеточных элементов (клетки крови, костного мозга, микроорганизмов, клетки культуры ткани и пр.). Принципиальные проблемы холодильного консервирования объектов I группы можно считать в основном решенными. Поэтому возможность холодильного консервирования объектов I группы в случае их массового (технологического), а не «штучного» производства определяется качеством технологических решений, заключающихся в возможности многократного воспроизведения разработанных режимов консервирования в контролируемых условиях;

II группа — прочные ткани: костная, хрящевая ткань, эндокринные железы, нервные волокна, мышечная ткань, сердечные клапаны, роговица, кожа и пр. Эта группа объектов характеризуется относительно низким содержанием влаги. Выполненные исследования показывают принципиальную возможность консервирования и этой группы объектов.

III группа — органы, выполняющие сложные биохимические функции, имеющие достаточно высокую влажность и сложное строение. Принципиальная возможность консервирования холодом таких органов изучается пока лишь на уровне поискового эксперимента. Массовое консервирование биологических объектов холодом — это не только замораживание.

Криобиологическая технология включает целый ряд процессов, основными из которых являются: <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Бражников А. М., Иткин Ю. А. Научные основы технологии криоконсервирования клеточных суспензий. — В сб.: Криобиология и криомедицина, 1983, вып. 11, с. 17—23.

разделение клеточных суспензий на фракции (фракционирование), которое можно осуществлять отстаиванием, фильтрованием или центрифугированием.

введение в суспензию криопротектора и его равномерное распределение путем перемешивания;

заполнение смесью суспензии и криопротектора контейнера, в котором размещают биоматериал, а также перемешивание смеси и опорожнение контейнера. Свообразие процессов опорожнения, заполнения и перемешивания состоит в особом характере перемещения смеси «суспензия плюс криопротектор». Эта смесь перемещается не так, как всегда по трубочкам; при перемещении происходит частичная ее деформация (приблизительно перемещение смеси похоже на перемещение зубной пасты, когда ее выдавливают из тюбика). Характер течения подобных сложных систем изучает специальная инженерная наука — реология;

отвод теплоты от биообъекта, т. е. его охлаждение и замораживание, осуществляемое по специальной программе. Следует отметить принципиальное различие в конструкции аппаратов, применяемых для замораживания биологических суспензий, от аппаратов, используемых при замораживании пищевых продуктов. Если при замораживании пищевых продуктов интенсивность отвода теплоты не является строго контролируемым параметром, то при консервировании биологических материалов крайне важным является выдерживание программы отвода теплоты во времени. Поэтому аппаратура должна обеспечивать возможность контролируемого изменения интенсивности отвода теплоты от объекта;

обезвоживание биообъекта, которое осуществляют в ряде случаев и в основном путем сублимационной сушки;

хранение биообъектов. Этот процесс осуществляют в специальных охлаждаемых азотом контейнерах. Контейнер, в котором сохраняются охлаждаемые азотом биообъекты, обычно представляет собой резервуар с вакуумной изоляцией (сосуд Дьюара).

Если объект сохраняют в обезвоженном состоянии, то он должен быть изолирован от атмосферного воздуха соответствующей упаковкой;

восстановление биообъекта после хранения, осуществляемое либо обогревом, либо обводнением. Восстановление биообъектов столь же существенно влияет на сохранение их жизнеспособности, как и замораживание. Желательно, чтобы режим обогрева был зеркальным отображением режима замораживания;

разделение восстановленной суспензии и криопротектора, необходимое с целью применения суспензий в медицинской практике. В последнее время удалось разработать группу криопротекторов, отделение которых от восстановленных клеточных суспензий не является обязательным;

санитарная обработка контейнеров для подготовки их к следующему циклу консервирования.

Как и в каждой промышленной технологии, все операции криобиологической технологии должны быть стандартизированы и контролируемы.

## 7. Холод и техника

### Холод в химии и химической промышленности

В химии и химической промышленности холод применяют как для отвода теплоты, выделяющейся в различных основных технологических процессах нефтяной, газовой и химической промышленности, так и для целенаправленного проведения отдельных химических реакций при пониженных температурах. Кроме того, холод широко применяют в этих отраслях для обеспечения работы установок кондиционирования воздуха. Наиболее широко кондиционирование воздуха для технологических целей применяют в производстве искусственного волокна.

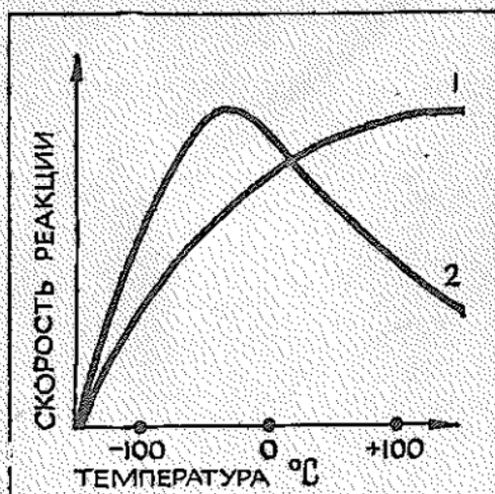
Масштабы применения холода в химической промышленности при производстве некоторых видов химических продуктов наглядно показаны в табл. 3.

Таблица 3

Химический продукт	Температура, К	Затраты холода, тыс. кДж/т
Уксусная кислота и уксусный ангидрид	263	2500
Хлороформ метана		
полученный способом хлорирования	223	1500
полученный способом фотохимического хлорирования метилхлорида	223	1900
Хлорметил	293	4
Трихлорэтилен	228	46
Каучук		
найрит	258	7.350
фторсиликоновый	258	4300
Метанол (ректификат)	258	34
Капролактин		
полученный фенольным методом	257	8150
полученный анилиновым методом	257	7400

Развитие и совершенствование холодильной техники позволит в дальнейшем расширить область применения холода в химии и химической промышленности.

Химические реакции при низких температурах. Известно, что скорость большинства химических реакций монотонно возрастает с повышением температуры. Количественно это соотношение известно как закон Аррениуса. С точки зрения молекулярно-кинетической теории закон Аррениуса имеет вполне ясное обоснование. С понижением температуры уменьшается интенсивность теплового движения молекул, а поэтому возможность их прореагировать друг с другом убывает.



Р и с. 13. Зависимость скорости химических реакций от температуры

Однако известны и исключения из этого закона: имеется группа химических реакций, скорость которых с понижением температуры сначала возрастает, а затем падает, причем максимум скорости реакции в ряде случаев приходится на температуру, несколько меньшую точки заморзания раствора (рис. 13). Кривая 1 на рис. 13 качественно иллюстрирует повышение скорости химических реакций некоторых растворов, имеющих максимум скорости реакции при температуре на  $10\text{--}20^\circ\text{C}$  ниже точки заморзания. Механизм реакций, скорость которых характеризуется кривой 2, состоит в следующем.

При температурах на  $10\text{--}20^\circ\text{C}$  ниже точки заморзания растворов в них остаются области с относительно высокой подвижностью молекул, так называемые жидкие микровключения. Концентрация растворенных компонентов в этих микровключениях повышается, число соударений возрастает и скорость реакции увеличивается. В отдельных случаях скорость реакции возрастает в 1000 раз по сравнению со скоростью реакции при температурах выше начала кристаллизации.

Лишь при дальнейшем понижении температуры происходит заморзание жидкости микровключений и скорость реакции падает. Низкие температуры тормозят одни реакции и способствуют более быстрому протеканию других.

Химический синтез при пониженных температурах является сейчас одним из перспективных методов получения особо чистых веществ и высококачественных продуктов. В настоящее время уже действуют аппараты для низкотемпературной полимеризации, позволяющие получать полимеры исключительно высокого качества. Установлена также возможность значительного повышения скорости химических реакций существенно охлажденных реагентов (до криогенных температур) при одновременном воздействии на них радиации.

Это обстоятельство позволило предположить возможность возникновения органического вещества в космосе в результате низкотемпературных реакций. Основанием для гипотезы служит то, что значительная часть массы Вселенной сосредоточена в хо-

лодных газах — облаках космической пыли, температура которых ниже  $-100^{\circ}\text{C}$ . В этих образованиях содержатся такие химические вещества, как  $\text{CO}_2$ ;  $\text{CO}$ ;  $\text{CH}_4\text{NH}_3$  и т. д. Поскольку в космическом пространстве присутствует излучение высоких энергий, можно ожидать разнообразные криохимические превращения. Существует предположение, что органические соединения, возникающие в космосе, служат основой, на которой во Вселенной рождается жизнь.

Итак, оказывается вполне возможным, что холод, который является консервантом всего живого, послужил одним из необходимых условий возникновения органической жизни, т. е. той ее формы, которая нами непрерывно наблюдается и частью которой являемся мы с вами.

Основные области применения холода. Холод применяют в таких процессах, как депарафинизация масел, разделение газов нефтепереработки, производство киноплёнки и др.

При переработке нефти для получения высококачественных масел с низкой температурой застывания из масляных фракций необходимо удалить парафины, температура застывания которых выше. Процесс удаления парафинов называют депарафинизацией. Депарафинизацию осуществляют с помощью селективного растворения фракций специальными растворителями (бензол, толуол и кетон) и последующего охлаждения раствора в теплообменниках-кристаллизаторах, где и происходит кристаллизация парафина. Температура охлаждения  $-25^{\circ}\div-35^{\circ}\text{C}$ .

В процессе сжижения природного газа его очищают, осушают и обогащают метаном (в исходном природном газе содержание метана составляет около 95%). Газ охлаждается при температуре  $-85^{\circ}\div-95^{\circ}\text{C}$  и высоком давлении. После ожижения жидкость дросселируется до давления  $(1,5-2)10^6$  Па, в результате чего ее температура понижается до  $-150^{\circ}\div-160^{\circ}\text{C}$ .

На этом же свойстве (снижение растворимости с понижением температуры) основан процесс криоконцентрации (сгущение растворов путем ступенчатого вымораживания растворителей за счет того, что чистый растворитель замерзает при более высокой температуре, чем концентрированный раствор). Этот процесс применяют как в химической, так и в пищевой промышленности (сгущение соков и пр.), а также для опреснения морской воды и очистки сточных вод.

При производстве киноплёнки искусственное охлаждение необходимо при получении основы плёнки и студения светочувствительной эмульсии. При получении основы плёнки требуемый температурный уровень охлаждения составляет  $-22^{\circ}\div-24^{\circ}\text{C}$ . Студение светочувствительной эмульсии осуществляется в кюветах, охлаждаемых до температуры  $-3^{\circ}\text{C}$ . Хранение эмульсии и нанесение ее на основу осуществляют при температуре  $3^{\circ}\text{C}$ .

В химической промышленности разделение газов (нефтяных, коксовых и др.) применяют для получения исходных продуктов — углеводородов в цепях направления их на дальнейшее производство. Движущей силой процесса разделения является разность температур кипения компонентов, а так как эти температуры отрицательны, то для разделения газов необходимо охлаждение, температурный уровень которого соответствует температуре кипения разделяемых компонентов.

Производство синтетического каучука. При производстве синтетического каучука из спирта охлаждение применяют: для регулирования температурного режима в процессе полимеризации; для отвода теплоты при конденсации паров; для охлаждения воды.

В качестве хладоносителей используют растворы хлористого кальция, этиленгликоля температурой  $-12$ ;  $-14^{\circ}\text{C}$  и охлажденную воду температурой до  $10^{\circ}\text{C}$ .

На предприятиях азотной промышленности охлаждение применяют в процессе получения азотоводородной смеси при разделении газа и для тонкой его очистки от окиси углерода и метана.

В производстве анилиновых красителей для текстильной промышленности один из основных процессов — нитрование промежуточного продукта — происходит с выделением большого количества теплоты. Для отвода этой теплоты применяют рассольное и ледяное охлаждение таким образом, чтобы температура процесса поддерживалась на уровне  $1-3^{\circ}\text{C}$ .

Для получения кристаллов сернокислого натрия (глауберова соль) раствор охлаждают примерно до  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Особенности предприятий химической промышленности определяют основные характерные черты используемых на этих предприятиях холодильных установок. Как правило, предприятия химической, равно как и нефтяной, и газовой промышленности, — это крупные промышленные комплексы с большим объемом выпускаемой продукции. Поэтому холодильные установки, обслуживающие предприятия химической промышленности, должны обладать значительной холодопроизводительностью.

Основные производственные процессы на предприятиях химической промышленности — это, как правило, длительные непрерывные процессы, вследствие чего холодильные установки должны работать с высокой надежностью в условиях стабильной нагрузки. На многих химических предприятиях имеются в значительном количестве энергетические отходы в виде пара низкого давления и горячей воды. В табл. 4 в качестве примера приводится характеристика вторичных энергоресурсов на заводах синтетического спирта

Таблица 4

Источник теплоты	Температура сбрасываемого источника теплоты, К	Количество сбрасываемой теплоты, МВт
Дымовые газы	423	11,6
Пиролизные газы	383	31,7
Водно-спиртовой конденсат	363	9,2

Эту энергию целесообразно использовать, в частности для работы абсорбционных холодильных машин.

## Холод в строительстве

В строительстве искусственное охлаждение применяют для замораживания грунтов, при сооружении искусственных ледяных катков и для охлаждения бетона перед его укладкой, а также в системах кондиционирования воздуха.

Замораживание грунтов применяют в том случае, если производство земляных работ происходит в сложных геологических и гидрологических условиях (водоносные и увлажненные грунты, наличие подземных вод). Кроме того, замораживание грунтов используют для образования ограждения (льдогрунтовое ограждение), которое препятствует проникновению подземных вод к месту производства соответствующих строительных работ (проходка стволлов шахт, сооружение тоннелей, плотин, доков, укрепление фундамента некоторых зданий).

В частности, замораживание грунта широко применяют при строительстве метрополитена в Москве, Ленинграде, Киеве и других городах.

Замороженные грунты обладают высокой прочностью, так как происходит сцепление между кристаллами льда и зернами породы, причем прочность замороженного грунта значительно превышает прочность чистого водного льда.

При замораживании грунтов обычно применяют систему охлаждения с промежуточным хладоносителем (рассол хлористого кальция). Рассол подается в замораживающие колонки, которые опускают в предварительно пробуренные скважины.

Искусственные ледяные катки устраивают обычно в закрытых помещениях, а в ряде случаев и под открытым небом. В последнее время получило распространение строительство универсальных спортивных крытых арен, которые могут быть использованы как для легкоатлетических соревнований и футбола, так и для проведения состязаний по хоккею. Именно такая универсальная спортивная арена построена в Москве к Олимпийским играм 1980 г. (площадь ледяного поля размерами  $112 \times 72$  м составляет  $8064 \text{ м}^2$ ). При строительстве искусственных катков предпочтение отдают, как правило, системам охлаждения с промежуточным хладоносителем (рассольное охлаждение). Толщина слоя намороженной воды 30—40 мм.

Средняя температура льда для игры в хоккей  $-4^\circ\text{C}$ , а для фигурного катания  $-2^\circ\text{C}$ .

Прочность и долговечность бетонных строительных конструкций особо важны в промышленных и гидротехнических сооружениях. Кроме того, для гидротехнических сооружений исключительно важное значение имеет сопротивляемость бетона просачиванию воды. При схватывании бетона выделяется теплота, что приводит к локальному росту температуры, появлению напряжений и может сопровождаться образованием трещин. Лучшие качества бетона достигаются, если бетон перед укладкой в соответствующие сооружения охлаждают до температуры около  $16^\circ\text{C}$ .

## Холод в электротехнике и электронике

Применение холода в электротехнике и электронике основано на особенностях поведения электротехнических материалов при низких температурах.

Проводники и полупроводники при низких температурах. При движении в проводнике электрон испытывает частые соударения с кристаллической решеткой вещества, из которого состоит проводник. Чем больше соударений испытывает электрон, тем меньше проводимость данного материала и, следовательно, больше сопротивление проводника прохождению электрического тока. Анализ этого процесса показывает, что с понижением температуры проводника число соударений убывает и его удельное сопротивление падает. Особенно значительно сказывается влияние охлаждения на уменьшение электрического сопротивления при температурах ниже 100 К.

Отметим, что применение низких температур в электротехнике и электронике представляет интерес прежде всего в связи с повышением упорядоченности структуры вещества при его охлаждении. В предельном случае (сверхпроводимость) охлаждение вещества приводит к появлению особого вида упорядоченности между парами электронов, вследствие чего электрическое сопротивление материала становится равным нулю и внутри него не возникает магнитного поля.

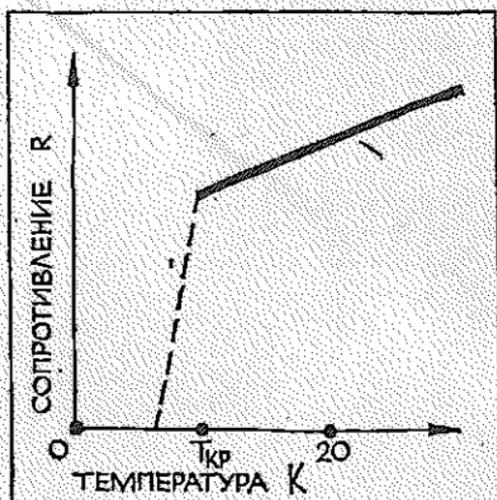
В полупроводниках проводимость определяется числом подвижных носителей заряда. Подвижными носителями заряда в полупроводниках являются электроны и «дырки». «Дырка», как известно, является математической абстракцией и формально рассматривается как частица с положительным зарядом, движущаяся сквозь кристалл. Влияние охлаждения на проводимость полупроводников определяется в основном зависимостью от температуры количества подвижных носителей тока. Более сложно оценить влияние охлаждения на полупроводники с примесной проводимостью, так как большое значение на величину проводимости оказывает концентрация легирующей смеси.

Таким образом, на работу полупроводниковых материалов понижение температуры оказывает значительное влияние, точная оценка которого зависит от вида полупроводника.

Сверхпроводники. Сверхпроводники — это электротехнические материалы, обладающие нулевым удельным электрическим сопротивлением; кроме того, сверхпроводники обладают нулевой магнитной индукцией. Сверхпроводящее состояние некоторых материалов реализуется только при очень низких (ниже 20 К) температурах. Материалы, переходящие в сверхпроводящее состояние при более высоких, даже «азотных», температурах, в настоящее время неизвестны, хотя некоторые надежды на получение «высокотемпературных» сверхпроводников все же имеются.

Легко представить себе, сколь огромное практическое значение имели бы такие «высокотемпературные» проводники. В 1908 г. голландскому физика Х. Каммерлинг-Оннесу удалось впервые получить жидкий гелий. Измеряя сопротивление ртути, охлаждаемой жидким гелием, Х. Каммерлинг-Оннес в 1911 г. обнаружил, что при температуре около 4,2 К оно резко уменьшается на несколько порядков. Это явление получило название

Рис. 14. Характер зависимости между сопротивлением и температурой для сверхпроводников



сверхпроводимости. После открытия эффекта сверхпроводимости еще некоторое время обсуждался вопрос, падает ли сопротивление до нуля или уменьшается до весьма малого значения. В настоящее время установлено, что сопротивление при прохождении электрического тока в сверхпроводящем состоянии можно считать полностью отсутствующим.

Сверхпроводимость обнаружена примерно у 20 элементов, некоторых сплавов и соединений, содержащих неметаллы. Основной характеристикой каждого сверхпроводника является температура, при которой он переходит из нормального состояния в сверхпроводящее. Такая температура называется температурой перехода, или критической температурой (рис. 14). Если  $T > T_{кр}$ , то в материале сверхпроводящие свойства не проявляются, и его электрическое сопротивление монотонно снижается с понижением температуры. При  $T < T_{кр}$  электрическое сопротивление падает скачком до нуля. В сверхпроводящем материале, температура которого ниже критического значения, напряжение внутреннего магнитного поля равно нулю и магнитный поток как бы выталкивается из материала (эффект Мейснера). При повышении напряженности внешнего поля до некоторой критической величины материал возвращается из сверхпроводящего состояния в обычное. Таким образом, внешнее магнитное поле снижает температуру перехода от нормального состояния к сверхпроводящему.

Одной из основных проблем физики твердого тела является получение «высокотемпературных» сверхпроводников.

По оценке академика В. Л. Гинзбурга, реально получение сверхпроводящих материалов с критической температурой порядка 30—35 К (т. е.  $-243 \div -239^\circ\text{C}$ ).

Холод в электротехнике. Нулевое удельное электрическое сопротивление сверхпроводников открывает заманчивые области применения их в электротехнике, однако сложность получения сверхпроводниковых материалов, высокая стоимость и сложность охлаждения ограничивают пока практическое использование эффекта сверхпроводимости. В настоящее время можно говорить лишь о некоторых областях практического применения сверхпроводниковых материалов.

Сверхпроводниковые материалы применяют в сверхпроводя-

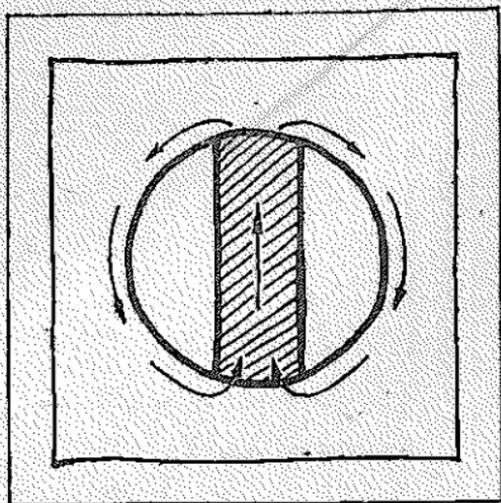


Рис. 15. Принципиальная схема запоминающего элемента Кроу

щих соленоидах для создания сильных магнитных полей. Такие магнитные поля необходимы для работы больших пузырьковых камер в установках для удержания заряженных частиц в плазме магнитно-динамических генераторов. Применение в этих соленоидах обычных проводников ограничено, так как при больших токах возникают значительные потери энергии, что вызывает трудности, связанные с отводом выделяемой теплоты.

Проводятся опытные работы по созданию сверхпроводящей системы распределения энергии (силовые кабели из сверхпроводящих материалов, трансформаторы). Создание подобных сверхпроводящих систем позволило бы существенно снизить омические потери электроэнергии при ее передаче и трансформации. Трудности, связанные с созданием таких систем, носят в основном экономический характер, так как пока крайне дорого осуществить охлаждение протяженных кабелей и объединить систему, основанную на сверхпроводимости, с обычной системой.

Ведутся опытные работы по созданию сверхпроводящих машин (гомолярная электромашина и сверхпроводящие электрические двигатели постоянного тока). Основным преимуществом сверхпроводящих электромашин по сравнению с обычными является более высокий КПД при существенно меньших размерах.

Низкие температуры применяют также для отвода теплоты от обмоток генераторов тока в целях повышения мощности электрических машин.

**Холод в электронике.** В электронике низкие температуры используют значительно шире, чем в электротехнике. Можно говорить о уже вполне сложившемся специальном направлении в электронике — криоэлектронике. Ниже мы кратко рассмотрим принцип действия и область применения основных элементов, используемых в криоэлектронике.

Криотронные переключатели состоят из двух сверхпроводников. Один сверхпроводник может переключаться из сверхпроводящего состояния в обычное за счет магнитного поля, создаваемого электрическим током, протекающим по другому сверх-

проводнику. Криотрон является быстродействующим переключателем (продолжительность операции по переключению тока — десятки наносекунд) и применяется в логических цепях ЭВМ.

В криогенных запоминающих элементах используется переход материала в сверхпроводящее состояние и обратно для построения контура с незатухающим током. Основным запоминающим элементом служит так называемый элемент Кроу, принципиальная схема которого приведена на рис. 15. Ячейка Кроу представляет собой тонкий лист свинца с отверстием диаметром 1 мм; внутри отверстия имеется очень тонкая свинцовая перемычка. Движение электрического тока показано на рисунке стрелками. Так как перемычка тоньше основного листа, то в некоторые моменты времени протекающий по перемычке ток превышает критическое значение и перемычка переходит из сверхпроводящего состояния в обычное, при этом материал основного листа остается в сверхпроводящем состоянии. Импульс тока возбуждается в ячейке Кроу посредством индукции с помощью внешнего сверхпроводящего элемента. Если величина возбуждающего импульса такова, что ток, наведенный в перемычке, превышает критический, материал перемычки переходит из сверхпроводящего состояния в обычное и ток начинает убывать. Как только ток перемычки станет ниже критического, материал перемычки снова перейдет в сверхпроводящее состояние. Таким образом происходит «запись», «запоминание» в ячейке незатухающего тока, определяемого характером возбуждающего импульса.

Одной из основных проблем при создании систем связи является выделение полезного сигнала на фоне помех (шума). Некоторая часть шума поступает в приемник вместе с полезным сигналом, другая часть возникает в самом приемнике в процессе усиления полезного сигнала. По этой причине большое практическое значение приобретает разработка усилителей, которые при достаточно большом коэффициенте усиления создавали бы меньше помех.

В условиях низких температур существенно улучшаются характеристики параметрических усилителей, которые могут работать и при комнатной температуре. В то же время создан специальный «малошумный» мазерный усилитель, применяемый в спутниковых системах связи, для работы которого необходима низкая температура.

## **Холод в металлургии и машиностроении**

В металлургии и машиностроении искусственный холод применяют для охлаждения литья, термической обработки металлов и некоторых специальных целей.

В металлургии искусственное охлаждение ускоряет процесс остывания массивных деталей отливок, который в естественных условиях занимает до 10 сут.

Интенсивное принудительное охлаждение холодным воздухом позволяет существенно, примерно в 10 раз, сократить срок остывания и улучшить структуру деталей.

Широко применяют искусственное охлаждение и при закалке стали для улучшения ее физико-химических свойств. Охлаж-

дение закаленной стали при низких температурах снижает содержание аустенита (твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе) примерно в 2—7 раза. Это приводит к существенному улучшению физико-химических свойств стали. Характер низкотемпературной обработки стали определяется принятой технологией закалки и маркой стали. В зависимости от этих факторов предельная температура охлаждения может меняться от  $-30$  до  $-120^{\circ}\text{C}$ . Охлаждение осуществляется в сосудах с двойными стенками и днищем, пространство между которыми заполняют хладоносителем (сухой лед или жидкий азот).

В самолетостроении охлаждение применяют для холодной посадки заклепок из дюралюминия. Посредством глубокого охлаждения размеры заклепок уменьшаются и посадка в холодном состоянии оказывается возможной.

Для специальных целей в точном приборостроении применяют сверхпроводящие механические подвески. Физический эффект, обуславливающий возможность существования такой подвески, обеспечивающей пренебрежимо малое трение, заключается в том, что магнитное поле наводит незатухающий ток в сверхпроводнике (ведь электрическое сопротивление проводника — нуль) и обусловленное им магнитное поле отталкивает магнит, создавший наведенный ток. Магнит как бы плавает над листом из сверхпроводящего материала (такой опыт известен как «гроб Магомета»).

На этом эффекте разработано несколько вариантов двухмерной опоры («подшипник без трения») и трехмерной опоры для плавающей сферы; такие опоры применяются в сверхпроводящем гироскопе.

### **Холод в горнодобывающей промышленности**

В настоящее время глубина разработок действующих шахт возрастает. Так, в Донбассе уже около 15% действующих шахт имеют глубину разработки более 750 м\*. Предполагается, что в дальнейшем выемка полезных ископаемых будет вестись на глубинах 1500 м, где температура пород достигает  $55^{\circ}\text{C}$ , а воздуха в рабочих забоях  $36$ — $38^{\circ}\text{C}$ . Работа в таких шахтах возможна только при условии искусственного охлаждения воздуха и применении специального кондиционирования.

Для искусственного охлаждения воздуха в глубоких шахтах применяют следующие системы: централизованные (охлаждения всего поступающего в шахту воздуха на поверхности или в шахте); полуцентрализованные (охлаждение части проходящего по забою воздуха); местные (охлаждение отдельных забоев в шахте). Отметим, что для кондиционирования в глубоких шахтах наиболее перспективными являются централизованные системы охлаждения.

Большое значение имеет способ размещения холодильного оборудования, выбираемый для каждой шахты индивидуально. Возможны следующие варианты размещения холодильного оборудования:

\* Шемаханов М. М. Основы термодинамики и кондиционирования рудничной атмосферы. — М.: Недра, 1974 г. — 198 с.

как холодильную машину, так и кондиционер (воздухоохладитель) размещают на поверхности. Преимущества такого размещения: независимость работы холодильного оборудования от жестких требований безопасности подземных работ; возможность обеспечения установок водой. Недостатки: повышенный расход энергии (приходится охлаждать весь циркулирующий воздух); неизбежный нагрев воздуха от породы во время движения;

холодильную машину располагают на поверхности, а воздухоохладители — под землей. Преимущества: удобство монтажа и простота отвода теплоты конденсации; возможность использования крупных установок; охлаждение только необходимой части циркулирующего воздуха. Недостатки: необходимость подачи хладоносителя на значительную глубину; потери холода из-за большой протяженности трубопроводов;

холодильную машину и воздухоохладитель размещают под землей. Преимущества и недостатки такого размещения ясны из предыдущего.

## Холод и транспорт

Проблема транспорта представляется одной из труднорешаемых задач, вызванных интенсивным ростом крупных городов и городских агломераций. Уже сейчас ясно, что усиленная автомобилизация помимо загрязнения воздуха приводит к возрастающим уличным заторам, авариям, острому дефициту мест для стоянки. Существующие виды общественного транспорта (метро, троллейбус, автобус и трамвай) вряд ли могут справиться с перевозкой значительного потока пассажиров в крупных городах и городских агломерациях. Установлено<sup>1</sup>, что если путь на работу занимает больше 40 мин, то возникает специфическое явление «транспортной усталости», которое помимо неприятных ощущений снижает производительность труда на 5—10%.

Развитие городских агломераций невозможно без создания наземного транспорта принципиально нового типа для поездок как внутри города, так и на относительно небольшие расстояния вне его со скоростями порядка 500 км/ч. Как показывает опыт Японии, колесный транспорт (как рельсовый, так и безрельсовый) нельзя считать перспективным. Скорость колесного транспорта ограничена величиной порядка 200 км/ч вне зависимости от качества дороги или железнодорожного полотна. При скоростях свыше 200—250 км/ч снижается надежность сцепления колеса с рельсом, возрастает вибрация и т. д.

Итак, возможный вариант транспорта будущего — транспорт без колес. Идея такого транспорта на магнитной подвеске была выдвинута еще в 1911 г. профессором Томского политехнического института Б. П. Вейнбергом. Транспорт представляет собой трубу — туннель, над которым через некоторые промежутки поставлены электромагниты. Внутри туннеля находится железная платформа, которая движется вперед и вверх, притягиваясь к первому электромагниту, однако, не доходя до этого магнита, под

<sup>1</sup> Патрунов Ф. Холод и техника. — М.: Московский рабочий, 1981. — 188 с.

действием сил тяжести начинает снижаться: первый электромагнит отключается, включается второй и т. д.

После многочисленных исследований и испытаний удалось установить, что практически осуществить идею движения на магнитной подвеске можно только при использовании явления сверхпроводимости. Подобный транспорт уже прошел испытания в Японии. На опытной трассе получена скорость 516 км/ч. Такой транспорт без колес синтезирует достоинства авиационного (скорость) и железнодорожного (большая вместимость и независимость от погодных условий). Транспорт безвреден для окружающей среды и не является источником шума и вибраций.

**Автомобильный холодильный транспорт.** Несколько слов о холодильном автотранспорте, наиболее распространенном и перспективном. Холодильный автотранспорт служит для перевозки пищевых продуктов в охлажденном и замороженном виде. Можно говорить о двух видах перевозок: междугородных и внутригородских. Междугородные перевозки осуществляют на значительные расстояния (до нескольких тысяч километров). Грузоподъемность междугородного автомобильного холодильного транспорта значительна и может достигать 20 т и более. Продолжительность междугородных перевозок несколько суток. В процессе движения остановки делают только для заправки автомобиля горючим и отдыха водителя. В пути следования погрузочно-разгрузочные операции не осуществляют (двери кузова запломбированы). Внутригородские перевозки осуществляют внутри города, области или района относительно небольшими партиями. В зависимости от вида внутригородских перевозок грузоподъемность холодильного автотранспорта изменяется в пределах от 0,5 до 5 т.

Специфическим видом холодильного транспорта являются охлаждаемые и изотермические контейнеры. Контейнеры применяют в случаях необходимости перевозки пищевых продуктов несколькими видами транспорта или централизованного завоза продуктов в розничную торговлю по кольцевым маршрутам. Контейнерные перевозки интенсифицируют погрузочно-разгрузочные операции и сокращают затраты на складские операции. По грузоподъемности контейнеры могут быть самыми разнообразными — от крупнотоннажных (масса брутто до 30 т), до мелких вместимостью до 350 кг.

**Железнодорожный и водный холодильный транспорт.** Несмотря на перспективность автомобильного холодильного транспорта, большая часть скоропортящихся продуктов (до 80%) перевозится в настоящее время железнодорожным транспортом.

В зависимости от способа охлаждения рефрижераторные вагоны подразделяют на два основных типа: вагоны с машинным охлаждением; вагоны, охлаждаемые водным льдом или льдосоляной смесью. Для перевозки больших объемов продуктов используют скомплектованные вагонные секции (пяти- и двенадцативагонные).

Наряду с вагонами, имеющими холодильную установку, применяют и специальные вагоны: термосы и цистерны-термосы. Эти вагоны представляют собой изотермические емкости и служат для перевозки молока, вина и живой рыбы.

Водный холодильный транспорт связывает между собой холодильные предприятия, находящиеся в портовых городах, и

обеспечивает выполнение внешнеторговых операций. Основная часть водного холодильного транспорта обслуживает рыбную промышленность. В зависимости от районов плавания водный холодильный транспорт подразделяют на морской и речной. На крупных судах объем охлаждаемых трюмов достигает 3500 м<sup>3</sup> для добывающих судов и 20000 м<sup>3</sup> — для транспортных при температуре кипения холодильного агента —30°C ÷ —40°C.

Для судовых холодильных установок характерна быстрая смена условий работы, вызванная изменением температуры воды, охлаждающей конденсатор, при переходе от холодных морей к тропикам.

## Водный и сухой лед

**Водный лед, его заготовка и использование.** На значительной территории нашей страны практически возможно осуществить заготовку водного льда в зимний период, с тем чтобы в дальнейшем использовать для охлаждения самых разнообразных объектов.

Заготовку водного льда можно производить путем выкалывания или вырезания льда из водоемов при толщине льда свыше 20 см. Более распространенным является способ послойного намораживания льда на специальной площадке, называемой бунтом. Послойное намораживание можно применять при температуре наружного воздуха ниже —5°C.

Несмотря на определенную «несовременность» систем охлаждения с помощью естественного льда, сам метод ни в коем случае нельзя считать устаревшим. Помимо очевидной экономии энергии способ прост в техническом отношении, общедоступен, а его техническая реализация требует относительно небольших капитальных затрат. Особенно перспективно охлаждение с помощью естественного льда в установках малой холодильной мощности и транспортных средствах. В связи с развитием холодильной техники в агропромышленных объединениях естественное охлаждение с помощью водного льда имеет определенные перспективы и в сельском хозяйстве. Используя льдосоляные смеси, можно получить низкие температуры, достаточные для замораживания.

Водный лед используют для хранения различных объектов в ледниках и специальных системах льдосоляного охлаждения. Известно, что лед является великолепным строительным материалом: существуют ледяные дороги, ледяные переправы, а у северных народов — и ледяные жилища. Широко известен исторический роман русского писателя П. И. Лажечникова «Ледяной дом». Идею строительства «ледяного дома» — холодильника — впервые осуществил советский инженер М. М. Крылов. В 1931 г. им был впервые построен такой холодильник вместимостью 100 т.

Срок строительства такого холодильника — всего один месяц, но, разумеется, зимний месяц при температуре наружного воздуха — 8°C.

Оригинальной является тепловая изоляция холодильника. При его сооружении теплоизоляционный материал обильно увлажняют водой и промораживают. В теплый период года теплота, поступающая от наружного воздуха через изоляцию, расходуется на таяние подмороженной части изоляции и практически полностью

поглощается. Поэтому при достаточной толщине изоляции в течение теплого периода года «таялая зона» не достигает слоя льда. В этом случае теплота наружного воздуха практически не передается ледяной стене, так как температуры поверхности ледяной стены и зоны таяния примерно равны. Зимой изоляцию и «ледяную стену» восстанавливают. При правильной эксплуатации такие холодильники (склады Крылова) могут служить до 8 лет.

**Производство искусственного водного льда.** Искусственный водный лед, т. е. лед, производимый с помощью искусственного охлаждения, по качеству выше, чем естественный, но стоимость его примерно в 4 раза больше. Повышение стоимости связано с дополнительными затратами энергии.

В зависимости от качества различают:

**технический (мутный) лед.** Непрозрачность (мутность) такого льда связана с переходом в лед разнообразных включений, содержащихся в воде, и наличием газовых пузырей на границе между кристаллами льда (при замораживании происходит выделение растворенных в воде газов);

**прозрачный лед.** Заморозание воды начинается с образованием чистого, прозрачного льда. Если непрерывно смывать с поверхности образующихся кристаллов примеси, то полученный таким образом лед будет прозрачным;

**пищевой лед** — лед, который производят из питьевой воды с учетом необходимых санитарно-гигиенических мероприятий;

**антисептический лед** — лед, получаемый из воды, в которую добавляют антисептик (аскорбиновая кислота, нитрат натрия и др.). Такой лед применяют для хранения свежельвленной рыбы в охлажденном состоянии. Использование антисептического льда угнетает развитие микрофлоры, что позволяет несколько увеличить срок хранения рыбы.

В зависимости от формы выпускаемого льда различают: **блочный лед** (выпускают в виде параллелепипеда или усеченной пирамиды); **плиточный лед** (выпускают в виде плоских плит массой до 5,5 т); **цилиндрический лед** (выпускают в виде полых цилиндров диаметром 32 и 50 мм, толщиной стенки 3—3,5 мм и длиной 30—100 мм); **чешуйчатый лед** (выпускают в виде небольших пластинок толщиной 0,5—5 мм), **снежный лед** (выпускают в виде рыхлых хлопьев).

Лед производят в специальных теплообменных аппаратах — льдогенераторах. Конструкция льдогенератора зависит от вида выпускаемого льда. Получили распространение как льдогенераторы непосредственного охлаждения, так и с промежуточным теплоносителем (рассольные). В процессе производства водного льда неизбежно примораживание его к металлической теплообменной поверхности. Возникающая адгезия (адгезия — это возникновение связи между слоями двух различных тел, находящихся в соприкосновении) льда значительна. Поэтому при производстве льда важно не только заморозить воду в форме, но и суметь отделить лед от металла. Удаление льда из аппарата осуществляют двумя способами.

Первый способ связан с подогревом теплообменной поверхности, результатом которого является подтаивание льда на несколько миллиметров. Это позволяет отделить лед от металла и удалить его из аппарата. Таким образом работают льдогенераторы перио-

дического действия. Второй способ заключается в скалывании или срезе льда с поверхности, на которую он намораживается. Этот способ используют в льдогенераторах непрерывного действия.

**Производство и использование сухого льда.** Сухой лед — это твердый диоксид углерода. В атмосферных условиях сухой лед сублимирует при температуре  $-78,5^{\circ}\text{C}$ . Можно считать, что сухой лед является наиболее удобным охлаждающим веществом, так как он обеспечивает достаточно низкий уровень температур, после использования «исчезает без следа» (газобразный диоксид углерода уходит в атмосферу); газообразный диоксид углерода практически не оказывает отрицательного влияния на окружающую среду, в то время как рассолы — неизбежный спутник систем льдосоляного охлаждения — не являются желательным компонентом для сбросов промышленных предприятий.

Производство сухого льда складывается из трех стадий: получение очищенного от примесей газообразного диоксида углерода; ожижение диоксида углерода; получение твердого диоксида углерода из жидкого.

Наибольшее влияние на стоимость сухого льда оказывает первая стадия его производства.

В настоящее время большую часть сухого льда получают, выделяя газообразный диоксид углерода из продуктов сгорания твердого топлива (угля). Дымовые газы промышленных котельных содержат газообразный диоксид углерода в количестве от 9 до 16%. На многих хладокомбинатах уголь специально сжигают для получения диоксида углерода, но поскольку сухой лед нужен преимущественно летом, а теплота — зимой, то такой способ производства нельзя признать рациональным. Существуют более перспективные источники газообразного диоксида углерода: отходы предприятий по производству синтетического аммиака, азотно-туковые заводы и др., наконец, дым тепловых электрических станций. Во всяком случае, сжигать уголь только для того, чтобы получить газообразный диоксид углерода, вряд ли целесообразно.

Производство сухого льда из побочных продуктов (в том числе и продуктов сгорания) различных химических и микробиологических производств будет способствовать снижению его себестоимости и, как следствие, расширению сферы его применения. На XXVI конгрессе Международного института холода (Париж, август — сентябрь 1983 г.) отмечалась перспективность применения сухого льда для охлаждения скоропортящихся пищевых продуктов при контейнерных перевозках. Ожижение осуществляют сжатием газообразного диоксида углерода в компрессорах с последующей конденсацией. Из-за большого отношения давлений сжатие осуществляют в три ступени.

Преобразование жидкого диоксида углерода в твердый осуществляют, охлаждая его до температуры ниже тройной точки (см. с. 80).

### Холодильная «лаборатория» на дому

Познавая практику холодильной технологии на собственном (иногда) или родительском (чаще всего) холодильнике, старайтесь поступать столь же благородно, как это делали наши великие мостостроители: при первом испытании становились сами под мост. Другими словами, если Вы не уверены в Ваших «холодильных экспериментах» на дому, то «рискуйте» только сами. Но, используя значения, полученные при чтении этой книги, нижеприведенные справочные таблицы, номограмму<sup>1</sup> и соответствующую методику, Вы сведёте любой риск к нулю и быстро за-

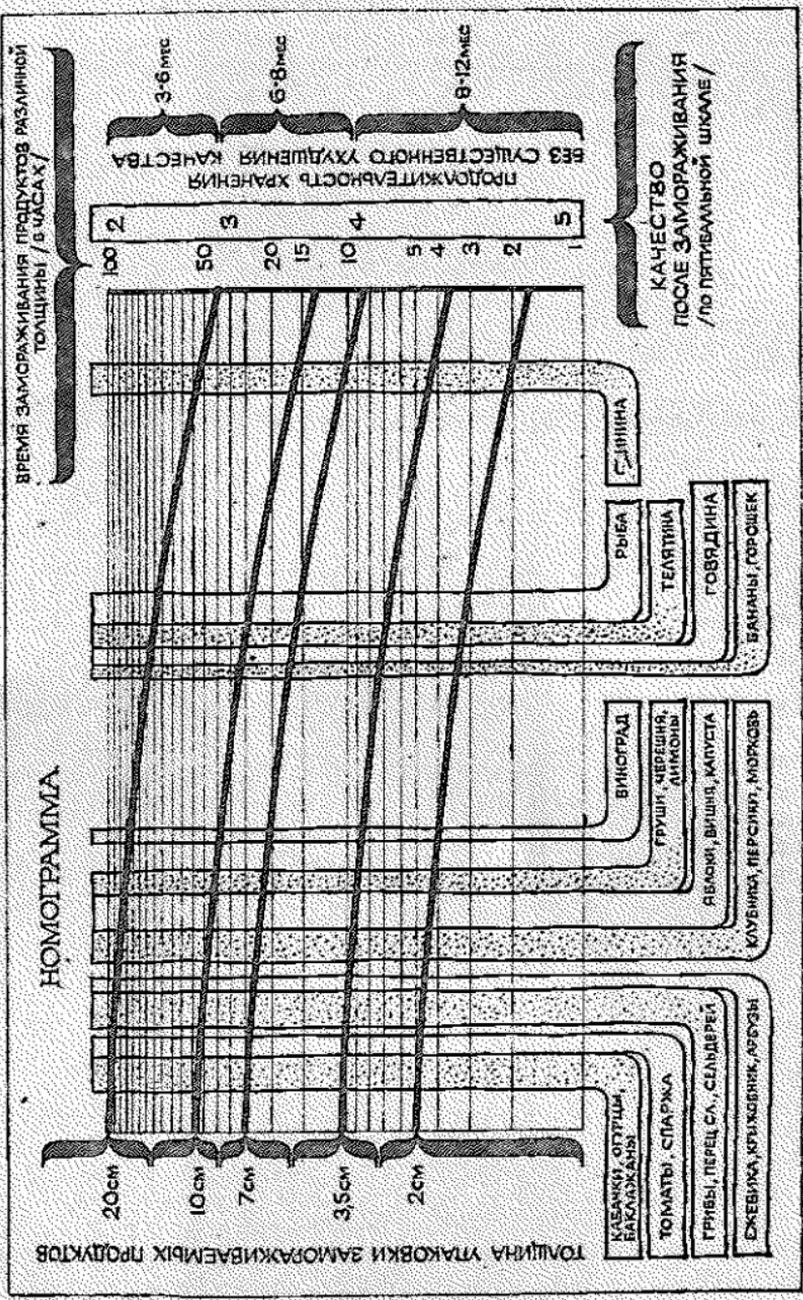
#### Условия консервирования продуктов питания в охлажденном состоянии

Продукт	Температура, °С	Максимальный срок хранения
Говядина	-1,5 ÷ 0	До 5 нед
Телятина	-1 ÷ 0	» 3 »
Баранина	-1 ÷ 0	» 15 дней
Свинина	От -1	» 2 нед
Цыплята	-1 ÷ 0	» 5 дней
Куры	0 ÷ +1	» 20 »
Рыба		
свежая	-1 ÷ 0	От 5 до 25 дней
соленая постная	-2	До 10 мес
Соленая сельдь	-2	» 12 »
Яблоки	-1 ÷ -2,5	» 8 »
Бананы	+11,5 ÷ +14,4	» 20 дней
Капуста	0	» 6 мес
Морковь	-1 ÷ +1	» 6 »
Цветная капуста	0 ÷ +1	» 6 нед
Огурцы	+7 ÷ +11,5	» 2 »
Виноград	-2 ÷ 0	» 6 »
Салат	0	» 3 »
Лук	0	» 6 мес
Апельсины	+2 ÷ +7    85—90	» 5 нед
Груши	-1,5 ÷ +    85—90	» 6 мес
Ананасы	от +10    90	» 4 нед
Сливы	-0,5 ÷ +1    85—90	» 8 »
Томаты	+11,5 ÷ +13    85—90	» 5 »

Помните: Хранить дольше указанного срока опасно!!!

воюете авторитет в первую очередь у себя дома и среди ближайших знакомых.

<sup>1</sup> Разработана А. М. Бражниковым и Н. Э. Каухчешвили.



## Условия консервирования продуктов питания в замороженном состоянии

Температура, °С	-6	-12	-18	Абсолютный нуль
Продолжительность хранения	1—2 нед.	2—6 нед.	6—10 мес	Бесконечно

Примечание. Исключения составляют продукты с большим содержанием жира и масла. Для их хранения требуются температуры от -25 до -40°С.

### Как подготовить продукты питания к длительному хранению в замороженном состоянии

Номограмма позволяет осуществить выбор основного размера (толщины) продукта, обеспечивающего желаемый уровень его финального качества. Она универсальна, применима практически для любой продукции, но рассчитана для морозильных отделений холодильников и морозильников, помеченных тремя звездочками (\* \* \*).

Давайте ознакомимся с тем, как ею пользоваться, на примере следующих трех видов продуктов: помидоры, арбуз, курица.

**Помидоры.** Тщательно промываете (только целые, не раздавленные) и протираете их насухо полотенцем. Если они по размеру не превышают 2—3 см, то упаковывает их в полиэтиленовые пакеты целыми. Если они крупные, то целесообразно нарезать их ломтиками толщиной 5—6 мм. Допустим, толщина получилась примерно 3,5 см. Теперь Вы обращаетесь к номограмме. Слева приведена толщина упаковки. На ней вы находите размер 3,5 см. Следуя по линии до пересечения с вертикальной полосой, на которой написано слово «томаты» и далее по горизонтальной линии до правого конца номограммы, Вы выясните продолжительность замораживания (которое составляет примерно 9 ч 45 мин) и уровень качества (4, т. е. хорошее).

**Арбуз.** Вы хотите сохранить к майским праздникам арбуз. Вы купили большой арбуз, диаметр которого 40 см. Если Вы будете замораживать его целиком, то из номограммы видно, что качество Вашего арбуза вряд ли Вас порадует не только через месяц, но даже сразу после замораживания. Поэтому совет: тщательно промыть внешнюю поверхность арбуза и протереть ее насухо, нарезать арбуз на доли толщиной не более 4 см, которые и упаковать в пленку. Вы можете быть уверены в том, что качество арбуза в такой упаковке будет сохранено к намеченному сроку хранения.

Курица. Вы приобрели курицу. Размер ее составляет примерно 15—20 см. Желательно разрезать ее пополам или на доли. В последнем случае, естественно, качество будет выше. Но в номограмме курица не обозначена. Поэтому Вы выбираете ту вертикальную полосу, на которой обозначено «телятина», поскольку влагосодержание птицы примерно соответствует влагосодержанию телятины. Впрочем, если Вы посчитаете, что птица ближе к говядине, то ошибка будет незначительна. Далее действуете, как в предыдущих случаях.

## Список рекомендуемой литературы

Актуальные проблемы криобиологии / под ред. Н. С. Пушкаря и А. М. Белоусова. — Киев: Наукова думка, 1981. — 606 с.

Бражников А. М., Малова Н. Д. Кондиционирование воздуха на предприятиях мясной и молочной промышленности. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 278 с.

Гуйго Э. И., Журавская Н. К., Каухчешвили Э. И. Сублимационная сушка пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1972. — 408 с.

Джолли У. П. Криоэлектроника. — М.: Мир, 1975. — 182 с.

Курьлев Е. С., Герасимов Н. А. Холодильные установки. — Н.—Л.: Машиностроение, 1980. — 495 с.

Пушкарь Н. С., Белоус А. М. Введение в криобиологию. — Киев: Наукова думка, 1975. — 322 с.

Холодильные машины / под ред. Н. Н. Кошкина. — М.: Пищевая промышленность, 1973. — 483 с.

Чижев Г. Б. Теплофизические процессы в холодильной технологии пищевых продуктов. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 342 с.

Чумак И. Г., Чепурненко В. П., Чуклин С. Г. Холодильные установки. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 344 с.

## Оглавление

Введение . . . . .	3
1. Инженер в эпоху НТР . . . . .	7
«Профессии» инженера . . . . .	8
Современный инженер — инженер широкого профиля . . . . .	16
2. Как получают холод? . . . . .	19
Через теплоту к холоду . . . . .	20
Начнем с опыта . . . . .	23
Перейдем к теории . . . . .	24
Поговорим об обратимости . . . . .	26
Получение умеренно низких температур . . . . .	28
Доставка холода потребителю . . . . .	41
Получение криогенных и сверхнизких температур . . . . .	42
3. Энергетическая цена холода и энергетические отходы . . . . .	44
Откуда берется энергия для холода и всего остального . . . . .	45
Отходы теплоты — «доходы» холода . . . . .	48
Как холод экономит топливо . . . . .	51
4. Как спасти миллиард . . . . .	55
О технологии вообще и холодильной технологии в частности . . . . .	56
Планета на голодном пайке? . . . . .	66
Есть еще резервы . . . . .	69
Наша «норма питания» . . . . .	71
Естественная «искусственная» пища . . . . .	71
Сохранить урожай, сократить потери . . . . .	73
Увеличить «потери» — сохранить урожай . . . . .	79
Холод, вытянутый в цепочку . . . . .	84
Миллион тонн в домашнем холодильнике . . . . .	88
5. Холод и микроклимат . . . . .	94
Атмосферный воздух . . . . .	94
Воздух — универсальный «теплоноситель» . . . . .	96
Что такое кондиционирование воздуха? . . . . .	99
Технологический микроклимат . . . . .	101

6. Холод и долголетие . . . . .	106
От мифического «бессмертия» — к реальному долголетию . . . . .	106
О консервировании «жизни» холодом . . . . .	108
«Банк живых органов» . . . . .	110
Биология и криобиология . . . . .	112
Криобиологическая технология . . . . .	119
7. Холод и техника . . . . .	123
Холод в химии и химической промышленности . . . . .	123
Холод в строительстве . . . . .	127
Холод в электротехнике и электронике . . . . .	128
Холод в металлургии и машиностроении . . . . .	131
Холод в горнодобывающей промышленности . . . . .	132
Холод и транспорт . . . . .	133
Водный и сухой лед . . . . .	135
Приложение. Холодильная «лаборатория» на дому . . . . .	138
Список рекомендуемой литературы . . . . .	142

Александр Михайлович Бражников  
Эрнест Иванович Каучешвили

### Холод. Введение в специальность

Редактор Г. А. Гусева  
Художественный редактор Е. К. Селикова  
Технический редактор Н. В. Черенкова  
Корректор Е. А. Власова  
ИБ-407

Сдано в набор 10.04.84. Подписано в печать 11.07.84. Т-14527  
Формат 84×108/32 Бумага типографская № 3. Литературная гарнитура.  
Высокая печать. Объем 4,5 п. л. Усл. п. л. 7,56 Усл. кр.-отт. 7,88  
Уч.-изд. л. 7,82 Тираж 10 000 экз. Заказ 288. Цена 25 коп.

Издательство «Легкая и пищевая промышленность»  
113035, г. Москва, М-35, 1-й Кадашевский пер., д. 12

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР по делам издательства,  
полиграфии и книжной торговли.  
103051, Москва, Цветной бульвар, 26.