

Вместе с тем ограничения установочной мощности оборудования не являются столь уж непреодолимым барьером для банных применений даже зимой, поскольку может быть использован традиционный для русских бань принцип аккумуляции тепла. Не является серьёзной проблемой и высокая стоимость электроэнергии, так как время работы банного отопления весьма ограничено (в отличие от постоянного отопления жилых домов). Во всяком случае периодическая эксплуатация дачной бани на электричестве может быть сопоставима (и даже ниже) по цене с постоянной работой бытового холодильника. В Финляндии и Швеции, где умеют считать деньги, электроотопление бань не считается расточительством, тем более, что само электрооборудование очень дешевле по сравнению с печным, а тем более газовым оборудованием.

Ввиду изобилия профессиональной литературы и технических рекомендаций фирм-производителей электроотопительного оборудования, ограничимся лишь обзорной классификацией электрических методов нагрева жилых помещений и воды для хозяйственно-бытовых нужд.

5.8.1. Электрические спирали

Ещё лет сорок-пятьдесят тому назад в области электрообогревательных приборов царствовали открытые электроспираль – мерные отрезки проволоки из металлических сплавов с высоким электрическим сопротивлением. Так, наиболее известный сплав 67,5% Ni, 16% Fe, 15% Cr и 1,5% Mn (нихром) имеет удельное электросопротивление 100 мком·см, много большее удельного сопротивления железа 9,8 мком·см, алюминия 2,8 мком·см, меди 1,7 мком·см. Высокое электросопротивление нихрома позволяет использовать короткие отрезки проволоки (не более нескольких метров при диаметрах 0,1–0,5 мм), которую для большей компактности наматывали на стержни диаметром 2–5 мм с получением спиралей. Мощность тепловыделения составляет $u^2/R = u^2 \cdot \pi d^2 / 4l\rho$, где u – напряжение электросети, R – электросопротивление отрезка спирали, d и l – диаметр и длина проволоки, ρ – удельное сопротивление материала проволоки. Таким образом, чем короче и толще проволока, тем большую мощность обеспечивает спираль. Очень короткие спирали перегреваются и перегорают. Так, например, для мощности в 1 кВт надо было взять 3,5 м нихромовой проволоки диаметром 0,3 мм, намотав которую на спицу диаметром 3 мм, получали спираль длиной 11–12 см (если виток к витку). В таком виде спирали поступали в продажу (рис. 171). Электрические спирали растягивали на необходимую длину и укладывали в канавки керамических огнеупорных изоляторов (в электроплитках, в лучистых обогревателях с зеркальным отражателем), помещали в керамические тру-

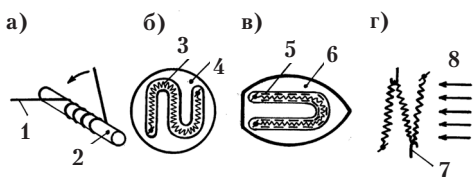


Рис. 171. Принцип устройства спиральных электронагревателей: а – намотка нихромовой проволоки в спираль, б – укладка спирали в пазы (углубления) электроизоляционной керамической плиты в электроплитке, в – укладка спирали, за-

ключённой в керамические бусы, в пазы металлической плиты-основы электроутюга, г – подвеска спирали в принудительном потоке воздуха (проточный воздушнонагреватель, электротепловентилятор, калорифер, фен) или в естественном потоке воздуха (конвектор).

1 – нихромовая проволока, 2 – стержень (спица), 3 – электроспираль в углублении, 4 – плоская электроизоляционная термостойкая плита, 5 – фарфоровые бусы, изолирующие спираль от металлической плиты-подшвы электроутюга, 6 – подошва электроутюга, 7 – проволочные электроизолированные крючки, удерживающие спираль в потоке воздуха, 8 – набегающий поток воздуха от вентилятора.

бочки-бусы (в электроутюгах), подвешивали на проволочных крючках (в электрофенах). Все эти приёмы могут использоваться и сейчас в простейших самодельных дачных конструкциях. Так, например, весьма распространены были кирпичи с намотанной на них нихромовой проволокой, которые закладывались вразбежку всухую в штабель кирпичей, играющий роль бытового высокотеплоёмкого нагревателя.

5.8.2. Трубчатые электронагреватели

Наибольшие неудобства электрических спиралей проявлялись при нагреве воды. Решение было найдено с помощью трубчатых электронагревателей (ТЭНов), изготавливаемых в виде стальных или алюминиевых трубок, внутрь которых вдевались спирали с керамическими бусами (рис. 172а), или со слюдой, асбестом и т. д. Такие ТЭНы ещё и сейчас можно встретить в эксплуатации и даже в продаже. Несмотря на сложность сборки (особенно при сложных формах трубки, сгибавшейся в основном до закладки в неё спирали с бусами), такие ТЭНы в ряде случаев были очень удобны из-за того, что допускали разборку, сборку и ремонт на месте.

В последние десятилетия разборные ТЭНы были вытеснены неразборными конструкциями (рис. 172б), которые стали основной покупной элементной базой вместо спиралей. Суть технического решения состоит в следующем. В вертикально удерживаемую металлическую трубку вдевают и точно центрируют по оси (в том числе дополнительной вспомогательной трубкой, временно вставляемой в трубку) металлическую проволоку или спираль так, чтобы проволока или спираль не касались трубки. Затем трубку с виброутряской засыпают некомокующимся, хоро-

шо сыпучим (лучше сфероидизированным и суспендированным в воде) диэлектрическим тугоплавким порошком. После этого металлическую трубку обжимают (катают, сдавливают) с уменьшением диаметра, например, с 15 мм до 12 мм и ещё меньше, в результате чего порошок в трубке уплотняется, причём в основном во внешних слоях) и прочно фиксирует спираль, не допуская её касания стенок. Концы спиралей обжимаются в металлических токопроводящих мундштуках-контактах и уплотняются герметиком. Ценным свойством такой конструкции является возможность согнуть её кольцами или спиралями (из-за сыпучести порошка) в компактную конструкцию. Ясно, что чем ближе спираль к трубке и чем плотнее порошок между спиралью и трубкой, тем лучше ТЭН. Так что технология изготовления ТЭНов сложна и ответственна.

В настоящее время ТЭНы выпускаются сотнями предприятий по всему миру для тысяч назначений. Поэтому конструкции их бывают самыми разнообразными. Для нагрева воды (кипятильники, чайники, котлы, стиральные и посудомоечные машины и т. п.) и масла (электрообогреватели, полотенцесушители и т. п.) при температуре до 100°С используются алюминиевые, латунные, стальные никелированные трубки, кварцевый песок и пластмассовый или стеклоэмалевый герметик. Для нагрева воздуха при температурах 100–500°С используются стальные (в том числе нержавеющие) трубки, порошки плавленной окиси кремния (кварца) или периклаза (окиси магния), легкоплавкое стекло в качестве герметика. Для инфракрасных нагревателей с температурами 500–900°С используются

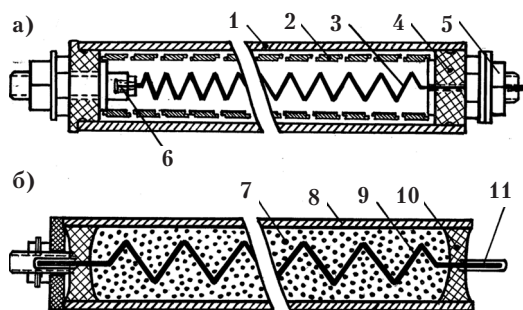


Рис. 172. Принцип устройства трубчатого электрического нагревателя (ТЭНа): а – устаревшая конструкция с фарфоровыми бусами, электроизолирующими нихромовую спираль трубки, б – современная конструкция с электроизолятором в виде засыпки порошком тугоплавкой окиси. 1 – металлическая трубка (например, стальная), 2 – керамические изоляционные кольца

(бусы), охватывающие спираль, 3 – нихромовая спираль, 4 – фарфоровый торцевой изолятор, закреплённый на трубке, 5 – токоподводящий зажим болтовой со сквозным проходом нихромовой проволоки, 6 – токоподводящий зажим болтовой с болтовым креплением проволоки, 7 – порошок диэлектрической окиси, 8 – металлическая трубка (например, из нержавеющей стали или коррозионностойкого сплава «инкаллой», или латуни, или алюминия), 9 – нихромовая проволока или лента, 10 – электроизолирующий герметик (пластмасса, стекло, керамика), 11 – металлический контакт, напрессованный чулком на конец проволоки.

жаростойкие трубки из хромистых сталей (в том числе из сплава «инкаллой») с керамическим покрытием, порошки высокочистой плавленной окиси магния и керамические спекаемые герметики.

ТЭНы для нагрева воды преимущественно выпускаются для стационарной установки в подводном положении (рис. 173), хотя выпускаются и погружные кипятильники, временно опускаемые сверху в ёмкости с водой любой конструкции. ТЭНы для подводного монтажа имеют фланец 3, герметично соединяемый с трубкой 4. В ёмкости с водой 1 делается отверстие, которое через уплотнительное кольцо 2 закрывается фланцем 3, притягиваемым с помощью болтовой системы 6. Как правило, трубка ТЭНа свивается в компактный по размерам узел (рис. 173б, в, д), чтобы он поместился в ёмкости с водой. Однако, в ряде случаев бывает желательна протяжённая конструкция (рис. 173г).

ТЭНы для нагрева воздуха (а также камней) герметичного крепления обычно не требуют (рис. 174). Даже в случае каменок для саун предусматривается лишь защита от потоков воды сверху вниз. В ряде моделей эта защита отсутствует, поскольку предполагается, что воду льют только на горячие камни, а они, мол, воду вниз не пропускают. К сожалению, протечки воды сквозь раскалённые камни на пол являются обычным событием. Поэтому ТЭНы для каменок делают не U-образными, а широкими П-образными на всю ширину каменки с тем, чтобы в центральной зоне камней, куда льют воду, располагался горизонтальный участок (чаще всего волнистый) ТЭНа и отсутствовали бы токоподводящие контакты (рис. 174г). В связи с этим отметим, что ТЭНы, располагающиеся в возду-

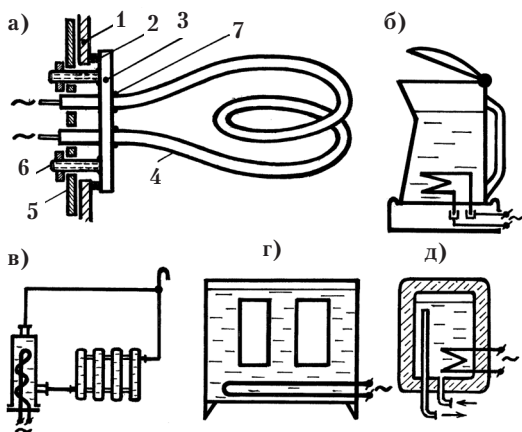


Рис. 173. Водонагревательные приборы на основе ТЭНов: а – водонагревательный ТЭН в сборе, б – электрочайник (водонагреватель накопительный), в – проточный водонагреватель, г – накопительный (беспроточный) водонагреватель, водогрейный бак (или масляный воздухонагреватель), д – проточно-накопительный водонагреватель. 1 – стенка ёмкости с водой, имеющая отверстие для крепления ТЭНа, 2 – герметизирующая прокладка (резиновая, пластиковая, паронитовая и т. п.), 3 – фланец ТЭНа, 4 – трубка ТЭНа, согнутая

в спираль, 5 – прижимная (упорная) шайба, 6 – болтовое крепление ТЭНа, 7 – герметичное крепление трубки с фланцем с помощью сварки или пайки.

хе (правая часть рисунка 174в), постоянно находятся примерно в одних и тех же условиях теплоотдачи, а ТЭНы, располагающиеся в глубине засыпки камней (левая часть рис. 174в), претерпевают сильные изменения теплоотдачи. Действительно, в начальный период после включения каменки холодные камни отбирают тепло с поверхности ТЭНа более интенсивно, чем холодный воздух. В заключительные же периоды прогрева каменки горячие камни уже не в состоянии отобрать тепло с поверхности ТЭНа, поэтому последний перегревается. Ситуация, в общем-то, аналогична той, которая имеет место в топке кирпичной дровяной печи, когда раскалённые стенки печи уже не могут поглощать тепло от огня. Поэтому ТЭНы для каменок (а также для теплоаккумулирующих воздухонагревателей) должны иметь повышенную термостойкость или автоматически отключаться (регулироваться) при перегреве. Особенно опасны местные перегревы, которые не могут контролироваться обычной автоматикой с единым температурным датчиком. Поэтому предприятия-изготовители электрокаменок обращают внимание покупателей на недопустимость размещения в местах сгибов трубок ТЭНов скоплений мелких камней, которые в засыпке имеют пониженную теплопроводность (см. раздел 5.5), не могут отвести тепло от поверхности ТЭНа (точно так же, как и песок), вследствие чего являются причиной местного перегрева трубки ТЭНа. Электрокаменки для домашних саун имеют номинальную мощность (3–12) кВт, для общественных саун («профи») – (12–30) кВт.

ТЭНы для инфракрасного нагрева в быту всегда пользовались дурной славой у населения из-за высокой пожароопасности: температура поверхности ТЭНов свыше 500°С могла вызвать воспламенение бумаги, древесины, тканей. Тем не менее из-за очень низких цен инфракрасные обогреватели пользовались успехом. Наиболее известными у нас в быту были переносные спиральные лучистые нагреватели (электрокамины), а также ТЭНовые инфракрасные обогреватели по конструкции похожие на электрокалориферы (рис. 174а), только имеющие защитное металлическое сетчатое ограждение. Воздухонагревательные ТЭНы для них мощностью 2 кВт производятся и продаются поныне по очень низкой цене. В промышленности требовались высокотемпературные инфракрасные излучатели большой единичной мощности (10–100) кВт для потолочных систем лучистого обогрева производственных цехов, для сушки листовых материалов, для высокотемпературной полимеризации лакокрасочных покрытий, в частности, автоэмалей и т. п. Поэтому жаростойкие стальные трубки ТЭНов стали дополнительно защищаться сверху от окисления напылёнными или химически осаждёнными слоями окисной, карбидной или нитридной керамики. Кстати, наличие керамического покрытия на поверхности ТЭНов удачно (по мнению продавцов) обыгрывается коммерческой

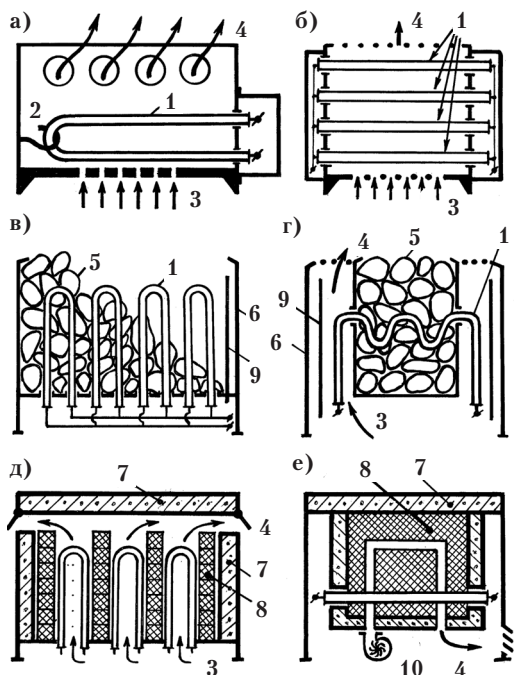


Рис. 174. Воздухонагреватели на основе ТЭНов: а,б – Электроконвекторы, в,г – банные электропечи-каменки, д,е – теплоаккумулирующие воздухонагреватели. 1 – ТЭН, 2 – крючок для подвеса (крепления) ТЭНа, 3 – подвод холодного воздуха, 4 – вывод горячего воздуха через отверстия (перфорации) в корпусе, 5 – камни, 6 – корпус каменки (в том числе экранированный), 7 – термостойкая теплоизоляция (базальтовая вата, перлит), 8 – теплоёмкий сердечник, теплоаккумулирующие термостойкие массивные блоки (например, магнезитовые) или обычные керамические кирпичи нагреваемые до 600–650°С, 9 – экран, 10 – вентилятор.

рекламой: мол, засыпка порошка периклаза внутри ТЭНов «вырезает» из излучения электрической спирали узкий спектральный диапазон, затем слой инкаллой и поверхностной керамики «вырезают» из этого узкого диапазона ещё более узкие спектральные диапазоны, в результате чего получают излучение с длиной волны, например, строго 10 мкм, являющейся «резонансной» для человеческого организма, вследствие чего инфракрасные «сауны» и кабины являются (по мнению «физиотерапевтов и передовых врачей») столь полезными для здоровья. В действительности же, в этих «научных» рассуждениях всё является неправдой от начала до конца: материалы ТЭНов никаких спектральных областей прозрачности не имеют, свойств «резонансности» организм не имеет, полезность инфракрасных кабин в серьёзной медицине не установлена.

Применение металлов и их сплавов в высокотемпературных ТЭНах не оправдано, поэтому до сих пор живы и даже развиваются ТЭНЫ с термостойкими диэлектрическими трубками (рис. 175). Прежде всего, это наиболее древние решения из электротехнических сортов фарфора (щелочных алюмосиликатов), шамота, непрозрачного кварца. Такие ТЭНЫ по-прежнему широко применяются в промышленных печах производственного назначения (рис. 175а). Во-вторых, это электроосветительные

приборы, которые являются оптическими и неминуемо содержат инфракрасную (тепловую) составляющую спектра излучения. Усугубляя недостатки осветительных приборов путём уменьшения доли светоотдачи в видимом диапазоне (в том числе снижением температуры излучателя) можно обеспечить нужные характеристики излучения инфракрасного диапазона.

Осветительные приборы подразделяются на лампы накаливания (рис. 175б), газоразрядные лампы (рис. 175в) и излучающие штифты-керамические стержни (рис. 175г). Лампы накаливания представляют собой нить (тонкую проволочку) из металла, разогреваемую протекающим током до высоких температур (выше 1200°C), когда свечение нити становится видимым (теряет красные и жёлтые цвета и становится белым). Для предотвращения окисления нить накаливания обычно скручивают в спираль, помещают в колбу из стекла, либо вакуумируемую, либо заполненную инертной газовой средой (обычно 86% аргона и 14% азота или 86% криптона и 14% азота). Бытовые лампы накаливания обычно выполняются с круглым (грушевидным) баллоном (колбой) с односторонним токоподводом в виде резьбового цоколя диаметром 14, 27 или 40 мм. В настоящее время нити ламп накаливания изготавливают из вольфрама, причём короткие (компактные) спирали приходится изготавливать из очень тонкой проволоки. Температура плавления вольфрама очень высока 3380°C , но реализовать такую температуру даже в инертной газовой среде не удаётся. Так, в вакууме уже при 2200°C вольфрам быстро испаряется, и поверхность колбы чернеет. В среде криптона с азотом температуру вольфрамовой нити можно поднять до 2400°C , но всё равно через год эксплуатации колба темнеет, а нить утоньшается и перегорает. Наиболее совершенной конструкцией является галогеновая лампа накаливания. Это в общем-то самая обычная вольфрамовая лампочка, внутри колбы которой помещают небольшое количество кристаллического йода (который относится к химическому классу галогенов-галоидов). Напомним во избежание недоразумений, что бытовой медицинский «йод» является 5%-ым раствором йода в этиловом (пищевом) спирте, а элемент йод является кристаллическим порошком тёмно-фиолетового цвета с температурой плавления 114°C и кипения 186°C (при давлении в 1 атм). При нагреве лампы пары йода соприкасаются с вольфрамом, осаждаемым на стенках лампы, и образуется летучий йодистый вольфрам. Это соединение в виде пара образуется уже при сравнительно низких температурах $100\text{--}200^{\circ}\text{C}$, но при температурах выше 2000°C , попадая в зону раскалённой нити, йодид вольфрама разлагается на йод и вольфрам. Последний осаждается на нить, а йод в виде газа (пара) перемещается к стенкам колбы и вновь вступает в реакцию с вольфрамовым налётом на колбе. Поэто-

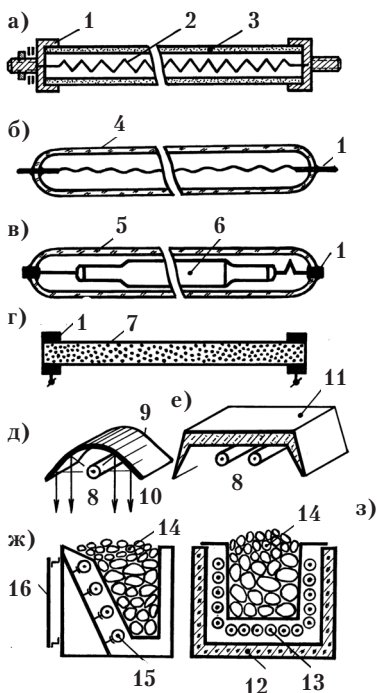


Рис. 175. Инфракрасные ТЭНы и лампы: а – ТЭН с нихромовой нитью накаливания и керамической неэлектропроводной трубкой, б – лампа накаливания с цилиндрическим трубчатым баллоном, в – линейная газоразрядная металлогалогеновая лампа, г – керамический электропроводный штифт, д – потолочный рефлектор (отражатель), е – потолочная теплоизлучающая кассета (панель), ж – электропечь-каменка с кварцевыми ТЭНами (ООО «Электропечь»), з – электропечь-каменка муфельная с керамическими (фарфоровыми) ТЭНами. 1 – клеммы (контактный узел болтовой, штырьковый, резьбовой патронный и т. п.), 2 – спираль из нихромовой проволоки, 3 – керамическая диэлектрическая прямая трубка (или изделие сложной формы) из шамота, фарфора, кварца и т. п., 4 – колба (баллон) из оптического плавленого кварца (кварцевого стекла), 5 – стеклянная трубка с люминофором, 6 – кварцевая газоразрядная лампа (ампула, трубка), 7 – стержень (штифт) из токопроводящей керамики, 8 – трубчатый инфракрасный источник, 9 – параболический отражатель из полированного или никелированного металла, в частности из анодированного зеркального алюминия, 10 –

ход лучей в отражателе, преобразующихся в направленный луч (пучок) света, 11 – теплоизолирующая кассета, препятствующая уходу тепла вверх в потолок и ограничивающая распространение инфракрасных лучей в стороны и вверх, 12 – термостойкая теплоизоляция (песок, перлит, базальтовая вата), 13 – ТЭНы с нихромовой нитью и керамическими неэлектропроводными трубками, 14 – каменная засыпка, 15 – ТЭНы с кварцевыми трубками, 16 – экран, задерживающий инфракрасное излучение от раскалённого корпуса печи.

му нить в процессе работы лампы практически не утоньшается, а стенки колбы остаются чистыми. Это позволяет существенно поднять температуру нити до 2800°C и значительно повысить световую отдачу. На практике это даёт возможность кардинально уменьшить размеры ламп и выполнять их в миниатюрном исполнении (например, для фар автомобилей или точечной подсветки в жилых помещениях). Всё это может быть использовано и в теплотехнических целях. Несмотря на то, что лампы накаливания испускают интенсивный белый свет, максимум излучения приходится на А-инфракрасный диапазон ($0,95\text{ мкм}$ при 2800°C), причём три четверти светового потока испускается в спектральной области более $0,95\text{ мкм}$. Все знают, как жарко светят театральные и телевизионные «юпитеры» (так назывались первые киносъёмочные модели осветительных прожекторов).

Инфракрасные лампы накаливания для тепловых воздействий имеют удлиненную (линейную) цилиндрическую колбу (рис. 175б) и помещаются в фокус рефлектора из зеркального анодированного алюминия (рис. 175д). Колбы предпочтительно изготавливать из плавленного оптического кварца (чистой окиси кремния, имеющей температуру плавления порядка 1700°С), обеспечивающего прозрачность колбы для длинных волн излучения до 4 мкм (рис. 176). В качестве нити накаливания в последние годы стали использовать вместо вольфрама углеродную (карбоновую) нить, промышленный выпуск которой налажен уже в нескольких странах для производства особо прочных термостойких композитных материалов (температура эксплуатации углерода до 3600°С). Вместе с тем, для дешёвых бытовых излучателей может использоваться и нихромовая проволока, способная нагреваться до 1000–1100°С и давать жёлтое свечение с максимумом излучения на длине волны около 2 мкм. В качестве электропроводника можно использовать и ионизированный газ-плазму, возникающую при электрическом пробое газа в колбе. Пробой и последующий газовый разряд легко осуществляется при пониженных давлениях газа порядка 0,1–1 мм рт. ст. Простейшие газоразрядные лампы низкого давления известны как «неоновые» рекламные трубки, использующиеся для оформления светящихся надписей, например, над магазинами. Заполнение колб неоном даёт красный цвет излучения, гелий в зависимости от давления даёт розовый, жёлтый и зелёный цвета, аргон, ксенон и криптон дают различные оттенки голубого цвета. Но это только при протекании через газы электрического тока: в лампах накаливания газы в колбе не светятся, поскольку для возбуждения атомов газов требуются удары энергичных электронов. Для повышения интенсивности излучения в инертные газы добавляют ртуть, дающую мощные ультрафиолетовые лучи. Для перевода ультрафиолетовых лучей в видимые лучи используют слой люминофора, наносимый на внутреннюю стенку колбы. Такие осветительные газоразрядные ртутные лампы называются люминесцентными (в быту – лампами дневного света) и выпускаются номиналом от 6 до 150 Вт (и не более даже в случае большой длины колбы 1 метр и более). Теплового излучения люминесцентные лампы не дают, что и обуславливает их высокий КПД по видимому излучению.

Более мощные ртутные газоразрядные лампы, пригодные для освещения улиц, основаны не на слабомощном тлеющем разряде низкого давления, а на мощном дуговом разряде высокого давления. Разряд возбуждается в герметичной кварцевой ампуле при низком давлении газа, затем из-за нагрева газа и испарения ртути давление в ампуле возрастает, и разряд из тлеющего переходит в дуговой режим. Кварцевая газоразрядная ампула помещается в стеклянную вакуумируемую колбу с внутренним

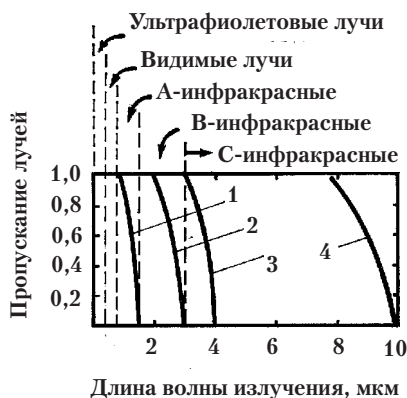


Рис. 176. Спектральная прозрачность слоёв воды (1), оконного стекла натриевого (2), кварца плавленного оптического (3) и флюорита – фторида кальция CaF₂ (4).

слоем люминофора. Такие лампы марки ДРЛ с круглой колбой и резьбовым цоколем выпускаются номиналом от 50 до 2000 Вт. Разновидностью таких ламп являются металлогалогенные лампы ДРИ, которые конструктивно мало отличаются от ДРЛ, но содержат в ампуле кроме ртути галогенные излучающие добавки (галоидные соли металлов, например, йодистый натрий). Такие лампы ДРИ имеют большую номинальную мощность от 250 до 3500 Вт и обладают значительной долей инфракрасного излучения. В развитие этих разработок шведская фирма «Фрико» выпускает мощные инфракрасные обогреватели IRCF для нагрева наружных площадок, содержащие линейные металлогалогенные газоразрядные лампы единичной мощностью 1500 Вт и длиной 35 см (рис. 175в). Отметим, что в последние годы появились лампы ДРВ, не требующие для своего подключения дроссельно-конденсаторной группы.

5.8.3. Теплопроводящая керамика

Очень перспективными инфракрасными источниками являются керамические теплопроводящие элементы (в том числе стержневые штифты), имеющие чрезвычайно большой ресурс работы при большой светотдаче. Эти достоинства обуславливаются тем, что керамика состоит из частиц окислов или из частиц, покрытых окисью, обладающих высокой термостойкостью из-за невозможности окисления кислородом воздуха.

Технология производства керамических изделий включает стадию изготовления искусственных или добычи натуральных (природных) исходных порошков, их размол и отсева, стадию формирования изделия (мокрым способом замачивания и лепки, влажным способом с трамбовкой-«битьём», сухим способом с уплотнением под прессом) и стадию обжига-спекания. В основе технологии лежит свойство мелких порошков спекаться (сцепливаться) при температурах ниже температуры плавления за счёт «диффузионной сварки». Так, при температуре плавления природных глин 1100–1400°C спекание в кирпич происходит при

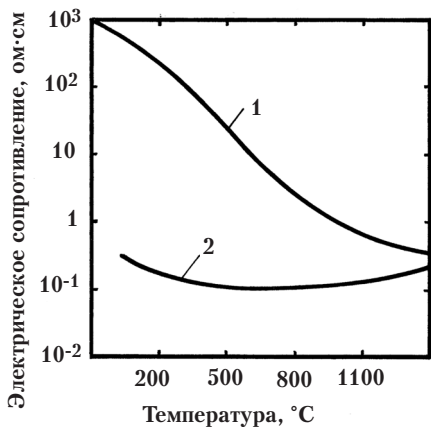


Рис. 177. Температурная зависимость электрического сопротивления различных видов карбида кремния: 1 — чёрного, 2 — зелёного.

700– 1000°С. Технология керамики развивается по многим направлениям: строительным (кирпич, черепица, дренажные трубы, плитки для фасадов, полов, санитарная техника и т. п.), хозяйственно-бытовым (посуда, художественно-декоративные изделия и т. п.), техническим (электротехника, оптика, магниты, проводники и сверхпроводники, подшипники и сложные фигурные детали в машиностроении, химические аппараты, радиоферриты и т. п.), огнеупорным др. В качестве материала используют многочисленные окислы, карбиды, нитриды, силициды и т. п., а также порошки углерода и металлов (порошковая металлургия, керметы).

Электропроводная керамика, пригодная для изготовления электронагревателей, использует порошки карбидов, силицидов, боридов, углерода. Так, наиболее известные в промышленных печах карбидокремниевые электрические нагреватели (КЭНы) обычно представляют собой трубку или сплошной стержень из прессованного и обожжённого порошка карбида кремния (так называемого, зелёного). Средняя часть стержня имеет более высокое сопротивление, чем вводные концы (рис. 175г). Это достигается пропиткой выводных концов металлом и/или заполнением концов трубок электропроводящим составом и/или надевают на трубку и припекают манжеты из более электропроводящего материала. Основной сложностью использования многих керамик является необходимость предварительного подогрева, так как проводимость многих порошков появляется лишь при высоких температурах (рис. 177). Поэтому керамику приходится легировать электропроводящими добавками, пропитывать металлами, а для повышения термостойкости снижать пористость и покрывать диэлектрическими окислами, например, двуокисью кремния. Максимальная рабочая температура на поверхности КЭНов в воздушной среде составляет 1450°С, при защите поверхности окислами — до 1600°С.

В последние годы усиленно развивается керамика на основе двуокиси (диоксида) циркония (бадделейта). Особенностью диоксида циркония является высокая температура плавления 2700°С и высокая электриче-

ская проводимость, особенно при повышенных температурах. Наибольшая проводимость $4 \text{ (ом}\cdot\text{см)}^{-1}$ (отвечающая удельному электрическому сопротивлению $0,25 \text{ ом}\cdot\text{см}$) достигнута на керамике из диоксида циркония, стабилизированной оксидами скандия, иттрия, иттербия. Высокотемпературные электронагреватели сопротивления на основе такой керамики способны работать на воздухе до температуры 2200°C (см.: Химическая технология керамики, под ред. И.Я. Гузмана, М.: Стройматериалы, 2003 г.).

5.8.4. Электронагревательные кабели

ТЭНы могут мыслиться и с пластмассовой электроизоляцией. Такие ТЭНы называются нагревательными (греющими резистивными) кабелями и работают при температурах $65\text{--}130^\circ\text{C}$ в обычных исполнениях и до 350°C в особых термостойких моделях в зависимости от свойств применяемой полимерной изоляции (рис. 178).

Простейший нагревательный кабель (рис. 178а) состоит из центральной нагревательной жилы 4 из нихрома (или из особо тонкой стали или меди), выполненной в виде проволоки или ленты (полосы), из электроизоляционного слоя 3 из пластмассы (полиэтилена, полипропилена, фторполимера, силикона и т. п.), из оплётки из медной проволоки (но иногда её нет) для механической (обрыв) и электрической (заземляющей, экранирующей) защиты 2 и из наружной оболочки из ПВХ-пластика, полиэтилена, каучука, силикона, фторполимера. Кабели обычно выпускаются кусками мерной длины под заданную мощность, причём концы нагревательной жилы монолитно соединены с помощью встроенной соединительной муфты с «холодными концами» из медного экранированного провода для подключения к электросети здания.

Более сложные кабели содержат две жилы, из них одна является нагревательной 4 (нихромовой или тонкой из иного металла), а другая 5 может быть и ненагревательной, то есть, например, толстой медной (рис. 178б). Такой кабель может подключаться к электросети с одного конца (рис. 178д) при условии замыкания проводников 4 и 5 с другого конца. Кроме того, такой кабель имеет особо низкий уровень электромагнитного излучения (в 300 раз ниже предельно допустимой нормы) и предназначен для обогрева помещений (особо тесных) с постоянным пребыванием людей. Вместе с тем, такой кабель не удобен тем, что при фиксированном напряжении обязан иметь строго мерную длину. Это обусловлено тем, что тепловыделение на одном погонном метре кабеля обратно пропорционально квадрату длины кабеля и должно быть меньше установленной номинальной удельной мощности, которая может

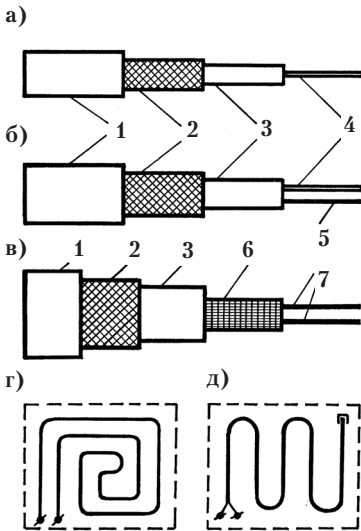


Рис. 178. Электронагревательные кабели: а – одножильный экранированный, б – двухжильный экранированный, в – двухжильный экранированный кабель саморегулирующийся с токопроводящей металлопластиковой матрицей, г – план монтажа одножильного кабеля, д – план монтажа двухжильных кабелей. 1 – наружная оболочка из пластика или полиэтилена, 2 – экранирующая оплётка из медной проволоки, 3 – изоляция из пластика, 4 – нагревательная жила из нихрома, 5 – вспомогательная жила из медной или нихромовой проволоки, 6 – полупроводящая (резистивная) матрица (тепловыделяющий слой), 7 – жилы из медной проволоки.

беля составляют (10–60) Вт/м, но специальные зональные кабели могут иметь мощность до 150 Вт/м и даже больше.

Наиболее удобными при монтаже и эксплуатации являются саморегулирующиеся нагревательные кабели с токопроводной полимерной сердцевинной-матрицей (рис. 178в). В этом кабеле слой специальной пластмассы 6 (матрица) между медными жилами 7 является токопроводным, причём с повышением температуры сопротивление пластмассы растёт, и тепловыделение автоматически уменьшается. В результате кабель в исправном состоянии перегреться и «перегореть» практически не может. Для монтажа может быть отрезан кусок кабеля любой длины, причём один погонный метр выдаёт вполне определённое количество тепла в единицу времени (обычно 17–32 Вт/м) вне зависимости от длины кабеля (при постоянстве приложенного напряжения).

Электронагревательные кабели являются очень маломощными источниками тепла. Поэтому в подавляющем числе случаев они используются как вспомогательное средство для подогрева полов, стен, сидений в тёплых помещениях. Для подсушки деревянных полов кабель укладывают из расчёта удельной мощности тепловыделения в полу 10–18 Вт/м², на балконах 180–210 Вт/м². Если отопление помещения целиком базируется на применении электрического кабеля, то удельная мощность принимается на уровне 200 Вт/м².

Применительно к баням электрокабельный нагрев развивается в России благодаря разработкам В.А.Маслова в области «новорусских

быть отведена через полимерные слои кабеля без их разрушения (расплавления). Обычно удельные мощности ка-

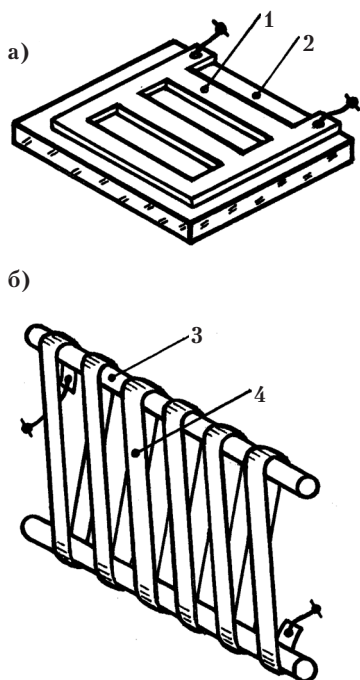


Рис. 179. Тонкоплёночные и ленточные электроннагреватели: а – тонки плёнки на стеклянной или пластмассовой подложке, б – лента из нихрома или нержавеющей стали. 1 – рисунок из напылённых или осаждённых слоёв металла, 2 – диэлектрическая подложка, 3 – фарфоровые стержневые изоляторы, 4 – тонкая металлическая лента.

бань» в керамическом исполнении с температурой полов 30-40⁰С, лежаков 40⁰С и стен 50-60⁰С, которые могут с успехом монтироваться в городских квартирах.

5.8.5. Тонкоплёночные и ленточные электроннагреватели

Мощность, выделяющаяся в тепловыделяющем проводнике при протекании по нему тока, равна u^2/R (где R – сопротивление проводника), а мощность отвода тепла пропорциональна площади поверхности проводника. Поэтому круглые

проводники (проволока) являются самыми неудачными видами тепловыделяющих элементов. Наибольшую эффективность имеют тонкие плёнки и ленты (полосы), сочетающие малое поперечное сечение проводника и большую поверхность теплоотдачи.

Тонкие токопроводящие плёнки наносятся на диэлектрические подложки (стеклянные, керамические, пластмассовые) методами металлизации благородными металлами (золото, серебро, платина), тугоплавкими (вольфрам, молибден, тантал, хром), сплавами на основе железа. Толщина металлических плёнок изменяется от долей микрона до сотен микрон. Применяются и керамические токопроводные покрытия, лакокрасочные, металлополимерные и др. В быту тонкие плёнки используются уже достаточно широко: это и тонкоплёночные настенные обогреватели на основе стеклопластика типа «доброе тепло» и нагревательные полоски на задних стёклах автомобилей, и незапотевающие зеркала в ванных комнатах. Теплопроводящие плёнки могут оформляться в виде декоративных мелких сеток или узоров на стекле, и даже само листовое стекло с добавками окиси олова может изготавливаться целиком токопроводным и теп-

ловыделяющим (рис. 179а). Плёночные электронагреватели, как правило, маломощны (не более сотен ватт на 1 м² площади).

Ленточные электронагреватели изготавливаются из тонких сортов нержавеющей стали и сплавов толщиной 5–30 мкм, имеют большую механическую прочность и обычно наматываются на электроизоляторы (рис. 179б). Несмотря на большую длину, сопротивление ленты, как правило, не велико (из-за большого поперечного сечения), поэтому мощность ленточных электронагревателей велика и достигает десятков киловатт. Ленточные электронагреватели не могут эксплуатироваться в высокотемпературном состоянии, поскольку обвисают при нагреве из-за термического удлинения, хотя и используются для нагрева каменок.

5.8.6. Низкотемпературные нагреватели

В последние годы резко повысился интерес к низкотемпературным электронагревателям, в частности, из-за того, что нагретые до температур не более 200–300°C элементы пожаробезопасны и «не выжигают кислород». Последний профессионально-бытовой термин неточен: кислород «выжигаться» не может никогда, это в кислороде могут «выжигаться» органические и неорганические вещества. Под «выжиганием кислорода» понимается то, что при высоких температурах пыль (взвешенная в воздухе и осевшая на нагреваемой поверхности) окисляется (сгорает, выжигается) в кислороде воздуха с возможным образованием токсичных и пахучих продуктов сгорания. Всем известны характерные «запахи утюга», «запахи духовки», «запахи раскалённого металла и т. п. Эти запахи возникают уже при температурах 150°C, а при температурах утюга 180–220°C проявляются очень отчётливо. Так что для предотвращения «выжигания кислорода» температуры должны быть не выше 100–150°C. Наиболее сложно обеспечить это требование в электронагревательных воздуходувках (фенах) типа известного советского «Ветерка». Действительно, если воздух на выходе из воздуходувки обычно не превышает 60–120°C, то электрическая спираль должна быть нагрета до 300–500°C, а порой и докрасна. При этом часть пылинок из воздуха неминуемо касается поверхности горячей спирали и сгорает. Одним из путей предотвращения «выжигания кислорода» является фильтрация приточного в фен воздуха (как в пылесосе), но при этом сохраняется возможность выжигания газообразных органических примесей, не задерживаемых механическими фильтрами, а использование противогазных поглотителей в электронагревательных воздуходувках (приточных калориферах) может мыслиться на практике только применительно к бомбоубежищам.

Всё это не значит, что спиральные и ТЭНовые воздуходувки изжили себя: они востребованы и продолжают производиться во всё больших промышленных масштабах для нагрева производственных помещений с временным пребыванием людей (складах, гаражах, шлюз-тамбурах с воздушными тепловыми завесами и т. п.). Для жилых помещений, особенно с воздушным отоплением, всё более настойчиво рекомендуются низкотемпературные нагреватели (100–150°С) потока воздуха, такие как водяные или паровые с радиаторами-теплообменниками в системах теплового притока воздуха в помещения (системах воздушного отопления). Применительно к электрическим нагревателям это значит, что тепловыделяющие проводники должны иметь не просто низкую температуру, а непременно большую площадь теплоотдачи. Это может быть обеспечено с помощью ленточных нагревательных элементов, а также керамических, в частности, циркониевых (хотя последние наиболее удачны именно в сверхвысокотемпературных режимах накаливания). Дело в том, что керамические изделия могут формоваться в весьма сложные сетчатые, решётчатые, трубчатые, сотовые и другие формы конструкций с очень развитой внешней поверхностью теплообмена. При этом короткий раскалённый элемент, скажем трубка, может быть заменена не столь раскалённой, но длинной трубкой – температура воздуха на выходе из фена при этом не изменится (не изменится и мощность воздушнонагревателя).

Аналогичная, но несколько более сложная ситуация возникает в случае низкотемпературных инфракрасных обогревателей. Здесь недостаточно сделать просто развитую (изломанную, дырчатую, мелкотрубчатую) поверхность, а как и в случае топливников дровяных печей необходимо обеспечить именно большие габариты излучающей поверхности, поскольку интенсивность излучения чёрного тела определяется не площадью его поверхности, а только геометрическими размерами (проекцией) поверхности вне зависимости от её шероховатости или изломанности (рис. 156). Поэтому низкотемпературные излучатели выполняются в виде крупногабаритных панелей-стеновых или потолочных.

Простейшей конструкцией является обычный инфракрасный обогреватель (в том числе и высокотемпературный), подвешенный под утепленным потолком так, чтобы нагретая от обогревателя потолочная поверхность вторично излучала вниз длинноволновые тепловые лучи (рис. 175е). В этом случае излучение от горячей поверхности ТЭНа (спирали, ленты) сочетается с излучением от низкотемпературной 100–150°С поверхности утепленного потолка помещения.

Если закрыть открытую инфракрасную кассету (рис. 175е) металлической крышкой 4 (рис. 180а), то тепловыделяющие элементы будут греть крышку 4, и эта крышка будет выполнять роль низкотемпературного излу-

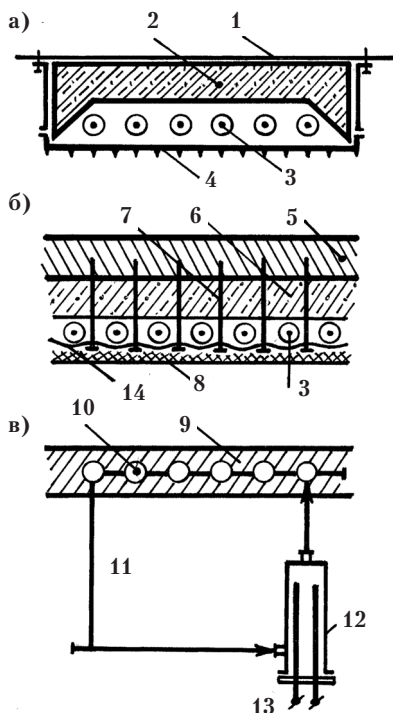


Рис. 180. Низкотемпературные инфракрасные панельные обогреватели: а – подвесная металлическая кассета, б – тёплая штукатурка, в – бетонная панель с замоноличенными греющими трубками. 1 – поверхность потолка, 2 – утеплитель в корпусе, 3 – тепловыделяющие элементы (ТЭНы, спирали, кабель, трубки с теплоносителем-водой), 4 – крышка кассеты металлическая излучающая, 5 – массив потолка, 6 – слой утеплителя, например, жёсткая плита минваты, 7 – анкерное крепление сетки, 8 – штукатурный слой (торкрет-покрытие), 9 – бетонная плита, в том числе и несущая, 10 – трубка водяного нагрева, 11 – водяной циркуляционный контур, 12 – водонагреватель пластинчатый, 13 – титановые пластины, 14 – сетка металлическая или стальная монтажная лента, удерживающая на потолке утеплитель и тепловыделяющие элементы.

чателя. Такие закрытые кассеты (рис. 180а) выполняются большой площади до 1–2 м² в красивом декоративном исполнении (например, с тиснённой или профилированной алюминиевой крышкой 4) и предназначены для подвески на потолках или на стенах. Технической задачей таких кассет является «размазывание» лучистого тепла от локального (или даже точечного) источника на большую площадь, вследствие чего их можно подвешивать на меньшей высоте без перегрева (ожога) головы и плеч. Так если открытые кассеты (рис. 175е) требуют высоты потолков не менее 3–4 метров (чтобы не вызвать перегрев головы при нахождении человека строго под кассетой), то закрытые кассеты с температурой 100–150°С могут подвешиваться в жилых помещениях на высоте 2–3 метров (с обеспечением защиты от касания), а в инфракрасных саунах реально располагаются в 0,2–0,4 м от человека.

Инфракрасные низкотемпературные панели могут изготавливаться не только в виде съёмных (подвесных) автономных блоков отдельного нагревательного прибора (рис. 180а), но и в форме части здания, например, тёплого (горячего) потолка (стены, пола) с заделкой тепловыделяющих элементов в штукатурный (навесной бетонный) слой (рис. 180б) и даже в бетонную плиту перекрытия (рис. 180в). В качестве тепловыделяющих элементов могут использоваться и электрические греющие кабе-

ли, и обычные трубки с горячей водой, применяемые при водяном отоплении зданий. Тёплые стены очень комфортны, но и дороги.

Низкотемпературные панели точно так же, как и батарей отопления, могут рассматриваться и как мягкие (длинноволновые) инфракрасные обогреватели (радиаторы), и как нагреватели воздуха свободноконвективного типа (конвекторы), поскольку любые панели имеют обе составляющие теплоотдачи. Граница раздела между радиаторами и конвекторами очень условна: обычно радиатором называют отопительный прибор, радиационная (лучистая) составляющая теплоотдачи которого составляет не менее 50% от общей теплоотдачи, а конвектором – прибор с долей радиационной составляющей не более 10% (покупные радиаторы чаще всего являются конвективно-радиационными отопительными приборами). Доля лучистой составляющей в 50% уже достаточна для полного изменения климатической обстановки в помещении за счёт подогрева стен. В случае применения низкотемпературных панелей ситуация абсолютно аналогична батареям, но более сложна (вернее, непривычна) для понимания, чем в случае локальных радиаторов водяного отопления, что вызывает определённую путаницу в популярной литературе, коммерческой рекламе и умах людей. Так, например, утверждается, что человек, окружённый в изотермической («идеальной») бане со всех сторон тёплыми панелями, якобы, находится в каком-то мистически неведомом «биорезонансе» со стенами, и к этому «родному резонансу» человек привык ещё со времён пребывания в чреве матери, поэтому, мол, длинноволновое излучение является не просто полезным, но и необходимым для жизни.

В действительности, чтобы объективно разобраться в реальной обстановке, надо просто-напросто оценить тепловой баланс человека. Если стены помещения, воздух в помещении и кожа тела человека находятся при одной и той же температуре 37°C, то это отвечает тепловому (термодинамическому) равновесию (потоков тепла нет) и тепловому комфорту человека. Этот случай реализуется в идеальном хаммаме. Если при этом внутри человека идут обменные процессы (то есть человек жив), то выделяющееся биологическое тепло (возникающее при усвоении пищи) постепенно нагревает тело. Это тепло «глубинное» (поскольку исходит изнутри тела) и порой ложно воспринимается обывателями как форма «биорезонансного тепла», истекающего от тёплых стен. Конечно, это биохимическое тепло никакой мистикой не обладает. В этом может убедиться каждый – стоит только заняться физическими упражнениями, и тотчас этого «биорезонансного тепла от стен» станет больше, и человеку станет жарко. Стоит человеку смочить свою кожу водой, тотчас этого «биорезонансного тепла от стен» станет меньше, и человеку может стать даже холодно за счёт охлаждения при испарении воды с кожи.

Приняв за базис состояние температурного равновесия с едиными (равными) температурами стен, воздуха и человека, можно проанализировать возможные последствия отклонений от этого равновесия. Температура живого человека изменяться не может, поэтому реальный интерес представляют температуры стен (потолков и полов, то есть всех окружающих ограждающих конструкций в целом) и воздуха.

Если в помещении установлен мощный локальный конвектор с горячими спиралями, то он греет воздух, а затем воздух греет стены, то есть воздух горячей стен. Такой случай реализуется в сухих циркуляционных саунах и в обычном жилом помещении, обогреваемом батареями, в чёрных банях и банях палаточных. Тепловое равновесие неразогретого раздетого человека с сухой кожей будет достигаться, например, условно при температуре воздуха 50°C и при температуре стен 25°C . При этом в организме также происходит выделение биохимического тепла, постоянно нагревающего тело.

Если в помещении нагреты стены (например, за счёт низкотемпературных панелей), и существует вентиляция (приток холодного воздуха), то стены теплее воздуха. Тепловое равновесие неразогретого раздетого человека с сухой кожей будет достигаться, например, условно при температуре воздуха 25°C и при температуре стен 50°C . Именно этот случай теплового комфорта человека в холодном воздухе с тёплыми стенами обыватели ошибочно характеризуют термином «биорезонансное тепло от стен». Специалисты называют этот способ отопления лучистым. Лучистое отопление – это когда радиационная температура (стен) выше температуры воздуха. Отметим, что в случае холодного воздуха 25°C абсолютная влажность воздуха не может превышать величины порядка $0,025 \text{ кг/м}^3$, вследствие чего человеку с мокрой кожей в таких помещениях может быть тепло лишь при температурах стен не менее 150°C (в соответствии с простейшими теплотехническими расчётами). Поэтому красивые рассуждения о «биорезонансном тепле» для бань не пригодны и могут быть использованы лишь для рекламы инфракрасных кабин, в которые человек входит с сухой кожей.

5.8.7. Водяное отопление

Водяное отопление с котлами на твёрдом топливе, газе или электричестве, крайне малодоступное рядовым садоводам, является сейчас основным видом отопления жилых домов в сельской местности и крупных дач в пригородах. Тем не менее, и в сельских банях водяное отопление практически не используется. Это обусловлено тем, что удельная мощность тепловыделения от тепловых приборов с температурой поверхно-

сти 50–90°С весьма мала. Типичная номинальная мощность теплоотдачи стандартной чугунной семисекционной «батареи» типа М-140 составляет порядка 1 кВт. По данным НИИ санитарной техники реальная теплоотдача ещё меньше: для радиаторов чугунных секционных МС-90 – 790 Вт/м², для радиаторов стальных панельных – 730 Вт/м², для радиаторов чугунных секционных М-140 – 595 Вт/м², для конвекторов с кожухом – 357 Вт/м², для ребристой чугунной трубы – 388 Вт/м² при температурах входящей воды 105°С, выходящей 70°С, воздуха в помещении 18°С. Поэтому для прогрева холодной бани с мощностью 10–20 кВт придётся поставить 20–40 батарей-радиаторов. Кроме того, горячая вода с температурой 50–90°С никак не сможет нагреть каменку с камнями даже до 100°С, не говоря о требуемых температурах 300–700°С.

Вместе с тем, если дом отапливается постоянно круглый год горячей водой или если речь идёт о богатой представительской бане типа хаммама (даже в отдельно стоящем строении за городом), то вполне естественно стремление максимально использовать этот централизованный ресурс в виде горячей воды для обогрева бани. Прежде всего речь заходит об обычной городской ванне, не требующей жарких помещений и довольствующейся лишь достаточно большим объёмом горячей воды для заполнения ванны. Для обычной ванны водяное отопление с централизованным котлом является идеальным обеспечением, поэтому-то обычные городские ванны стремительно ворвались в городской быт водоотопливаемых многоэтажных домов, а затем и в сельские жилые дома. Но чтобы из обычной ванной комнаты сделать баню, необходимо поднять температуру в ней хотя бы до 40–50°С, а это достигается прежде всего использованием низкотемпературных панелей, например, горячих водонагреваемых полов, стен и потолков как в хаммаме. Именно это решение используется уже давно в городских банях Турции: в постоянно действующих хаммамах нынче устраивают не подвальную печь, а кирпичную или чугунную печь со стальным змеевиком-котлом для нагрева воды, которая затем течёт по стальным трубам в толще каменных (кирпичных) стен, полов, лежаков (чебеков), нагревая их до требуемой температуры.

Система водяного обогрева стен зародилась в России: идея отопления с заделкой стальных труб с горячей водой в толщу стены, потолков и полов, в том числе и бетонных, а также в колонны, пилястры и даже лестницы принадлежит русскому инженеру В.А. Яхимовичу, названа им панельным отоплением и запатентована в 1907 году. В том же 1907 году английский инженер Баркер также получил патент на устройство систем отопления с плоскими нагревательными поверхностями. В России за короткий срок 1907–1911 гг. по проекту Яхимовича были созданы системы отопления свыше 20 крупных больничных, школьных и общественных

зданий с применением горячей воды. За рубежом панельное отопление распространилось лишь в конце 1920-х годов под названием лучистого отопления. В России бетонные греющие панели возродились в 1952 году в связи с переходом на индустриальные методы сооружений зданий и достигли пика распространения в массовых сборных пятиэтажках – «хрущёвках», обогреваемых именно панелями (см. А.Н. Сканави, Л.М. Махов, Отопление, М.: АСВ, 2002 г.).

К достоинствам систем панельно-лучистого отопления относится экономия жилых площадей, сокращение затрат труда на стройплощадке, расхода металла и теплоносителя, высокая санитарно-гигиеничность, выравнивание температур воздуха по высоте обогреваемых помещений. В основе технической полезности труб, замоноличеных в бетон является повышенная теплоотдача системы отопления. Бетон с высокой теплопроводностью легко забирает тепло с малой площади труб, а затем легко отдаёт тепло в малотеплопроводный воздух за счёт большой площади панели. В результате теплоотдача труб с горячей водой возрастает до 2–3 раз.

К недостаткам систем панельно-лучистого отопления относятся трудности ремонта замоноличеных греющих элементов, сложность регулирования теплоотдачи отопительных панелей как при пуско-наладке, так и при эксплуатации жильцами. Отопительные панели подразделяются на совмещенные (включённые в несущую часть здания) и подвесные (навесные, укладываемые, сменные, прикрепляемые). Поскольку в массовом строительстве применялись в основном совмещённые панели, то их смена и ремонт требовали демонтажа несущих конструкций, что снижало ресурс зданий и их надёжность. Со временем в жилых домах от совмещённых отопительных панелей отказались: тёплые полы сейчас делают только в сменном исполнении без затрагивания несущих конструкций.

Системы водяного отопления подразделяются на однотрубные и двухтрубные (рис. 181а, б). В двухтрубных по всем отапливаемым помещениям прокладывают две трубы: прямую 1 (водоподающую) и обратную 2 (водоотводящую). Каждый отопительный прибор 3 (батарея) в двухтрубной системе подсоединяется и к прямой, и к обратной трубе, так что все приборы работают при одной температуре. В однотрубной системе по всем помещениям проходит одна сквозная неразрывная труба, может быть разветвляемая (более того, практически всегда разветвляемая по отопительным приборам), но имеющая начальную точку (водоподающую) и конечную (водоотводящую), которые соответственно подсоединяются к двум патрубкам котла. При этом каждый отопительный прибор подсоединяется к трубе параллельно (к горячей воде разной температуры). Деление на однотрубные и двухтрубные системы весьма условно, поскольку речь идёт фактически о способах разветвления труб-

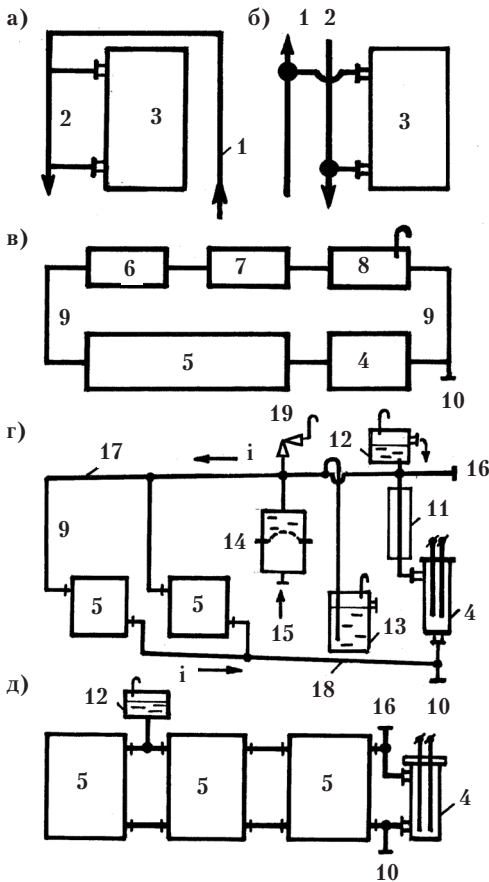


Рис. 181. Схема водяного отопления: а – однотрубная система монтажа, б – двухтрубная система монтажа, в – блок-схема циркуляционного водного контура отопления, г – монтажная схема системы отопления с естественной циркуляцией воды, д – присоединение отопительных приборов «на сцепке». 1 – прямая труба, 2 – обратная труба, 3 – отопительный прибор (радиатор, конвектор, батарея-сборка), 4 – водонагреватель (котёл), 5 – комплекс отопительных приборов, 6 – циркуляционный насос, 7 – расширительный бак, 8 – воздухоотводящее устройство, 9 – соединительные трубы, 10 – патрубок для заливки и слива воды, 11 – стояк утеплённый, 12 – расширительный бак верхний, открытый сверху, 13 – расширительный бак нижний открытый, 14 – мембранный расширительный бак, 15 – накачивание бака газом, 16 – воздухоотводный патрубок (кран, штупер), 17 – верхняя (прямая) магистраль (припотолочная), 18 – нижняя (обратная) магистраль (околопольная), 19 – предохранительный клапан для выпуска жидкости или газа при чрезмерном повышении давления в системе.

ных систем в многотрубные отопительные. Так, двухтрубная система, вообще-то говоря, также является однотрубной, поскольку прямая и обратная трубы неминуемо где-то замыкаются (по крайней мере на наиболее удалённом конце) и превращаются в единую неразрывную трубу. В одноуровневых системах (одноэтажных) понятия однотрубной и двухтрубной систем вообще совпадают (не отличаются).

Система водяного отопления является циркуляционной (замкнутой кольцевой). Водяной контур (рис. 181в) в самом общем случае содержит котёл 4 (нагреватель воды), воздухонагреватель-теплообменник 5 (батарею, радиатор, конвектор, регистр, который может быть заменён или дополнен водонагревателем-теплообменником проточно накопительным), циркуляционный насос 6, расширительный бак 7, воздухоотвод 8, соединительные трубы 9, патрубок для заливки и слива теплоносителя 10

(воды, антифриза, веретенного масла и т. п.). При наличии насоса, например, электрического, обеспечивающего принудительное течение теплоносителя по контуру, последовательность и высотность расположения узлов (4–10) безразлична, лишь бы воздухоотвод подключался к самой верхней точке контура, а патрубок слива – к самой нижней части контура (например, котельная может располагаться на крыше многоэтажного здания). Во избежание закипания теплоносителя указанная схема должна предусматривать регулировку мощности котла (или мощности отбора тепла воздухонагревателем) вручную по показанию термометра, измеряющего температуру теплоносителя на выходе из котла, или автоматическую, учитывающую и температуру теплоносителя, и температуру воздуха в помещении. Характерные значения коэффициента теплопередачи на внешней поверхности отопительных приборов составляют 11,5 Вт/м²-град для вертикальных бетонных панельных радиаторов, 10 Вт/м²-град для чугунных секционных радиаторов и 7 Вт/м²-град для конвекторов с кожухом. Таким образом и здесь номинальные коэффициенты теплопередачи близки к условно принятому ранее для оценочных расчётов бань значению коэффициента теплопередачи 10 Вт/м²-град для любых поверхностей (в том числе и тела человека). Напомним, что под батареями в быту понимают сборные секционные единицы конвекторов или радиаторов.

*Хотя циркуляционные насосы для горячей воды в контурах отопления (например, марки Грундфос) стали в дачной практике вполне привычными, всё же в подавляющем количестве домов предпочитают систему отопления (включая газовые котлы), не требующую бесперебойного электроснабжения. При отсутствии механического насоса роль движителя теплоносителя играет гравитационный перепад давления, обусловленный разностью весов водяных столбов в разных коленах водяного контура и обуславливающий естественное (непринудительное) свободно-конвективное движение жидкости за счёт всплывания более тёплых объемов воды. По аналогии с процессами естественной тяги в вентсистемах (раздел 4.1.4) и дымовых трубах (раздел 5.7.4), одно из колен системы должно быть заполнено тёплой, а потому более лёгкой водой. Роль такого колена играет так называемый «стояк» 11 (рис. 181г), вертикальная труба над котлом 4, к которой не подсоединяют никаких теплоотбирающих устройств и приборов, более того, её утепляют, чтобы вода в ней оставалась горячей до самого верха. Вторым коленом системы являются циркуляционные трубы 9 и отопительные приборы 5, которые специально охлаждаются за счёт контакта с воздухом, вследствие чего и вода в них охлаждается, сжимается и становится тяжелее. Ясно, что чем выше расположены отопительные приборы 5, тем более низкая температура воды

достигается в левом колене. Ещё лучше было бы, если приборы 5 располагались бы на верхней припотолочной трубе 17. Ранее этот случай в бытовой практике никогда не рассматривался, поскольку приборы 5 стремились расположить как можно ниже к полу, в том числе под окнами, чтобы обеспечить наибольшую интенсивность циркуляционных конвективно-отопительных движений воздуха в помещении. В соответствии с последними воззрениями зарождается концепция горячих (тёплых) потолков, обеспечивающих мягкое длинноволновое лучистое отопление помещения. Что касается котла 4, то его следует располагать как можно ниже и даже при возможности совмещать с нижней обраткой 18, которая в свою очередь может по современным представлениям выполнять роль тёплого пола.

Система водяного отопления заполняется жидким теплоносителем через патрубок с краном 10 с выпуском воздуха через патрубок с краном 16. Слив теплоносителя осуществляется через патрубок 10, для чего горизонтальные трубопроводы 17 и 18 выполняются с уклоном i не менее 0,005 (0,5 см на 1 м трубы). При нагреве системы жидкий теплоноситель расширяется, вследствие чего контур в обязательном порядке должен содержать расширительный бак одной из конструкций 12, 13 или 14. В случае воды (антифриза) чаще всего используется открытый сверху напорно-расширительный бак 12, монтируемый над всей водной системой. При нагреве 100 кг воды от 0°С до 95°С объём воды возрастает со 100 литров до 104,2 литра. Отсюда легко найти необходимый объём бака 12, причём реальный размер лучше выбрать с запасом 30–50%. Расширительный бак 13 также подсоединяется к самой высокой точке системы и располагается хоть на полу, хоть в подвале, лишь бы высота водяного столба не превышала бы 9,8 м (водяной напор 9,8 м соответствует атмосферному давлению 1 атм). Наполнение водной системы водой в случае расширительных баков 12 или 13 производится при закрытом штуцере 16.

Мембранные расширительные баки 14 имеют центральную резиновую эластичную диафрагму (перегородку), которая в состоянии растягиваться и облегать ту или иную половину бака. Перед заполнением системы водой через штуцер 15 в расширительный бак подаётся воздух от компрессора (или азот из баллона) с таким расчётом, чтобы диафрагма выгнулась вверх. Затем подают воду по штуцеру 10 до полного заполнения системы с выливом по штуцеру 16, после чего штуцер 16 закрывают. При нагреве системы вода расширяется, диафрагма расширительного бака опускается. Чтобы в системе не образовалось слишком высокое давление воды (в быту не более 1,2–1,3 атм, ну и во всяком случае не выше 1,7 атм, что соответствует избыточному давлению 0,7 ати), в системе предусматривают предохранительный клапан 19, сбрасывающий часть воды из системы.

Обычно расширительные баки производятся объёмом от 8 до 200 литров, с рабочим (максимально допустим по прочности) давлением 5 атм, с номинальным давлением внутри бака 1,5 атм, с температурным режимом от минус 10°С до плюс 110°С, стандартная окраска – красная.

При первичном нагреве системы из воды выделяются растворённые газы, в первую очередь компоненты воздуха: азот, кислород, углекислый газ и другие. Растворимость воздуха в воде достаточно велика – десятки литров газа в тонне воды (рис 182). Причём растворимость кислорода в воде примерно в два раза выше, чем азота (при одном и том же парциальном давлении). Но в воздухе содержится, грубо говоря, пятая часть кислорода и четыре пятых по объёму азота, вследствие чего парциальное давление азота в воздухе в четыре раза выше, чем парциальное давление кислорода. Несложным расчётом легко убедиться, что вследствие лучшей растворимости кислорода воздух, растворённый в воде, содержит уже не одну пятую часть кислорода по объёму, а одну треть (33% об.). Это значит, что рыба дышит в воде воздухом, обогащённым кислородом. Но и в трубах, заполненных водой, в таком случае больше кислорода, чем в воздухе атмосферы, поэтому «водяной» воздух более опасен в коррозионном отношении для стальных труб. Аналогичной оценкой можно убедиться, что «водяной» воздух содержит 1,4% об. углекислого газа (имеющего растворимость 0,88 м³/м³), а не 0,03%, как атмосферный воздух. Это соображение очень важно при анализе явлений в лёгких человека (в которых кислород и углекислый газ связываются дополнительно и гемоглобином крови).

Растворимость газов с температурой падает, но не столь существенно (рис. 182). В то же время в магистралях водного контура отопления вода теряет газы практически полностью. Дело в том, что реальное содержание газа в воде равно произведению растворимости на парциальное давление газа над водой. С ростом температуры парциальное давление воздуха над водой снижается, поскольку оно равно атмосферному за вычетом парциального давления водяных паров, а последнее быстро растёт с температурой и становится равным атмосферному $p=1$ атм при 100°С. То есть при 100°С над водой уже нет воздуха (а присутствуют только одни водяные пары), а это значит что и количество растворенного воздуха в воде магистрали (или в кастрюле с кипящей водой) становится равным нулю (пунктирная кривая 4 на рис. 182). Таким образом, надо быть готовым к тому, что из водяного контура может выйти до нескольких литров воздуха в расчёте на 100 литров воды. Этот воздух в случае расширительных баков типа 12 или 13 свободно уйдёт наружу в атмосферу. В случае же мембранного расширительного бака 14 выделившийся газ остаётся в системе и может быть удалён лишь при срабатывании предохранительного клапана 19 или стравливания через штуцер 16. Если накапливаю-

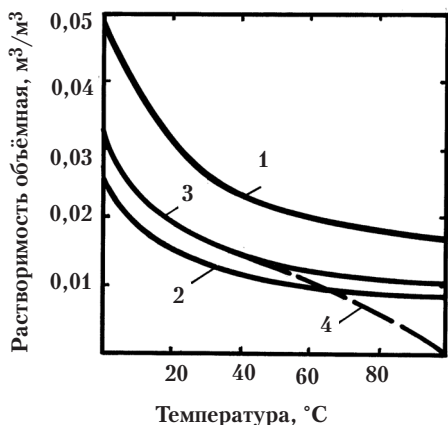


Рис. 182. Растворимость газов в воде (число объёмов газов на объём воды) в зависимости от температуры: 1 – кислорода при парциальном давлении кислорода над водой 1 атм, 2 – азота при парциальном давлении азота над водой 1 атм, 3 – воздуха при парциальном давлении воздуха над водой 1 атм, 4 – воздуха при парциальном давлении воздуха и водяных паров над водой 1 атм.

называется «воздушной пробкой». Воздушная пробка может возникнуть в той части воздушного контура, в котором не предусмотрена возможность выхода воздуха наружу. Так, например, на всём протяжении трубы 17 (рис. 182) на внутренней поверхности трубы возникают мельчайшие пузырьки воздуха, удерживаемые на шероховатостях или уносимые потоком воды. Мельчайшие пузырьки воздуха постепенно сливаются в нишах шероховатостей и укрупняются, образуя укрупнённые пузырьки размером 0,1 см³ и более, которые уже могут быстро всплывать из воды. Они как бы «катятся» вдоль «потолочной» поверхности труб, иногда объединяясь в виде прерывистой ленты «воздушного» ручья. «Катятся» они по трубе 17 вверх к расширительному баку 12 навстречу потоку воды, причём при скорости движения воды 0,6 м/сек газовые скопления на «потолке» трубы 17 могут дробиться на вторичные пузыри, которые отрываются от поверхности. При скорости движения воды 1 м/сек мелкие пузырьки постепенно распространяются по всему водяному контуру, образуя газодляную эмульсию. Таким образом, в ряде случаев вывод воздуха из системы может представить серьёзные трудности (А.Н. Сканави, Л.М. Махов, Отопление, М.: АСВ, 2002 г.).

Критическая скорость потока воды, увлекающая воздушные скопления по трубам, составляет (0,20–0,25) м/сек, а в горизонтальных (наклонных – (0,10–0,15) м/сек. Поэтому скорость движения воды в точках сбора воздуха в трубах должна быть менее 0,1 м/сек. Именно такие скорости (0,01–0,1) м/сек достигаются в водных контурах отопления при свободноконвективной конвекции при перепаде температур на входе и выходе из котла порядка 10°С (и при скоростях циркуляции воды в си-

щийся воздух заполнит верхнюю трубу 17 и выдавит из неё воду, то циркуляционное течение воды в контуре прекратится. Это явление на профессиональном уровне

стеме порядка 0,5–0,7 м³/час). Если же в водном контуре стоит циркуляционный насос, то скорости циркуляции могут достигать (0,4–0,5) м/сек при маломощных насосах мощностью до 100 Вт и (0,1–1,5) м/сек при мощностях до (200–300) Вт.

Таблица 23

Характеристики циркуляционных насосов для систем водяного отопления дачных строений

Тип	Мощность, Вт	Напор, атм	Производительность, м ³ /час	Присоединительный размер, мм
«Vortex» (Германия):				
HZ 401DN25	78	0,05–0,35	0,5–3,2	25
HZ 401DN32	78	0,05–0,35	0,5–3,2	32
HZ 601DN25	91	0,05–0,45	0,5–3,2	25
HZ 601DN32	91	0,05–0,45	0,5–3,2	32
HZ 801DN32	255	0,05–0,58	0,5–10,2	32
IA 80/180XM220B	236	0,1–0,7	4,5–8,5	32
IBPH60/280.50M220B	630	0,75	24	50
IBPH 120/280. 50T 380B	1040	1,15	30	50
«Wester» (Англия):				
WP425	78	0,05–0,42	0,5–2,5	25
WP432	78	0,05–0,42	0,5–2,5	32
WP625	91	0,05–0,52	0,5–2,7	25
WP632	91	0,05–0,52	0,5–2,7	32
WP732	160	0,05–0,52	0,5–8,0	32
«Calpeda» (Италия):				
NC 25–40	50	0,02–0,34	0,5–3,0	25
NC32–40	50	0,02–0,34	0,5–3,0	32
NC25–55	81	0,02–0,55	0,5–3,0	25
NC32–55	81	0,02–0,55	0,5–3,0	32
NR50A	250	0,23–0,56	2–12	50
NR50D/2	450	0,6–1,1	6–13,2	50
NR50C/2	750	0,55–1,6	6–18,9	50
NR65A	370	0,27–0,56	6–20	65
Grundfos (Германия):				
TR,TPD,CLM	0,25–45	0,2–6,0	2–600	разные

Таким образом, в месте подсоединения расширительного бака труба должна иметь расширение для сбора воздуха. В то же время в других местах возможных «воздушных пробок» скорость водного потока должна

быть максимально высокой. «Воздушные пробки» могут «рассасываться» не только при высоких скоростях потока (при водных толчках, ударах). Если, например, одна из батарей 5 на рисунке 181е греется плохо, но всё же греется (пропускает воду), то воздух (включая аргон с растворимостью $0,038 \text{ м}^3/\text{м}^3$) в «воздушной пробке» может постепенно раствориться в воде, после чего этот растворённый воздух выделится из воды при её нагреве в котле и уйдёт с пузырями в расширительный бак 12.

В садовых домиках и дачных банях (душевых) используются упрощённые водные системы, например, батареи на «прямой сцепке» (рис. 181д). Такие системы особенно страдают от «воздушных пробок», и, несмотря на очень малую металлоёмкость, неудобны тем, что невозможно провести ремонт батарей без остановки всей системы.

При нагреве системы отопления теплофизические свойства воды (теплоёмкость и теплопроводность) изменяются слабо (рис. 183). В то же время вязкость воды изменяется при нагреве очень сильно (рис. 85). Это значит, что все трубы с более холодной водой (обратной) должны изготавливаться с максимально возможным проходным сечением. Кроме того, коэффициент термического расширения воды (равный наклону зависимости плотности воды от температуры на рис. 85) растёт с температурой. Поэтому для обеспечения интенсивной циркуляции в условиях естественной (свободной) конвекции желательна работа системы с максимально возможной температурой, то есть пользоваться минимальным количеством отопительных приборов (выключая излишние кранами), а ещё лучше, не выключая параллельных цепей батарей, прикрывать их поверхность при необходимости тёплыми матами (утепляющими чехлами) с целью уменьшения теплоотдачи и повышения температуры воды в системе.

В случае применения принудительной (механической) циркуляции воды в отопительной системе с помощью насосов гидравлическое сопротивление водяного контура определяется уже не столько вязкостью воды, сколько местными гидродинамическими сопротивлениями при заужениях, расширениях и поворотах водного потока из-за возникающих турбулентностях (по аналогии со случаем воздушных течений, рассмотренным в разделе 5.7.4). Отметим, что число Рейнольдса для воды равно $Re=10^6 V/a$, где V (м/сек) – скорость движения воды в трубе, a (м) – поперечный размер (диаметр) трубы. Число Рейнольдса 2200, соответствующее переходу в турбулентное течение, достигается в дюймовой трубе при $V=0,1$ м/сек, при этом в трубах может появиться гул.

В заключение отметим, электродкотлы являются самым безопасным способом отопления и, несмотря на материалоемкость и трудоёмкость монтажа отопительных приборов, наиболее перспективны для встроен-

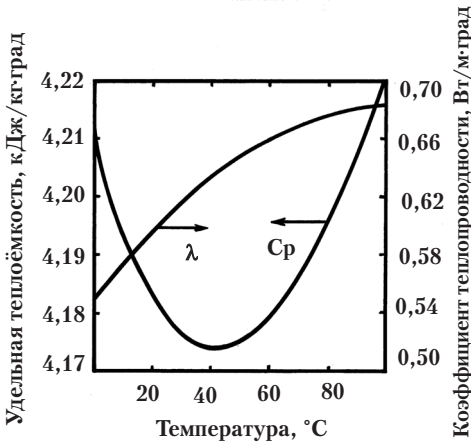


Рис. 183. Температурные зависимости теплоёмкости C_p и теплопроводности λ жидкой (компактной) воды.

ных бань (наряду с электрокабельным обогревом). Электрокотлы выпускаются двух разных типов: на основе погружённых ТЭНов (рис. 173В) или на основе электродов, пропускающих электрический ток непосредственно через воду как через проводник с умеренно высокой электропроводностью. Электродные котлы преимущественно применяются для нагрева воды пищевого или хозяйственного назначения и пригодны для воды любой электропроводности. Электродные котлы применяют преимущественно для нагрева воды в замкнутых контурах (например, отопления), где вода поддерживается в условно стабильном интервале свойств по электропроводности. Поскольку дистиллированная (деионизованная) вода является диэлектриком и электрического тока не пропускает, то вода для электродных котлов должна содержать в небольшом количестве электролиты, в частности, соли металлов (например, хлористые и сернокислые соли натрия, магния, кальция). Обычная водопроводная (речная), а тем более глубоководная колодезная вода свойства электропроводности сохраняет даже в кипячёном состоянии. В качестве погружных электродов обычно используют титановые пластины (ленты, полосы листового титана, давно уже не являющегося остродефицитным), не загрязняющие воду вредными примесями. Так, широко распространённые в советском быту в 1960–1980 гг. устройства для получения «живой и мёртвой» воды в лечебных целях как раз и использовали принцип протекания электрического тока через питьевую воду, причём именно с использованием титановых электродов.

5.8.8. Проблемы выбора

Осмысленный подбор банного электроотопительного оборудования обычно бывает намного сложнее, чем выбор банных печей на твёрдом топливе. Это обусловлено, прежде всего тем, что электрическое оборудование для бань воспринимается в народе порой чересчур прогрессивным индустриальным решением, убивающим исконную прелесть традиций.

Действительно, любительские или представительские русские бани «без живого огня и запаха дыма» немислимы точно также, как немислимо скрыть сущностную скудость идеи сухой потельной электросушны переводом её на дровяное отопление. Во всяком случае, русский мужик никогда не отождествлял баню с просто потением голым у огня. Тем не менее, до сих пор ни в одной из стран не выпускаются электропечи, полностью имитирующие банные печи на дровах в части одновременно нагрева и воздуха, и воды, и камней. Чтобы собрать некое подобие русской белой бани придётся приобрести целый комплект отдельных узлов, включая теплоаккумулирующую электропечь-каменку (типа термоса), воздухонагреватель и прочно-накопительный водонагреватель, а это уже весьма сложно для рядового дачника.

Простейшим и логически последовательным шагом освоения электрической энергии в банях является перевод обычных дровяных кирпичных печей-каменок на электричество. Для этого в топку печи с перекрытой трубой через реконструированную загрузочную дверку можно ввести набор высокотемпературных инфракрасных ТЭНов, закреплённых на общей сборке так, чтобы клеммные подводы располагались вне топливника печи. Наиболее удобно это сделать в том случае, если кирпичная (или металлическая дровяная) печь имеет топочную дверку в сухой раздевалке, а каменку в бане (парилке). Как и в случае горения углей основным механизмом теплопередачи от ТЭНа к стенкам топки является лучистый. Поэтому необходимо располагать ТЭНы вдоль стенок топки, можно не касаясь их. При обычном размере топки $0,25 \times 0,5 \times 0,5$ м и толщине кирпичных стенок $0,12$ м (полкирпича) система ТЭНов с номинальной мощностью $3,5$ кВт по расчёту нагревает топливник до температуры внутри 300°C и снаружи 80°C за 5 часов. После этого переключением ТЭНов с параллельного включения на последовательный можно снизить мощность до $1,75$ кВт и поддерживать печь в таком состоянии до прогрева камней, воды и воздуха в бане. Процесс прогрева бани долгий, но не хлопотный: включить ТЭНы можно и за сутки до принятия банной процедуры. Энергозатраты составляют 50 кВт·час, что вполне приемлемо в стоимостном отношении. Ясно, что мыться в бане с такой электропечью можно только после приличных поддач, причём ожидать экстремальности от пара не приходится. Так что для любительских целей такой метод электронагрева не подходит. В то же время для современных мытейных и физиотерапевтических бань электроотопление является наиболее достойным и разумным выбором. Всё это означает, что прогрессивный переход от дровяного отопления к электрическому должен сопровождаться и более критичным осознанием конкретных назначений бань и более современным конструктивным оформлением интерьера.

Наибольший перспективный интерес для дачников и садоводов представляют мытейные электробани в двух вариантах: встроенная мытейная (туалетная) баня, располагаемая непосредственно в постоянно отапливаемом доме, и автономная отдельно стоящая мытейная баня в периодически (эпизодически) отапливаемом строении. В первом случае вполне достаточны относительно маломощные и малоинерционные воздушонагреватели хотя бы типа финских электропечей для саун. Но более удобными и пожаробезопасными были бы низкотемпературные стеновые и потолочные панели в водозащищённом (или брызгопарозащищённом) исполнении, желательно водообогреваемые от собственного электродогревателя (рис. 181г) или от отдельного контура центрального отопительного агрегата дома. В экономичном варианте можно использовать потолочные инфракрасные обогреватели в сочетании с малотеплоёмкими стенами. Во втором же случае автономных бань пригодны только теплоаккумулирующие агрегаты, предусматривающие предварительный (длительный) нагрев теплоёмкой сердцевины (металл, кирпич, камень) и значительного количества воды для мытья. Причём нагреватель воды для зимних бань должен выполняться не в напорном накопительно-проточном исполнении (наиболее распространённом в быту для душей и умывальников), а в накопительном виде типа бачка-рукомойника (бойлера) со съёмной крышкой для залива воды ведром, с краном полного опорожнения и ТЭНом с заземлённым корпусом.

Проблема выбора не заканчивается анализом показателей назначения оборудования, а продолжается в части оценки показателей эффективности (экономичности) и качества (надёжности). Ориентироваться на заявления рекламы в этом вопросе крайне опрометчиво. Так, часто утверждается, что, мол, тот или иной электровоздухонагреватель имеет больший КПД нежели другие или, например, что лучистые системы обогрева обеспечивают невиданный КПД прямого преобразования электроэнергии в тепловую энергию 90% и даже выше. Однако общеизвестно, что электронагреватели любой конструкции имеют КПД, равный 100%, точно так же, как КПД преобразования электроэнергии в тепловую энергию также всегда равен 100%, поскольку даже потери в проводах в конечном счёте представляют собой нагрев. В то же время КПД нагрева дачных бань – понятие весьма неопределённое, никем пока не сформулированное. Так, энергозатраты на разогрев банной печи и самого помещения до 40°С не являются, вообще говоря, полезными затратами. Поэтому КПД банной кирпичной печи (хоть на дровах, хоть на электричестве) может быть близок к нулю, тем более зимой.

Большой интерес представляют для бань потолочные системы инфракрасного нагрева, имитирующие привычное воздействие солнечного из-

лучения, столь сильно влияющего на человека. Остановимся на двух аспектах: во-первых, на локальности нагрева, а во-вторых, на тепловых потерях здания. Локальность нагрева в принципе может обеспечить любой источник нагрева, а не только лучистый. Можно взять в руки фен и направить тёплую струю воздуха именно на лицо или на руки. Можно прижать к груди тёплую электрогрелку, а можно положить её на полку. Но будет ли это системой отопления бани? Конечно же, нет. С локальной системой обогрева человеку, может быть, и тепло, но сама баня остаётся холодной. В этом легко убедиться, выключив систему локального отопления. Так что, человек, одев, например, на себя дополнительный свитер, не может утверждать, что дом стал теплей или что свитер является наиболее эффективным и дешёвым способом нагрева помещения. Вместе с тем, локальный нагрев (точно также как и локальный отсос или приток воздуха) является эффективным дополнительным средством жизнеобеспечения, и эффективность его, прежде всего, обусловлена узкой целенаправленностью. В этом смысле КПД любого обогревательного прибора может рассчитываться не на тепловыделение вообще, а на тепловыделение строго целенаправленное, например, на нагрев рук человека или всего тела целиком, на нагрев воды в бачке или пола в конкретном месте. И этот КПД, конечно же, будет сильно отличаться от 100%, причём будет изменяться даже в зависимости от конкретного месторасположения прибора относительно человека или иного нагреваемого объекта. Для бань все эти соображения ещё более важны, чем для жилых помещений, поскольку бани накладывают большие требования к климатической зональности. Если жилые помещения (причём все помещения) желательно поддерживать примерно при одних и тех же температурах и влажностях, то в банях в одних помещениях должно быть жарко, в других – тепло, в третьих – прохладно или даже холодно. Обычно в банях климатические зоны разделяют перегородками (стенами), которые могут выполнять и иные роли (визуального или акустического разделения, например, или декоративные). Но при наличии локальных источников нагрева эти перегородки могут быть и излишними. Например, если в чёрной бане подойти к раскалённой куче камней – станет теплей, отойти – холодной. Так и в современных мытейных банях надо делать так, чтобы не было нужды переходить из помещения в помещения, а можно было бы просто включить систему локального нагрева тела, если вдруг стало прохладно. Такие системы иногда называют «душами» (завесами): тепловой душ, лучистый душ (а в некоторых официальных документах применяют термин «душирование»).

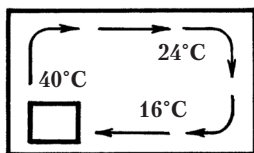
Что касается тепловых потерь отапливаемого здания в целом, то они, конечно, зависят от того, как расположены тепловые источники в зда-

нии и какой они конструкции. Так, если в помещении установлен конвектор (оребрённая труба в кожухе) или радиатор (чугунная сборная секционная батарея или стальной или алюминиевый теплообменник), то у потолка всегда теплей, чем у пола, поскольку тёплый воздух всплывает вверх (рис. 184а). При этом возникает ощущение, что повышенная температура у потолка обусловлена недостатками отопителя, а не самого помещения. А если в помещении установлен потолочный инфракрасный обогреватель, то у пола всегда теплей, чем у потолка, поскольку тепловые лучи сначала греют пол, а затем от пола уже греется воздух в помещении, причём тёплый воздух преимущественно располагается внизу (рис. 184б). Такой нагрев помещения уже можно рассматривать как достоинство именно инфракрасного обогревателя, поскольку нагревается не припотолочная область, а та зона, в которой обитает человек. Температура 24°С у пола может стать чрезмерной для человека, поэтому её можно снизить до комфортного уровня (например, до 20°С у пола) путём уменьшения мощности инфракрасного обогревателя, что приведёт в конечном счёте к экономии энергии и денежных средств на отопление помещения.

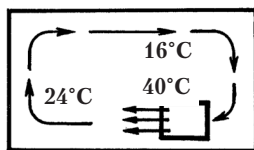
В действительности картина более сложная, особенно применительно к баням. Конвектор (рис. 184а) преимущественно греет потолок, но нагрев потолка не является столь уж бесполезным. Тёплый потолок является инфракрасным излучателем, панелью мягкого лучистого обогрева, что отчётливо ощущается в саунах. Инфракрасный обогреватель (рис. 184в) испускает тепло на пол, но в условиях бань пол не бывает настолько утеплён, чтобы нагреться до гипотетически возможных высоких температур, особенно в условиях сквозняков, вечно дующих именно по полу.

Строго говоря, анализ необходимо начинать с абстрактного случая «идеальной» изотермической бани, когда потери тепла через стены отсутствуют, и источники тепла тоже отсутствуют. Появление потерь тепла или источников тепла нарушают всю картину даже в случае стационарности, когда в целом по постоянно отапливаемому зданию ясно, что сколько тепла введено, столько и выходит наружу из здания. Дело в том, что выходит тепло из бани неравномерно: через одни участки стен больше, через другие меньше, даже если все стены, полы и потолки утеплены одинаково. Это обусловлено тем, что отопительные приборы внутри здания расположены, как правило, локально, а значит можно ожидать и локальных изменений температур стен, а отсюда и уровней теплопередач. Если бы температура конвектора (а не мощность) строго поддерживалась на одном уровне, например, 40°С, то при тщательном утеплённых и не пропускающих тепло стенах всё помещение прогрелось бы от пола до потолка до 40°С, после чего отбор тепла от конвектора

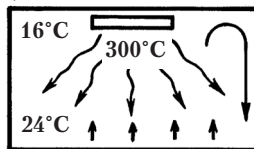
а)



б)



в)



г)

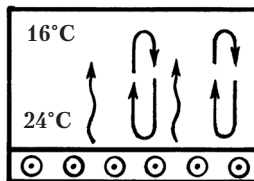


Рис. 184. Схемы обогрева помещения с различными системами отопления: а – конвектор, б – тепловентилятор (калорифер, фен), в – инфракрасный обогреватель, г – подогреваемый пол. Прямые стрелки – конвективные потоки тепла, – лучистые потоки.

прекратился бы. Но потолок, стены и пол отводят тепло и при этом охлаждаются, охлаждая вслед за собой соприкасающийся воздух. Поэтому, совершая циркуляционный оборот, воздух постепенно охлаждается сначала у потолка, например, до 24°C , затем у стен до 16°C , затем у пола и вновь поступает на нагрев в конвектор. Таким образом, основной отвод тепла из здания (однокомнатного) будет происходить через потолок. Поэтому потолок (а в банях особенно) тщательно утепляют, добиваясь тем самым прогрева пола: если потолок будет холодным, то всё внизу будет холодным. Если конвектор оснастить вентилятором (воздуходувкой), то получится электротепловентилятор (фен), который может весь воздух в бане перемешать и выровнять температуры. Более того тёплую струю можно послать вдоль пола (рис. 184б). В этом случае поток воздуха охлаждается сначала у пола, затем у стен, а потом и у потолка. Максимальные температуры при этом будут достигаться у пола, поэтому основной отвод тепла из здания будет происходить

через пол. Поэтому именно его придётся в первую очередь утеплять особо тщательным образом. Аналогичная ситуация возникает при использовании потолочных инфракрасных обогревателей (рис. 184в) и обогреваемых полов (рис. 184г).

В последние годы за рубежом и в России изучаются особенности прогрева помещений и тела человека длинноволновым инфракрасным излучением, в том числе в окне прозрачности (относительной) углекислого газа и водяных паров. Так, в частности, наряду с сомнительными соображениями о глубоком проникновении излучения 10 мкм в тело человека (В.В. Маслов, Патент на изобретение РФ № 2199981 от 9.02.2001), исследуется процесс перехода от режима беспрепятственного распространения теплового излучения в сухом воздухе бани к режиму объёмного про-

грева высоковлажного воздуха в бане за счёт поглощения теплового излучения водяными парами при повышении температуры излучателя от 50–100°С до 300–500°С. Действительно, имеющиеся экспериментальные данные (рис. 109е) свидетельствуют о реальной возможности поглощения инфракрасного излучения в банях влажным воздухом, но не более 20% лучистого тепла, испускаемого инфракрасным источником (что впрочем является не столь уж малой величиной).

В рядовых дачных банях (преимущественно летних) электрообогрев чаще всего мыслится конвекционный, в первую очередь, с использованием металлических печей типа электрических печей-каменок для саун производства Швеции, Финляндии или России. Остальные способы отопления оказываются весьма дорогостоящими и технически сложными. В качестве дополнительного средства локального обогрева наиболее удобны инфракрасные обогревательные панели. Качество изготовления, комплектации и монтажа промышленного электрообогревательного оборудования проверять сложно. При самостоятельном изготовлении данных отопительных печей следует обращать внимание в первую очередь на прочность и термостойкость ТЭНов, возможность их термического расширения, надёжность электрических контактов.

5.9. Банные парогенераторы

Под банными парогенераторами будем понимать устройства для увлажнения воздуха в бане до требуемого уровня. Совместно с нагревателем воздуха парогенератор составляет банный климатический модуль, банный кондиционер – генератор горячего влажного воздуха.

5.9.1. *Баланс влаги в воздухе бани*

Температура воздуха в бане формируется процессами подвода и отвода тепла. Точно так же абсолютная влажность воздуха в бане формируется процессами подвода и отвода влаги из воздуха бани. При этом под влагой будем понимать водяной пар в виде газа (отдельных молекул воды), который присутствует в воздухе в виде примеси, формируя влажный воздух.

Водяной пар образуется и поступает в воздух бани многими путями. Во-первых, это пар из каменки, вырывающийся горячей турбулентной струёй подчас в больших количествах и с огромным расходом. Во-вторых, это пар из кипятильников, например, из бачков (кастрюль, баков) с подогреваемой (кипящей) водой. В-третьих, это пар с горячих увлажнённых поверхностей потолков, стен, полов, полок, с кожи и лёгких чело-

века. В-четвёртых, это пар, образующийся при испарении аэрозолей воды (брызг, водной пыли, тумана), попавших в горячий воздух бани.

Однократно увлажнённый воздух в бане сохранил бы свою абсолютную влажность бесконечно (даже при наличии циркуляции воздуха), если бы температуры в бане всюду были бы достаточно высокими и если бы не было вентиляции. Но в том и дело, что в реальных условиях практически всегда находится холодное место (например, пол), где конденсируются пары воды (в том числе гигроскопически в порах древесины или штукатурки), или находится (а чаще всего специально устраиваются) неплотности, через которые в баню проникает свежий воздух. Поэтому влажность в бане (после однократного увлажнения) обычно снижается – баня, как говорят, «не держит пара». Для обеспечения постоянства абсолютной влажности воздуха приходится увлажнять воздух.

Обычно считается, что основным увлажнителем воздуха (парогенератором) в бане является каменка. Порой даже считают, что паровая баня без каменки немыслима. Это не так. Все знают, насколько сильно может увлажнить воздух в бане (и саму баню) кипящая в баке вода или горячие мокрые стены. Более того, каменка по своей внутренней сущности выдаёт настолько горячий пар, что он тут же конденсируется на потолке и стенах, нагревая и увлажняя их так, что последующее увлажнение воздуха происходит за счёт медленного испарения с них (то есть за счёт осушения нагретых и увлажнённых потолков и стен). Известно также, что горячие массивные стены чёрной бани, сильно разогретые излучением от огня и затем облитые водой («опаренные»), дают превосходный мягкий пар для длительного комфортного парения. Так и в сухой высокотемпературной сауне достаточно sprыснуть раскалённые деревянные стены водой (например, брызгами с веника или пульверизатором), чтобы получить режим паровой бани. Всеми этими приёмами пользуются опытные парильщики, подбирая оптимальный «пар» для парения комплексом различных взаимодополняющих способов.

Очень важным моментом технологии является тот факт, что пар, поступающий из парогенератора любого типа, вовсе не является тем «паром», который нужен парильщику. Пар из парогенератора надо каким-то образом смешать с воздухом бани, чтобы получить горячий высоковлажный воздух, который и называется в бане «паром». Это смешение может происходить и диффузией, и конвективно (циркуляционными потоками от печи или взмахами веника). В ходе этого смешения может даже возникнуть туман (в виде «клубов пара»). Все эти вопросы относятся к умению пользоваться строением и оборудованием, а не вопросам конструирования и строительства, поэтому в этой книге не рассматриваются (см. Ю.М. Хошев, Теория бань, М.: Книга и бизнес, 2006 г.). Напомним одна-

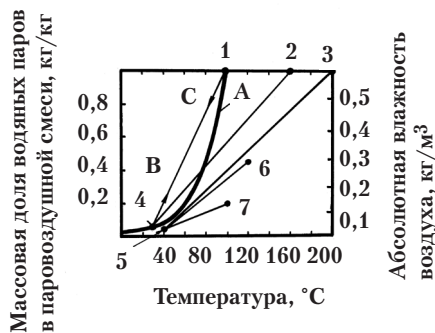


Рис. 185. График для определения возможности выделения тумана при смешении водяного пара с воздухом. Кривая А — зависимость плотности насыщенного пара от температуры. Обсуждаемые метеоточки: 1 — пар (1 атм, 100°С), 2 — пар (1 атм, 160°С); 3 — пар (1 атм, 200°С); 4 — воздух (насыщенный водой при 30°С); 5 — воздух (сухой с относительной влажностью 50%, 40°С); 6 — воздух (с абсолютной влажностью 0,3 кг/м³ при температуре 120°С); 7 — воздух (с абсолютной влажностью 0,15 кг/м³ при температуре 100°С). Пояснения в тексте.

ко, что появление тумана легко предугадать, пользуясь простейшей диаграммой (рис. 185). Суть анализа в том, что при смешении пара с воздухом образуется некая паровоздушная смесь со вполне определённой температурой и абсолютной влажностью. Если эта абсолютная влажность смеси оказывается выше плотности насыщенного пара при этой температуре (кривая А), то может выпасть (а термодинамически обязан выпасть) туман. В качестве примера на рис. 185 представлено несколько характерных случаев. Например, обычный пар из чайника (кипятильника) с температурой 100°С и плотностью 0,58 кг/м³ (метеоточка 1) смешивается с сырым воздухом с температурой 30°С и абсолютной влажностью 0,03 кг/м³ с образованием смеси с характеристиками, располагаемыми на прямой (1–4). При этом процедура постепенного подмешивания пара к воздуху отвечает стрелке В, а постепенного подмешивания воздуха к пару — стрелке С. Видно, что вся прямая (1–4) располагается выше кривой А, а это значит, что туман в этом случае выпадает всегда. Но если пар из чайника нагреть до температуры 160°С (метеоточка 2), то прямая (2–4) уже не будет располагаться выше кривой А, то есть туман может образовываться не всегда. Так при подмешивании пара к воздуху сначала появляется туман, а затем при увеличении подачи пара туман исчезает. Такой удивительный результат есть следствие свойств перегретого пара. Если же пар нагреть до температуры 200°С (метеоточка 3), то он будет смешиваться, например, с воздухом с температурой 40°С и абсолютной влажностью 0,025 кг/м³ (метеоточка 5 с относительной влажностью 50%) вообще без образования тумана, поскольку вся прямая (3–5) находится ниже кривой А. Всё это объясняет, почему в банях стремятся получить и подать в воздух как можно более горячий пар. Но имеется и другой путь предотвращения образования тумана: увлажнять воздух в бане не чистым паром (сплошь состоящим только из молекул воды),

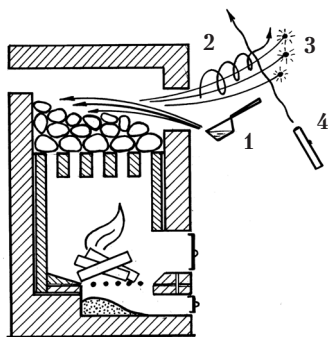


Рис. 186. Парообразование в раскалённой фильтрующей каменке футерованной кирпичной печи: 1 – подкидывание воды (поддача), 2 – поток водяного пара перегретого, 3 – брызги воды (кипятка), 4 – подсветка лазерной указкой для наблюдения пыли (в том числе водяной).

а паром, разбавленным воздухом, то есть высоковлажным воздухом. Так, влажный воздух с температурой 120°C (метеоточка 6) и даже с температурой 100°C и ниже (метеоточка 7) способен увлажнять воздух в бане без образования тумана. Такой разбавленный пар может быть получен продувом каменок воздухом, использовался ещё в конце XIX века в городских банях по проектам П.Ю. Сюзора, но забылся.

Ныне в погоне за экстремальным паром иногда нагревают каменки в футерованных кирпичных печах вплоть до 1000°C (рис. 186). При подкидывании воды 1 на докрасна раскалённые камни происходит хлопок: это вода под напором пара отскакивает от камней и разбрызгивается на мелкие капли (рис. 170). Большая часть капель попадает на стенки и свод каменки и испаряется, давая прозрачный пар 2, вырывающийся под напором из каменки. Но часть брызг не успевает испариться и в виде мелких капель воды 3 выходит из каменки с потоком пара. Хлопки, представляющие собой аэродинамические удары, всегда сопровождаются выбросом капель воды: этот эффект был назван А. Разорёновым неполной «диссоциацией» пара (хотя в физике под диссоциацией понимают не испарение воды, а распад молекул). Вместе с брызгами воды из каменки под действием хлопка вылетают и частицы пепла, а также остаточные количества не полностью выжженной сажи. Наличие в струе пара 2 брызг, пепла и тумана можно наблюдать по рассеянию красного луча лазерной указки 4 (полупроводникового миниатюрного лазера) или в луче света от мощной лампы (рис. 170).

Преодолеть путаницу с популярными ныне терминами типа «сырость пара» (В.Чернышев, Бани. Толковый словарь, М.: Дашков и К, 2005 г.), «диссоциация пара» (А.Разоренов) и «дисперсия пара» (А.Ферингер) можно лишь, осознав разницу понятия «воды» (не имеющей теплоты конденсации, но способной существовать в виде брызг и тумана) и понятия «пара воды» (имеющего теплоту конденсации, существующего только в виде прозрачного газа). При поддачах в объеме бани действительно образуется смесь брызг, тумана (аэрозоля) и пара воды. Брызги воды и пыль (пепел и сажа) постепенно оседают на пол,

и воздух в парилке становится чище. Если баня горячая, то часть брызг успевает испариться, тем самым охлаждая воздух в бане. Численные оценки показывают, что воздух охлаждаясь со 150°C до 50°C , способен испарить до $0,03 \text{ кг}/\text{м}^3$ воды ($0,03 \text{ кг}$ брызг в 1 м^3 исходного воздуха). Это объясняет иногда наблюдающийся в банях с закрытой каменкой феномен снижения температуры воздуха при поддачах. Ещё большее снижение температуры воздуха наблюдается при поддачах на открытые каменки сухих саун, когда снижение температуры воздуха обусловлено также и резким охлаждением каменки, дававшей заметный вклад в нагрев воздуха.

Напомним, что использование для поддач минерализованной воды способно серьёзно запылять воздух в парилке. Так, обычная питьевая вода содержит $0,1\text{--}0,5 \text{ г}/\text{л}$ солей (сухого остатка). Если эти соли не остаются на камнях в виде накипи при относительно спокойном кипении воды, а вылетают при хлопках в объём бани, то при увлажнении воздуха в бане до хомотермального уровня $0,05 \text{ кг}/\text{м}^3$ запылённость может достичь $5\text{--}25 \text{ мг}/\text{м}^3$ (а при паровых режимах ещё в $2\text{--}4$ раза выше) при официальных значениях предельно допустимых концентраций солей в воздухе рабочей зоны $5\text{--}10 \text{ мг}/\text{м}^3$. Поэтому при использовании раскалённых камней желательно использовать дистиллированную воду. Отметим попутно, что брызги воды могут образовываться и при интенсивном кипении (с бурлением) воды, например, как в котлах паровозов.

5.9.2. Каменки

И каменки, и паровые котлы вырабатывают именно чистый водяной пар – газ, состоящий целиком из молекул воды. Такой пар в бане вообще не нужен. Нужен горячий воздух, увлажнённый парами воды, то есть газ, состоящий из молекул воздуха и молекул воды в заданном соотношении. Именно такой горячий влажный воздух в народе называют «банным паром», в отличие от пара из каменки или «клубов пара» (а фактически тумана) из чайника. Так что каменка по существу является лишь частью некоего генератора «банного пара», включающего и устройство смешения, роль которого играет само помещение парилки.

Пар, поступающий в помещение бани, тотчас «забывает» о каменке и начинает «подстраиваться» к новым условиям. Во-первых, он имеет повышенную температуру и способен нагреть воздух и саму баню. Так, например, полкилограмма пара с температурой 200°C , перемешавшись с помощью веника с 10 кг воздуха с температурой 40°C , поднимает температуру воздуха до $47,6^{\circ}\text{C}$. Но этот резкий скачок температуры (в общем-то не очень значительный при быстром перемешивании – «разгоне пара по сторонам») тут же исчезает, поскольку тепло тотчас идёт на нагрев

стен, масса которых велика. Если принять, что нагревается 200 кг древесины, то через несколько минут температура стен бани и воздуха установится на уровне 40,4°C. Во-вторых, пар несёт с собой скрытую теплоту конденсации. И если бы весь пар тотчас сконденсировался в воздухе в туман, то температура бы гипотетически подскочила до 150°C, а потом снизилась бы за счёт нагрева стен до 46°C (а если весь пар сразу же сконденсировать на стенах, то температура бани и воздуха стала бы также 46°C). Весь пар можно тотчас сконденсировать на пол («посадить»), и нагреется только пол. Ясно, что все эти следствия определяются вовсе не каменкой, а помещением и действиями человека. Как печь, так и каменка, и вся баня в целом являются лишь инструментом в руках человека, и этим инструментом можно создавать совсем разные условия. В русских банях наиболее распространён режим конденсации пара на потолке (который происходит как бы «сам собой»): в неподвижном воздухе у потолка образуется слой горячих испарений от распаренной древесины.

Наиболее правильным путём получения «банного пара» мог бы быть метод одновременной подачи в каменку воздуха и воды в необходимом соотношении. Тогда бы вода, испарившись на камнях, смешалась бы между камней с горячим воздухом, и на выходе из каменки сразу же получили бы тот самый «банный пар», который банщик захватывает веником с потолка парилки. Если бы «банный пар» выходил из каменки слишком горячим, то его можно было бы сначала охладить (например, путём нагрева лежака или пола), а затем направить на тело. Такое устройство можно было бы назвать условно «русским баннным веником», поскольку подставляя тело под струю горячего влажного воздуха из такого аппарата человек испытывал бы те же ощущения, как при парении веником как опахалом. К сожалению, разовые поддачи на каменку в обычном режиме бывают настолько крупными (не менее 0,1 л, а достигают могут нескольких литров в секунду), что пришлось бы направлять в каменку слишком большое количество воздуха (кубометры в секунду). Это потребовало бы использования мощных пульсирующих (импульсных) воздуходувок, строго отслеживающих автоматикой количество вручную подаваемой воды. Поэтому такие устройства не созданы и, видимо, не будут созданы никогда. Однако вполне возможно создать устройство непрерывного дозированного ввода воды и воздуха в каменку одновременно при расходе воздуха, к примеру, не более 1 м³/сек. Такие «русские баннные веники» уже вполне реальны и будут рассмотрены ниже (раздел 5.9.4).

На практике каменки в паровых банях используются в трёх режимах, отличающихся величиной поддач. Во-первых, при достаточно высокой температуре в бане (60–100)°C у потолка, поддают совсем чуть-чуть – не более (0,1–0,5) литра воды (в расчёте на объём парилки 10 м³) в каменку

так, чтобы воздух всё же остался сухим. Станет жарко, можно «попариться», даже слегка похлопывая себя веником по телу. Это наиболее распространённый сейчас случай в дачных банях и финских саунах.

Во-вторых, при более низкой температуре в бане (40–60)°С у потолка, поддают воды в каменку побольше (0,5–2 литра) так, чтобы началась конденсация паров на потолке. Если бы потолок был непористым, то воздух стал бы сырым («тяжёлым паром»), с потолка бы закапало. Но если потолок деревянный или штукатурный, то воздух не становится сырым только из-за того, что потолок гигроскопически всасывает в себя водяные пары. Этот режим используется в любительских банях для парения веником как опухалом. Воздух в таких банях «лёгкий» – знойный, сухой, «звонкий».

В-третьих, при явно недостаточной температуре в бане (20–40)°С у потолка поддают воду в каменку в большом количестве (2–5) литров так, чтобы добиться существенного прогрева потолка за счёт конденсации на нём пара. Этот режим используется в любительских банях для парения веником как опухалом и для хлестаний веником. В этом режиме потолок содержит много воды, которая испаряясь, постоянно увлажняет воздух при парении веником. Поэтому горячий мокрый потолок в этом режиме играет фактически роль самостоятельного парогенератора точно также, как мокрый тёплый пол турецкой бани.

5.9.3. Горячие полы и потолки

Если на горячей поверхности располагается вода, то над поверхностью образуется воздушная среда, полностью насыщенная парами воды. Такой воздух является сырым и неблагоприятным для человека. В хаммамах с мокрыми каменными полами сырой воздух (как более лёгкий) всплывает вверх (см. рис. 187), разбавляется более сухим воздухом и как следствие может «осушиться» в том смысле, что может снижать свою от-

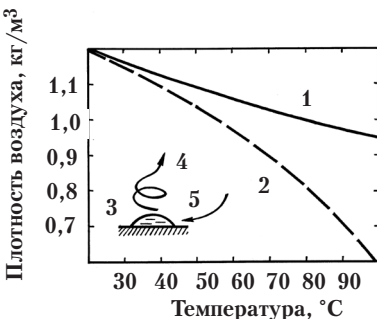


Рис. 187. Плотность абсолютно сухого воздуха (кривая 1) и максимально увлажнённого (сырого) воздуха со 100%-ной относительной влажностью (кривая 2). Рисунок на графике показывает, что образующийся над каплей воды 3 лёгкий влажный воздух 4 всплывает вверх, а вместо него подсасывается тяжёлый сухой воздух 5 (схема образования циклона над морской поверхностью).

носительную влажность. При этом необходимо, чтобы более высокорасположенные слои воздуха были достаточно прогреты, но такое в хаммамах обеспечивается далеко не всегда (ввиду отсутствия иных подогревателей, кроме полов), вследствие чего для хаммамов характерны туманы («тяжёлый пар»). Для устранения туманов и получения «лёгкого пара» практикуется способ подвода тёплого сухого воздуха через пол или в область над полом, чаще всего подогретого вентиляционного (приточного) воздуха (ирландские бани).

В русских банях для создания горячего осушённого воздуха («лёгкого пара») используется гигроскопический потолок (деревянный или оштукатуренный), который поглощает часть влаги из воздуха при поддачах либо сразу в виде паров, либо сначала конденсирует воду на поверхности (например, при сильных поддачах), а затем и впитывает. Основными недостатками такого потолка являются низкая влагоёмкость древесины и низкая площадь контакта воздуха с древесиной.

Говоря о низкой влагоёмкости надо в первую очередь иметь ввиду, что быстро увлажняется и насыщается поверхностный слой древесины, после чего относительно медленно влага распределяется по глубинным слоям древесины. Кроме того, для работоспособности древесины как осушителя необходимо обеспечить хорошую просушку потолка, что, например, в белых банях с кирпичными печами бывает затруднительно. Поэтому совершенствование потолков бань как парогенераторов мыслится в нескольких направлениях.

Во-первых, имеется возможность улучшения гигроскопических свойств древесины. Это достигается обработкой досок (брёвен) потолка веществами, вымывающими лигнин (например, горячими сульфитами серной кислоты, щёлочью), вследствие чего вскрываются дополнительные субмикронные поры. Можно термообработать древесину при высоких температурах, при которых начинается выход летучих в виде белого дыма. Можно обжечь древесину, увеличив тем самым её удельную поверхность, в том числе и за счёт образующихся следов сажи. Но наибольшую роль может сыграть пропитка древесины водными растворами солей, которые к тому же обеспечивают пожарную и биологическую защиту древесины. Дело в том, что растворы солей обладают свойствами гигроскопичности в том смысле, что давление водяных паров над ними меньше давления водяных паров над поверхностью чистой воды. Это объясняется тем, что при растворении соли (или иного вещества) молекулы соли заменяют собой часть молекул воды, и молекул воды в растворе становится меньше. Значит, и молекул воды, способных «улететь» с поверхности воды (испариться, газифицироваться), становится меньше. Так, если поставить рядом в эксикаторе (закрытой кастрюле) два ста-

канчика – один с чистой водой, а другой с водным раствором соли, то вода из стаканчика с чистой водой постепенно испарится и сконденсируется в стаканчике с раствором соли.

Равновесные относительные влажности воздуха над насыщенными растворами солей при 20°C составляют (СП23-101-2000):

Формула соли	Без соли	K_2SO_4	Na_2CO_3	$NaSO_3$	KCl
Упругость водяных паров, Па	2338	2306	2090	2038	1968
Относительная влажность воздуха, %	100	98	89	87	84
Формула соли	$NaSO_4$	NaCl	NaBr	$Ca(NO_3)_2$	
Упругость водяных паров, Па	1927	1807	1400	1288	
Относительная влажность воздуха, %	82	77	60	55	
Формула соли	$Na_2S_2O_3$	$MgCl_2$	$ZnBr_2$		
Упругость водяных паров, Па	1051	771	230		
Относительная влажность воздуха, %	45	33	10		

При этом вязкость водяных растворов незначительно отличается от вязкости чистой воды. Так, если принять относительную вязкость чистой воды за единицу, то относительная вязкость водных растворов с концентрацией 1 моль/литр (примерно 60 г/л) при 25°C составит для 1,1 для NaCl и 0,99 для KCl.

Ещё меньше равновесные (остаточные) относительные влажности воздуха могут быть достигнуты над сухими (безводными) солями, которые называются осушителями (Б.В. Некрасов, Основы общей химии, М.: Химия, 1973 г.):

Формула соединения	Чистая вода	$CuSO_4$	$ZnCl_2$	$CaCl_2$	NaOH
Упругость водяных паров, Па	2338	187	107	48	21
Относительная влажность воздуха, %	100	8,0	4,6	2,1	0,9
Группы соединения	H_2SO_2	KOH	$Mg(ClO_4)_2$	P_2O_5	
Упругость водяных паров, Па	0,40	0,26	0,06	0,0027	
Относительная влажность воздуха, %	0,02	0,01	0,003	0,0001	

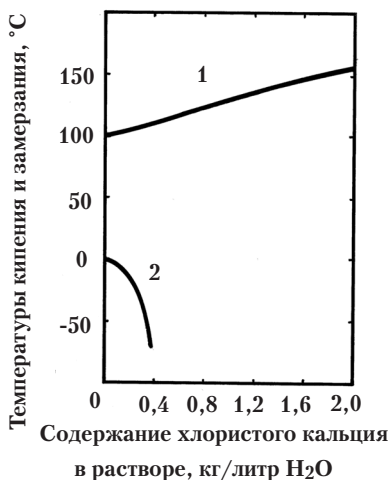


Рис. 188. Температуры кипения при атмосферном давлении (1) и температуры плавления (заморозки) водных растворов хлористого кальция с различной массовой концентрацией соли в растворе. Растворимость хлористого кальция при 20°C в воде 0,5 кг/литр H₂O.

Уменьшение равновесной относительной влажности над раствором означает, что температуры кипения растворов всех этих соединений превышают 100°C. Так, например, для хлористого кальция, используемого ныне наряду с каменной солью как антиобледенительное средство для автомобильных дорог в городах (в частности, марки ХКМ – хлористый кальций модифицированный), повышения температуры кипения весьма существенны (рис. 188). Как следствие, дороги обработанные хлористым кальцием зимой не обледеневают, а летом остаются мокрыми (непыльными).

Указанные свойства солей играют в нашей жизни очень большую роль. Так, к специфическим факторам жизнедеятельности человека (и вредным и полезным – консервирующим одновременно) относится солёность пота. Пот содержит 0,5% поваренной соли (то есть содержит 5 г/литр хлорида натрия NaCl), вследствие чего равновесное давление водяных паров над потом меньше, чем над чистой водой. Это приводит к уменьшению скорости испарения пота с кожи и к уменьшению мощности охлаждения тела человека. Человек в повседневной жизни выделяет в среднем 1 литр пота в сутки, содержащего 5 г соли. Поскольку жидкая фаза испаряется, а соль остаётся на коже и накапливается, то уже через день после принятия душа при выделении испарины в объёме 10 мл на коже будет достигнуто состояние насыщенного солевого раствора, соответствующее табличной растворимости NaCl в воде 359 г/литр. Это значит, что поверхность солёной кожи не будет испарять пот. Эпидермис кожи при этом не пересушивается, но человек чувствует себя дискомфортно. Поэтому очень важно ежедневно обливаться или обтираться мокрым полотенцем, что придаёт ощущение лёгкости за счёт лучшего испарения пота. Из таблицы следует, что особо плохо чувствует себя человек при относительной влажности воздуха выше 77%. Помогает также впитывание пота хлопчатобумажной одеждой, которая постепенно пропитывается солью и перестаёт со временем удалять соль с кожи. Так или

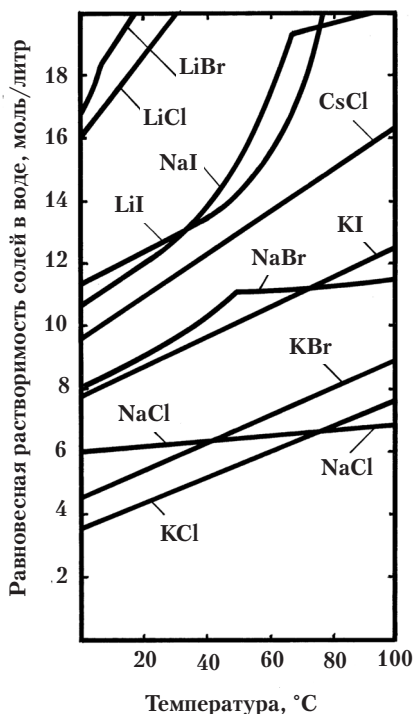


Рис. 189. Температурные зависимости растворимости галидов щелочных металлов.

иначе, хоть человек и связан непрерывно с поваренной солью и не может без неё жить (а земная атмосфера содержит до 10^{-5} г/л частиц соли, образующихся при испарении брызг морской воды), обильный пот и в бане, и в повседневной жизни желательно тотчас либо вытирать, либо смывать – именно тогда человек имеет эффективную возможность охлаждаться испаряющимся потом. В сухих саунах пот не вытирают и не смывают, поскольку накапливающаяся на коже соль способна ещё более усилить эффект нагрева тела за счёт угнетения процесса испарения пота. По этой же причине в саунах смазываются в косметических целях мёдом именно с солью, предотвращающей пересу-

шивание кожи в сухой сауне (а растворимость сахара также велика и составляет 0,2 кг/литр при 15°C и 0,5 кг/литр при 100°C). В физиотерапии в целях имитации морского климата практикуют вдыхание мелкодисперсной поваренной соли (галоингаляционная терапия), препятствующее пересыханию слизистых оболочек бронхов и увеличивающее количество мокроты. На морских пляжах солёная вода на теле препятствует потоотделению, а при высушивании соль на теле «вытягивает» влагу из кожи, и она «стягивается». Причём наибольшую роль играют соли с большей мольной растворимостью, а именно бромистые и йодистые (см. рис. 189). Древесина и ткани, пропитанные соленой водой, более влажные и хуже гниют в земле из-за высокой влажности. Точно также деревянные бочки, пропитавшиеся соляными растворами (например, для засолки огурцов), всегда остаются мокрыми снаружи, хотя чистая сухая поваренная соль не гигроскопична.

В то же время пропитки водорастворимыми неорганическими веществами могут и снижать гигроскопичность древесины. Например, пропитка спиртовым раствором хлористого алюминия снижает гигроскопичность древесины из-за последующего окисления (гидролиза)

с образованием оксихлоридов и гидроокисей алюминия, забивающих поры. Поэтому хлористые соединения алюминия, титана, циркония (чаще в виде оксихлоридов) применяются и в качестве антиперспирантов (препаратов для уменьшения потовыделения за счёт закупорки потовых пор и протоков). Пропитка древесины раствором сахара с последующим нагреванием (карамелизацией) тоже снижает гигроскопичность и равновесную влажность древесины (до 2 раз). Отметим, что препараты, снижающие гигроскопичность древесины и тем самым предохраняющие от биоразрушений (в том числе и пропитки смолами), отличаются от любых влагоизолирующих поверхностных покрытий (красок) самым кардинальным образом, поскольку покрытия (обычно имеющие трещины и маленькую толщину) не предотвращают диффузионный влагообмен и лишь удлиняют время для достижения равновесия между водой в капиллярах и паром в воздухе.

Возвращаясь к препаратам, увеличивающим гигроскопичность древесины и штукатурок, отметим, что чем гигроскопичней материал, тем лучше его надо просушивать перед использованием и тем лучше надо организовать его контакт с воздухом в бане. Без выполнения этих условий реализовать преимущества высокогигроскопических материалов невозможно. Действительно, если потолок гладкий (непористый или пористый), то пар увлажняет верхний припотолочный слой воздуха, и этот увлажнённый воздушный слой так и остаётся наверху, поскольку влажный воздух (а тем более тёплый) имеет пониженную плотность. Можно легонько перемешивать припотолочный воздух рукой или веником так, чтобы воздушные потоки не опускались, но обтекали потолок. Можно увеличить площадь контакта древесины с воздухом с помощью брусковых или бревенчатых балок, желательны растрескавшиеся (рис. 190в), или вертикально навешенных (набитых) на потолок досок, образующих глубокие застойные пазухи (рис. 190г). Древесину лучше располагать волокнами не горизонтально (рис. 190б, в, г), а вертикально (рис. 190д), торцами досок, брёвен или брусьев вниз, можно разновысотной для увеличения площади контакта и для придания декоративных свойств. Такой «мощёный» потолок легко армировать металлическими листовыми или стержневыми вставками, передающими тепло в глубинные слои древесины (рис. 190е). Ещё более развитую поверхность контакта древесины с воздухом можно получить с применением диспергированной древесины – щепы, опилок, стружек, укладываемых на решётку (сетку) под потолком (рис. 190ж). В качестве высокогигроскопических материалов можно использовать ткани из природных материалов (хлопка, льна, шерсти и т. п.), развешенных на потолке (рис. 190з), а также бумажные материалы (картоны, папье-маше и т. п.) на решётке

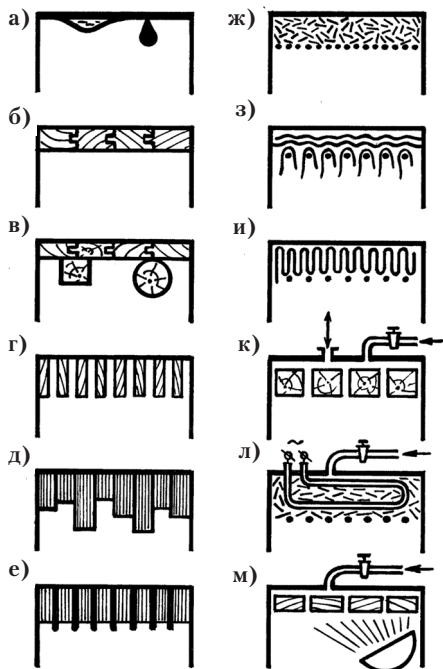


Рис. 190. Парогенерирующие потолки, разогреваемые и увлажняемые паром из каменки: а – непористый (каменный, металлический и т. п.) потолок, не впитывающий росу и создающий сырой воздух, б – пористый гигроскопический потолок (деревянный, штукатурный, керамический и т. п. в–м – пояснения в тексте

(рис. 190и). Все вышеупомянутые примеры изготовления гигроскопических потолков работают с увлажнением и нагревом снизу за счёт конденсации пара из каменки. Но гигроскопические потолки вполне работоспособны и при увлажнении гигроскопического материала компактной (капельной) жидкостью (рис. 190к, л, м) и нагревом от трубчатых нагревателей как водных, так и электрических

(рис. 190л) и/или инфракрасных обогревателей (рис. 190м) и/или любых иных источников тепла. Принципиально новые возможности этих схем открываются при использовании систем «дыхания» потолков, включающих фильтрацию увлажняемого воздуха через слой гигроскопического материала при засасывании воздуха из помещения с последующим выпуском (выдохом) увлажнённого воздуха в помещение (рис. 190к). Такой дышащий потолок «с мехами» имитирует систему дыхания человека (который также увлажняет воздух в помещении), но если человек не может дать воздух с метеопараметрами выше хомотермальной кривой, то более высокотемпературный поток может обеспечить паровой режим бани, в том числе и с «лёгким паром». Принцип «дыхания» (с постоянным движением воздуха туда и обратно) можно заменить принципом однонаправленного продува потолка приточным воздухом или рециркуляционным. В этом случае потолок превращается в увлажняющий узел кондиционера, то есть преобразуется в отдельный прибор, который может быть установлен в любой точке помещения, а не только у потолка. Можно и просто брызгать на горячий потолок мокрым веником.

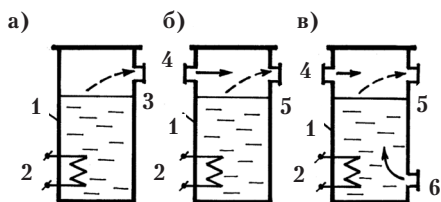


Рис. 191. Парогенераторы-бойлеры: а – стандартный парогенератор-кипятильник (типа чайника) для увлажнения саун пародушевых кабин, б – продуваемый бойлер (генератор «лёгкого пара»), в – продуваемый бойлер с подачей воздуха вглубь воды для получения

особо влажного воздуха, вплоть до сырого («тяжёлого пара»). 1 – корпус водонагревателя (бойлера), 2 – ТЭН, 3 – патрубок выпуска чистого пара, 4 – патрубок подвода воздуха, 5 – патрубок выпуска «лёгкого пара», 6 – патрубок ввода воздуха под воду. Сплошные стрелки – потоки воздуха, пунктирные – потоки пара.

5.9.4. Бойлеры

Чаще всего под баннным парогенератором понимают каменку, но это не единственный способ увлажнения воздуха. В промышленности водяной пар производится в паровых котлах – в закрытых (герметичных) металлических сосудах (автоклавах), в которых вода перегревается выше 100°C под избыточным давлением. Нагрев котла может осуществляться любым источником тепла – дровами, углём, жидким или газообразным органическим топливом, электричеством, солнечной энергией, атомной энергией и т. п. При открывании котла пар над жидкостью (например, с температурой 150°C при давлении 5 атм) вырывается наружу, давление пара в котле снижается, вода вскипает, выделяя пар, который стремится восстановить равновесное давление пара над жидкостью. В предельном частном случае постоянно открытого на атмосферу котла имеем обычный кипятильник, бойлер (от английского слова «boil» – кипение), «титан» (по названию первой фирмы-производителя), чайник, кастрюлю, в которых возникающий при кипении пар тотчас удаляется в атмосферу и в которых количество пара строго соответствует количеству подведённого тепла. Для получения пара в кастрюле абсолютно безразлично, сколько воды в кастрюле, лишь бы вода закрывала дно кастрюли. Так что генератором пара может быть любая мокрая поверхность, причём не только при температуре кипения воды.

Самыми распространённым парогенератором для увлажнения воздуха в саунах и пародушевых кабинах является бойлер – ёмкость с водой, в которую вмонтирован ТЭН (рис. 191а). По существу это обычный кипятильник (электрочайник), имеющий специальную систему залива и слива воды, вывода пара по трубке в необходимое место. Как правило, такой банный кипятильник имеет электронный индикатор (сигнализатор) уровня воды, чтобы не сгорел ТЭН, а также устройство для автоматического слива остатков воды и подачи свежей порции воды, чтобы

ТЭН не обрастал накипью. Бойлер может работать как парогенератор только при кипении воды, то есть при температуре 100°C . При отсутствии кипения пар из бойлера не выходит. Таким образом, бойлер является генератором чистого пара.

Для получения влажного воздуха («банного пара») бойлер необходимо продувать воздухом (рис. 191б). При этом можно получать воздух разной температуры и разной влажности. Так, если поддерживать воду при температуре, например, 80°C , а бойлер продувать очень медленно, то через штуцер 5 будет выходить влажный воздух с температурой 80°C и с равновесной абсолютной влажностью (с относительной влажностью 100%), то есть сырой воздух («тяжёлый пар»). Все выводные магистрали надо будет поддерживать при температуре 80°C и более во избежание конденсации водяных паров и образования тумана. В этом режиме подаваемый воздух действует как поршень, выталкивающий воздух, находящийся в равновесии с водой. Но если продувать воздух быстрее, то температура выходящего воздуха снизится, также снизится и влажность воздуха. Для получения воздуха заданных параметров необходимо регулировать температуру входящего воздуха мощностью проточного воздухоподогревателя и скорость парообразования (желательно в режиме кипения) мощностью ТЭНа.

Для дополнительного нагрева воздуха его можно подавать прямо в воду (рис. 191в), причём для предотвращения прохода воздуха в виде крупных пузырей, ёмкость кипятильника можно заполнить гранулированным наполнителем (битым стеклом, фарфоровыми электротехническими бусами, стекловатой и т. п.), разбивающим крупные пузыри в мелкие (пену). Указанные методы отработаны в химической технологии для интенсификации гетерогенных реакций.

Продуваемые бойлеры можно использовать при создании генераторов «лёгкого пара» для мытейных бань, косметических процедур, банных аттракционов. Так, для создания аппарата, имитирующего воздействие банного веника как опахала, необходимо создать поток воздуха поперечным сечением $0,5 \times 0,5$ м со скоростью 1 м/сек с абсолютной влажностью воздуха $0,1$ кг/м³. При этом необходим электротепловентилятор с производительностью по горячему воздуху 900 м³/час и, что более существенно, ТЭН мощностью 56 кВт для испарения 90 кг воды в час. Так что банный веник как опахало весьма мощный потребитель тепла и использовать его дачник может либо кратковременно, либо в импульсном режиме («дуновениями», например, один раз в десять секунд). Столь высокая мощность обусловлена тем, что поток горячего влажного воздуха, набегающий на тело человека, передаёт на кожу лишь один-два процента своего теплосодержания.

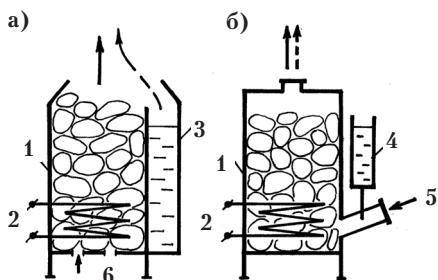


Рис. 192. Воздухопродуваемые каменки: а – комбинация продуваемой каменки с бойлерным парогенератором (кипятильником), б – дозированная подача воды и воздуха в каменку с получением «лёгкого пара». 1 – корпус каменки, 2 – ТЭН, 3 – кипятильник, 4 – дозатор воды (капельница, ультразвуковой распылитель, кипятильник и т. п.), 5 – патрубки ввода воздуха, 6 – отверстия для ввода воздуха. Сплошные стрелки – потоки воздуха, пунктирные – потоки пара.

В современных финских саунах для небольшого увлажнения воздуха и заваривания трав для запаха (ароматерапия) применяют бойлеры (кипятильники), скомпонованные с каменкой (рис. 192а). Чистый пар из кипятильника поступает в струю горячего воздуха от продуваемой каменки, смешивается гарантированно без образования тумана с воздухом и уже в виде паровоздушной смеси выходит в помещение сауны, в том числе и в виде «лёгкого пара». Примерно этот же режим задумывался в схеме дровяной печи-каменки типа «Вулкан» при открытии нижней воздушной заслонки каменки (рис. 149), но при мощной подаче воды потока воздуха через каменку оказывается недостаточно для сколько-нибудь существенного разбавления водяного пара.

Схема на рисунке 192а интересна тем, что не требует сухости пара, вырабатываемого парогенератором. Например, в каменку можно подать сырой пар (с туманом и брызгами) из централизованной паровой магистрали. В некоторых городских банях, работающих на магистральном паре, для высушивания пара его подавали в раскалённую каменку.

Для получения горячего воздуха заданной абсолютной влажности необходимо организовать контролируемую (дозированную) подачу воды и воздуха в раскалённую каменку (рис. 192б). Воздух желательно подавать принудительно с помощью воздуходувки (компрессора). Воду можно подать капельницей, струёй, потоком пара, с помощью ультразвукового распылителя (увлажнителя) или другими способами. Указанная схема легко переводится в импульсный режим путём импульсной подачи воды – при этом образуются волны «лёгкого пара». Достоинством схемы является использование высокотеплоёмкой каменки, аккумулирующей большее количество тепла, чем горячая вода в схеме на рисунке 191в, что позволяет получать мощные импульсы «лёгкого пара».