

Как человек нагревал и продолжает нагревать свое жилище? Мы научились нагревать свой дом гораздо раньше, чем охлаждать его. Чтобы не замерзнуть, наши предки разводили костры в пещерах. К сожалению, мы не далеко ушли вперед. Просто большинство из нас не видят тех костров, которые день и ночь горят, чтобы в квартирах было тепло. В крупных городах, где теплая вода успевает остыть на своем долгом пути от того места, где ее нагревают, до жилых домов, ее приходится подогревать дважды. Поэтому часто там, где холодно, но нет топлива, люди мерзнут, а страны воюют между собой за право обладать месторождениями газа и нефти. Но тепло окружает нас со всех сторон! Просто надо уметь взять его и перенести в дом.

Как перенести тепло атмосферы и земли в дом? Конечно, если зимой просто внести некоторый объем воздуха или кусок земли с улицы домой, то в квартире теплее не станет. Однако можно поступить по-другому. Находясь на улице, возьмем жидкость, кипящую при низкой температуре, например фреон-12 (CF_2Cl_2), и нальем несколько миллилитров ее в резиновый шарик, после чего сразу завяжем шарик веревкой, чтобы пары фреона не улетучились. Так как температура кипения фреона равна -33°C , то даже зимой на улице весь фреон испарится, а шарик надует. Каждый грамм фреона, испаряясь, берет тепло из холодного воздуха, которое можно оценить, зная удельную теплоту парообразования фреона (139 кДж/кг). А теперь внесем этот шарик в комнату и сожмем его. Когда давление внутри шарика вырастет настолько, что пары фреона начнут конденсироваться, вся та тепловая энергия, которую мы отняли на улице у холодного воздуха, выделится в комнате, и там станет теплее. Ну а потом, когда шарик остынет, чтобы завершить цикл, можно опять вынести его на улицу, уменьшить давление внутри него и снова дожидаться, пока весь фреон испарится. Таким образом, совершая работу над паром, мы переносим тепло от более холодного тела (воздух на улице) к более тепловому (воздух в комнате). Устройства, делающие это циклически, называют тепловыми насосами. Разумеется, тепловые насосы могут закачивать внутрь помещения тепло не только атмосферы, но и грунта и находящихся рядом водоемов.

Тепловые насосы — холодильники наоборот! Наверное, почти все замечали с задней стороны наших домашних холодильников явно теплую, а иногда даже горячую решетку радиатора. В принципе, наш холодильник можно назвать тепловым насосом, выкачивающим тепло из холодильной камеры в комнату или кухню. И вообще, тепловые насосы — это холодильники,

откачивающие тепло, например из незамерзающих глубин земли. Известно, что на глубине 4–5 м и более температура грунта в течение года практически постоянна и соответствует среднегодовой температуре атмосферного воздуха. В климатических условиях средней полосы России эта температура составляет 5–8 °С.

Первый тепловой насос, названный умножителем тепла, был предложен Уильямом Томсоном (лорд Кельвин) в 1852 году и представлял собой холодильник, используемый для отопления. Томсон считал, что ограниченность энергоресурсов не позволит в будущем сжигать топливо в отопительных печах, а его умножитель тепла будет потреблять топлива меньше. Тепловой насос Томсона в качестве рабочего тела использовал воздух. Воздух засасывался из помещения в цилиндр, расширялся и при этом охлаждался, а затем проходил теплообменник, где нагревался наружным воздухом. После сжатия до атмосферного давления воздух из цилиндра поступал в обогреваемое помещение нагретым до температуры выше первоначальной.

Современные тепловые насосы работают по следующей схеме (рис.71). В испарителе теплового насоса (теплообменнике, находящемся на улице) тепло земли, водоемов или окружающего

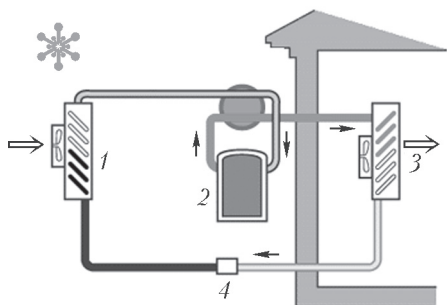


Рис. 71. Схема работы теплового насоса, выкачивающего тепло из наружного воздуха: 1 – испаритель, 2 – компрессор, 3 – конденсатор, 4 – клапан (сужение), разделяющий зону высокого (справа) и низкого (слева) давлений, через который жидкий хладагент медленно перетекает, попадая в наружный теплообменник

воздуха используется для испарения хладагента (жидкости, кипящей при низкой температуре). Полученный пар сжимается компрессором, и температура пара повышается. Затем в конденсаторе (теплообменнике внутри помещения) пар остывает, и его тепло передается в систему отопления и горячего водоснабжения. При этом количество теплоты, предоставляемое потребителю, может в несколько раз превышать затраты энергии на привод компрессора.

Коэффициент преобразования холодильников и тепловых насосов. Отношение полезного количества теплоты к работе, затрачиваемой на привод компрессора, называют коэффициентом преобразования теплового насоса, в наиболее распространенных теплонасосных системах он достигает 3 и более. Попробуем понять, почему пользоваться тепловым насосом гораздо выгоднее, чем даже идеальным электрообогревателем, коэффициент преобразования которого равен 1.

Холодильник и тепловой насос – это двигатели, работающие «наоборот» по отношению к тепловой машине, так как в них мы совершаем работу, чтобы охладить более холодное тело и нагреть более теплое. Известно, что КПД идеального теплового двигателя (машины Карно), преобразующего тепло в работу, равен

$$\text{КПД} = \frac{A}{Q + A} = \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}}{T_{\text{н}}} < 1,$$

где Q – затраченное количество теплоты, A – работа, $T_{\text{н}}$ и $T_{\text{х}}$ – температуры нагревателя и холодильника соответственно. Это значит, что если мы захотим нагревать дом с помощью идеального теплового насоса, его коэффициент преобразования КОП будет равен

$$\text{КОП} = \frac{Q + A}{A} = \frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{н}} - T_{\text{х}}} \gg 1.$$

Таким образом, нагревать комнату тепловым насосом гораздо выгоднее, чем электрическим камином, так как из земли или из холодного воздуха нам удастся выкачать в несколько раз большее количество теплоты.

Сегодня топливные насосы выпускаются тепловой мощностью от 2 кВт до 200 МВт. Как показали оценки, применение таких насосов позволит сократить потребление топлива (газ, мазут, уголь и т.д.) приблизительно на 40%, что соответственно снизит загрязнение окружающей среды. В настоящее время общий ежегодный объем продаж выпускаемых за рубежом топливных насосов составляет более 100 млрд долларов США, что превышает, например, мировой объем продаж вооружений в несколько раз. Швеция, скажем, уже сегодня 70% тепла получает с помощью топливных насосов, а по прогнозу Мирового энергетического комитета к 2020 году использование тепловых насосов во всем мире для отопления и горячего водоснабжения приблизится к 75%.

Можно ли зимой использовать тепло прошедшего лета?
Оказывается, можно! В Австрии, Голландии и Великобритании

тепло прошедшего лета используют зимой для подогрева дорожного покрытия, чтобы избежать его обледенения. Для этого под асфальт на глубину 12 см закапывают полиэтиленовые трубки диаметром 25 мм, располагая их на расстоянии 15 см друг от друга. Средняя температура грунта на этой глубине равна 12 °С, но летом она поднимается до 25 °С. В течение всего лета теплую воду из труб сливают в теплоизолированные емкости, закопанные рядом с дорогой. Зимой, как только температура дорожного покрытия упадет ниже 2 °С, по трубам начинают пропускать воду, нагретую прошлым летом, предотвращая образование гололеда.

Почему мы носим свитер, а на коже появляются мурашки?

Воздух является хорошим теплоизолятором и помогает нам сохранять тепло, но только если он неподвижен. Двигаясь относительно тела, он отбирает у него тепло. Толщина слоя неподвижного воздуха уменьшается при среднем ветре от 2–4 мм до 1 мм, а свитер увеличивает ее до 10 мм. При появлении мурашек волосы «встают», что также утолщает слой неподвижного воздуха. Конечно, далеко не у всех при появлении мурашек возникает на теле «свитер» из собственных волос, но мы до сих пор не можем избавиться от этого врожденного рефлекса наших далеких и волосатых предков.

Почему мы дрожим от холода? Сокращения мышц не только дают нам возможность двигаться, но и снабжают нас теплом. Мышцы не являются идеальными пружинами, которые, сжимаясь, хранят в себе всю энергию деформации, а при расслаблении совершают работу. Деформация мышц неупругая, и поэтому они, сокращаясь и совершая работу, одновременно служат источником тепла. Выполняя среднюю физическую работу, мы разогреваемся, а мышцы, составляющие около 50% массы нашего тела, являются при этом источником почти 75% всего получаемого тепла. Остальные 25% – это тепло, выделяющееся при различных биохимических реакциях. Когда мы дрожим от холода, наши мышцы беспорядочно сокращаются, и это хотя и мешает координации движений, но позволяет нам согреться.

Как сохраняет тепло тюлень, плавая в Ледовитом океане? Моржи и тюлени плавают в холодной воде, температура которой около 0 °С. Поэтому основная проблема, с которой они сталкиваются, это как сохранить тепло. Для этого все тело у них покрыто толстым слоем подкожного жира, который служит хорошим теплоизолятором. Однако на лапах и хвосте (чтобы они были легкими и подвижными) жира нет, и их температура падает до 1–2 °С. Поэтому через эти непокрытые

жиром конечности тепло должно уходить в окружающую ледяную воду, как через открытую форточку. Почему же тюлени не замерзают?

Кровь снабжает кожные покровы тюленя кислородом и, доставив его туда, возвращается обратно к сердцу. Но вместе с кислородом кровь выносит на поверхность тюленя и тепло – ведь глубоко внутри тела всегда 37°C . Поэтому кровообращение служит одной из основных причин тепловпотерь. Однако мудрая Природа так устроила систему кровоснабжения конечностей у тюленей, чтобы эти потери были минимальными. Как именно?

Противоточная система: экономия тепла. Опустим в снег трубку, изогнутую в виде буквы U, и будем пропускать через нее горячую воду (рис.72, слева). Очевидно, что, протекая через трубку, вода будет постепенно остывать, отдавая свое тепло холодному снегу, и поэтому температура воды, выходящей из трубки, будет всегда меньше первоначальной.

Попробуем теперь сблизить половинки трубок так, чтобы они касались друг друга, а потоки воды, движущиеся в противоположных направлениях, могли обмениваться теплом. При такой противоточной системе движения жидкости вода будет остывать только в левой половине трубки (см. рис.72, справа), двигаясь вглубь снегового слоя. Когда вода, сделав разворот, направится обратно, к ней начнет поступать тепло от более нагретой воды, текущей рядом в противоположном направлении, и температура выходящей из холода воды начнет постепенно увеличиваться. Таким образом, противоточное движение позволяет значительно уменьшить тепловые потери, так как часть тепла отдается холодной жидкости, возвращающейся из снега.

У тюленей и моржей кровоснабжение в конечностях противоточное, что позволяет уменьшить потери тепла, так как часть тепла артериальной крови, текущей от сердца к периферии, отдается более холодной венозной крови, возвращающейся из отдаленной части лапы или хвоста. Чтобы теплопередача между артериями и венами была более эффективной, вены просто

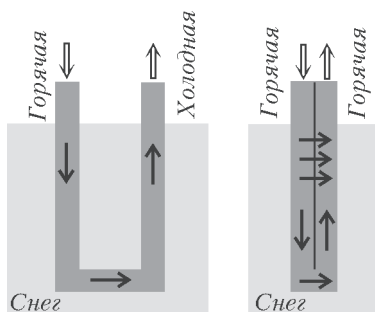


Рис. 72. Обычная система циркуляции воды через снег (слева) и ее противоточный аналог, уменьшающий тепловпотери (справа)



Рис. 73. Противоточная система кровоснабжения конечностей тюленя: 1 – артерия, несущая теплую кровь к холодному краю ласты, 2 – вены с кровью, текущей от холодного края ласты

оплетают артерии, несущие теплую кровь к конечностям тюленя (рис.73).

Почему хомяк все время ест? Каждый, кто когда-нибудь держал у себя дома хомяка или видел его у знакомых, поражала его прожорливость, о которой так много сказано в наших сказках и поговорках. За день хомяк, да и любой мелкий грызун, может съесть столько, сколько сам весит. В то же время масса ежедневного рациона слона составляет менее $1/10$ его массы, хотя по калорийности пища слона почти не отличается от пищи грызуна, так как оба питаются исключительно растениями. От чего же зависит количество пищи, необходимое животному для нормальной жизнедеятельности?

Известно, что определенная температура тела у теплокровных животных поддерживается за счет выделения тепла при постоянно протекающих химических реакциях – процессах метаболизма. Подсчитано, что потребление организмом 1 см^3 кислорода сопровождается выделением 20 Дж теп-

ла. При этом освободившееся количество теплоты не зависит от вида пищи.

Пусть животное имеет форму шара радиусом R , а единица массы животного нуждается каждую секунду в $q \text{ см}^3$ кислорода. Тогда количество теплоты Q_1 , освобождающееся каждую секунду в организме, составит

$$Q_1 = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \cdot q \cdot 20 \text{ Дж},$$

где ρ – плотность тела животного. Так как температура тела остается постоянной, количество теплоты, образующееся в организме за счет метаболических процессов, должно равняться количеству теплоты, перешедшему от животного в окружающую среду. Известно, что количество теплоты Q_2 , переходящее в единицу времени от более нагретого тела к менее нагретому при их соприкосновении, пропорционально площади соприкосновения S , разности их температур ΔT , теплопроводности среды между ними λ и обратно пропорционально толщине слоя этой

среды Δx . Так как у нашего шарообразного «животного» $S = 4\pi R^2$, то

$$Q_2 = \lambda \cdot 4\pi R^2 \frac{\Delta T}{\Delta x}.$$

Приравнивая количество теплоты, освобождающееся в организме при метаболических процессах, и количество теплоты, теряемое телом через его поверхность, получаем

$$q = \frac{k}{R}, \text{ где } k = \frac{3\lambda}{20\rho} \frac{\Delta T}{\Delta x}.$$

Можно считать, что при изменении размеров нашего шарообразного «животного» величина k остается постоянной, и, значит, потребности единицы массы в кислороде (q) растут с уменьшением размеров животного. Так как масса шара равна

$M = (4/3)\pi R^3 \rho$, то q можно выразить и через M :

$$q = \frac{k}{R} = \frac{k}{\left(\frac{M}{4\pi\rho/3}\right)^{1/3}} \sim M^{-1/3},$$

откуда следует, что единице массы хомяка требуется кислорода гораздо больше, чем такой же единице массы слона. А так как весь кислород расходуется животным на окисление питательных веществ, то и количество пищи в расчете на единицу массы тела для хомяка должно быть гораздо больше соответствующей величины для слона.

Конечно, сделанное допущение о шарообразности животных несправедливое, но очевидно, что полученная формула для q годится и для всех подобных животных (рис.74). Ну а для реальных животных и человека, как

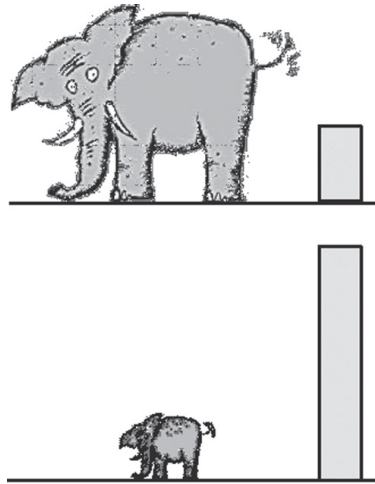


Рис. 74. Схематическое изображение двух подобных животных; столбиком указано соответствующее количество теплоты, выделяемое каждым килограммом животного для поддержания постоянной температуры

показали измерения, $q = 70M^{-1/3}$ ккал/(день · кг), что, например, для человека массой 60 кг соответствует приблизительно 1500 ккал в день. Таким образом, только для поддержания постоянной температуры мы должны тратить на обогрев 1500 ккал в день. Другими словами, человек – это лампочка мощностью около 75 Вт, так как в теле человеке, даже когда он спит, протекают химические реакции с выделением тепла.

Почему человеку нужен искусственный холод, и как его добыть? Искусственный холод часто необходим, чтобы защитить наш организм от перегрева. Кроме того, холод необходим продуктам, которые мы сегодня не собираемся есть. Имеются, по крайней мере, два способа охладить себя: 1) вылить себе на руку одеколон или спирт, которые, испаряясь, отнимут тепло у руки, а значит, охладят ее; 2) открыть баллончик со сжатым газом и направить его струю на руку, который, расширяясь, охладится, и мы почувствуем рукой уменьшение его температуры. Оба эти способа были использованы в работе домашних холодильников, массовое производство которых началось с середины 1920-х годов.

Как работает обычный (компрессионный) холодильник? Компрессионный холодильник (рис.75) состоит из: насоса (компрессора), который создает область высокого давления в трубках теплообменника снаружи холодильной камеры и область

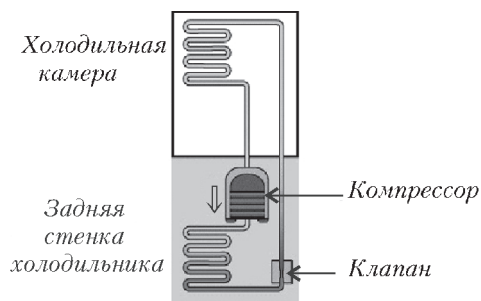


Рис.75. Схема компрессионного холодильника

низкого давления в трубках теплообменника внутри холодильной камеры; клапана (сужения), разделяющего эти две секции теплообменника; хладагента с температурой кипения около -30°C , переходящего из одной секции теплообменника в другую, а также из газообразного состояния в жидкое и обратно.

Каждые 15 минут в холодильнике что-то щелкает, и раздается шум работающего двигателя. Это насос компрессора начал очередной цикл работы:

сжимается газ, находящийся во внешнем теплообменнике, и его давление и температура увеличиваются;

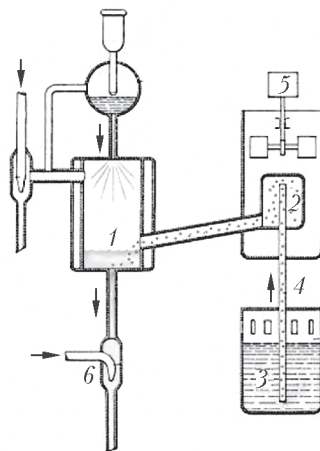
двигаясь по внешнему теплообменнику, газ остывает, нагревая воздух в комнате;

наконец, температура газа падает настолько, что часть газа конденсируется в жидкость;

высокое давление перед клапаном выбрызгивает капельки жидкого хладагента в секцию теплообменника, находящуюся под низким давлением, где хладагент начинает кипеть, испаряясь и понижая температуру холодильной камеры.

Холодильник Эйнштейна. В компрессионном холодильнике всегда есть электродвигатель, движущиеся части которого являются источником шума и значительно уменьшают надежность его работы. Интересно, что у истоков создания холодильников, не содержащих подвижных частей, стояли два известных физика – Альберт Эйнштейн и Лео Сцилард. В 20-х годах прошлого века они предложили сразу несколько типов таких холодильников (один из них изображен на рисунке 76). Придумать новый тип домашнего холодильника Эйнштейна побудила статья в газете, где рассказывалось, как большая семья умерла от отравления аммиаком, который вытек из неисправного компрессионного холодильника. Два их патента были куплены фирмой «Электролюкс», которая до сих пор производит холодильники.

Рис. 76. Схема одного из холодильников, предложенных А. Эйнштейном и Л. Сцилардом. С помощью водоструйного насоса в колбе 1 создается давление меньше атмосферного. В результате жидкий метанол из 3 поднимается по трубке 4 и испаряется, понижая температуру воздуха в 2, вследствие чего охлаждается контейнер 5, где может, например, находиться мороженое. Далее метанол вместе с водой смывается в водопровод с помощью второго водоструйного насоса 6



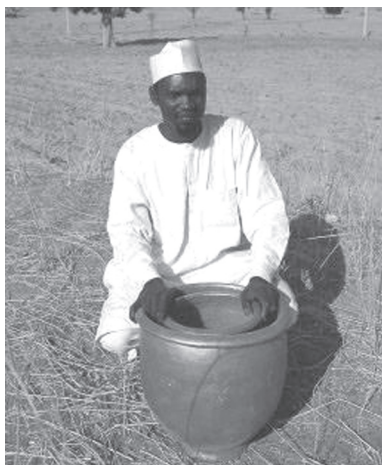


Рис. 77. Примитивный холодильник, состоящий из двух глиняных горшков с влажным песком между ними

заполненный, например, овощами. Использование такого холодильника позволяет в несколько раз продлить срок хранения овощей.

Крионика — дорога к бессмертию. Крионика, т.е. наука о сохранении биологических объектов путем их заморозки, относительно молода, ей нет еще и 50 лет. Ученые считают, что при низких температурах тело подвержено лишь незначительным изменениям и поэтому может сохраняться неопределенно долгое время. Тогда же появилась и фантастическая идея замораживать тела неизлечимо больных до сверхнизких температур, чтобы оживить их в будущем, когда медицина освоит более действенные методы лечения. Идея быстро овладела массами. Приятно сознавать, что у тебя есть надежда, тем более что научные и псевдонаучные публикации, фантастические фильмы и книги эту надежду постоянно подогревают.

Все процессы в организме — это череда огромного числа связанных между собой химических реакций. Понижение температуры замедляет скорость теплового движения молекул и диффузию, в результате чего понижается и скорость всех химических реакций. Поэтому при понижении температуры тела на каждые 10°C интенсивность физиологических процессов падает настолько, что потребление кислорода животными уменьшается в 2–3 раза.

К сожалению, приход к власти фашистов, а потом вторая мировая война помешали воплощению этих проектов, так как Эйнштейн эмигрировал в США, а Сцилард — в Англию.

Самый примитивный холодильник. Одним из самых простых и надежных холодильников, который до сих пор используется коренным населением африканских пустынь, является пара вложенных друг в друга глиняных горшков (рис.77). Пространство между горшками заполняется мокрым песком, а влага, медленно испаряясь, охлаждает внутренний горшок,