

и утеплителя). Древесина, являясь «холодным» материалом, как бы захлаживает утеплитель и заставляет его буквально «засасывать» пар и конденсирует его. Так, перенос минваты с внешней стороны деревянной стены на внутреннюю повышает «засасываемость» пара стеной чуть ли не в десять раз. Всё это свидетельствует о том, что утеплитель, располагаемый на внутренней стороне стены, необходимо пароизолировать в обязательном порядке, а зазор между древесиной и утеплителем оснащать продухами для просушки в аварийных ситуациях. Иными словами, утеплитель, располагаемый на внутренней стороне стены, желательно выбирать паронепроницаемым. К сожалению весьма дорогостоящие, но всё же, в какой-то степени доступные рядовому дачнику паронепроницаемые утеплители (экструзионный пенополистирол и пенополиэтилен) имеют низкие рабочие температуры (менее 70°С, кратковременно до 100°С). Но в скором будущем ситуация может измениться ввиду расширения выпуска и снижения стоимости пеностекла (Foamglas), термостойкой пенорезины (Armacell, Armaflex), сотового поликарбоната и полиэтиленфталата и др.

Резюмируя, концепцию пароизоляции можно сформулировать так. Если здание (деревянное, каменное) эксплуатируется постоянно, то утеплять его следует снаружи, причём утеплитель должен иметь повышенную паропроницаемость и должен быть лишь ветрозащитен. Если здание эксплуатируется эпизодически и протапливаться должно быстро, то утеплять его следует изнутри, причём утеплитель должен быть паронепроницаемым (или должен быть надёжно защищён парозащитным материалом) изнутри бани (со стороны горячего воздуха).

Указанная концепция свидетельствует также о том, что постоянно отапливаемые каменные (кирпичные) здания нужно утеплять древесиной снаружи (причём никакая пароизоляция не требуется, но может быть всё же предусмотрена на внутренней поверхности каменной стены). Эпизодически протапливаемые каменные здания нужно утеплять древесиной изнутри, причём пароизоляция древесины с внутренней стороны абсолютно необходима или, в крайнем случае, между камнем и древесиной необходимо устраивать продухи, вентилируемые внешним воздухом (с улицы). Стены полностью каменных и полностью деревянных зданий (жилых с постоянным отоплением) пароизоляции не требуют.

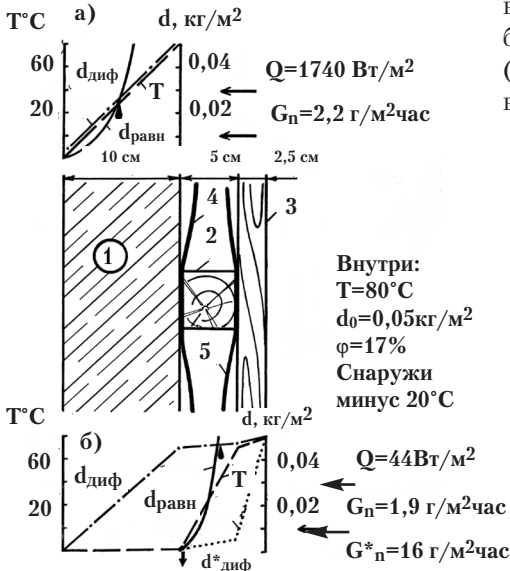
В последние десятилетия в народе сформировалось устойчивое бесхитрое мнение, что стены бань изнутри полагается пароизолировать на всякий случай всегда. Во многом это мнение распространилось по причине появления специальной пароизолирующей алюминиевой фольги, достаточно толстой (до 0,1 мм) и широкой в рулоне, удобной для монтажа. Конечно же, если внутренние стороны стен помещения надёжно

паровоздухоизолированы, то никаких проблем с возможной конденсацией пара внутри стен вообще не возникает, но могут появиться другие проблемы, например, конденсат на поверхности стены (роса, сырость) и затхлость (сырость) воздуха.

3.12. Монтаж эффективных утеплителей и пароизолирующих плёнок

Пытаясь во что бы то ни стало пароизолировать стены бань, дачники в то же время стараются упрятать пароизоляцию вглубь стен так, чтобы сверху оказался декоративный материал, например, «дышащая и экологически чистая» евровагонка или ещё лучше, доски из осины, липы, а то и из заморской древесины абаши. При этом порой бывает трудно с определённой уверенностью сказать, является ли внутренняя обшивка только декоративной или одновременно является и утеплителем. Воздушные промежутки между утеплителем и декоративной обшивкой также являются то утеплителями (то есть, в которых воздух не движется), то высушивающими, но захлаживающими продухами (то есть, в которых воздух движется). В каждом случае необходимы оценки месторасположения точки росы в многослойной стене.

Одно из наиболее частых решений, используемых, например, и при монтаже бань в цоколях и подвалах коттеджей, представлено на рисунке 29. К несущей бетонной (кирпичной) стене 1, например, толщиной 10 см прикреплены бруски 2 толщиной 5 см, а к брускам прибита деревянная обшивка 3 (сплошная без щелей) толщиной 2,5 см (один дюйм). Зазор, образованный бруском, заполнен не-



деревянная обшивка 3 (сплошная без щелей) толщиной 2,5 см (один дюйм). Зазор, образованный бруском, заполнен не-

Рис. 29. Численный анализ возможности конденсации в многослойной стене: 1 – несущая бетонная стена, 2 – брусок деревянный, 3 – деревянная обшивка, 4 и 5 – строительный картон (модельный случай), 5 – необходимое месторасположение пароизоляции. Сверху – расчёт для бетонной стены без деревянной обшивки. Внизу – расчёт для бетонной стены с деревянной обшивкой. Обозначения те же, что и на рисунке 23.

подвижным воздухом и может быть ветрозащищён с обеих сторон строительным картоном 4 и 5 толщиной 1 мм. Картон введён чисто модельно для оценки влияния ветрозащитных мембран. Паропроницаемый картон имеет весьма низкую паропроницаемость (на уровне древесины и кирпича), но ввиду малой толщины практически не оказывает влияния (как показывает расчёт) на распределения температуры и абсолютной влажности воздуха в стене (перепад температуры на картоне менее $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Зазор может быть заполнен минеральной ватой без изменения результатов расчёта.

Численный анализ показывает, прежде всего, что бетонная стена практически не выполняет теплоизолирующих функций, так что обивка стен деревом безусловно оправдана (рис 29). Так, чтобы поддерживать внутреннюю поверхность бетонной стены при 80°C требуется фантастическая величина нагрева $1,74\text{ кВт/м}^2$, в то время как деревянная поверхность обивки банной стены нагревается до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ уже при тепловом потоке в 40 раз меньшем – 44 Вт/м^2 . Вместе с тем, бетон внутри обитой стены продолжает играть роль основного пароилятора. При абсолютной влажности воздуха в помещении $d_0=0,05\text{ кг/м}^3$ (при относительной влажности $\varphi=17\%$) стена с обшивкой, нагретой до 80°C , пропускает через себя пары воды весьма ограниченно – порядка $1,9\text{ г/м}^2\text{ час}$. Вначале высокая влажность воздуха $d_{\text{диф}}$ стремится сформироваться в зазоре вплоть до бетонной поверхности как паробарьера. При этом конденсация паров начинается в точке росы, отмеченной чёрной каплей (расположенной где-то посередине зазора). Затем из-за конденсации абсолютная влажность в зазоре резко снижается до $d_{\text{диф}}^*$ так, что конденсация стабилизируется в точке, обозначенной стрелкой, расположенной на внутренней стороне бетона (на внешней стороне зазора, выполняющего роль утеплителя). При этом скорость диффузии пара в стену резко увеличивается до $16\text{ г/м}^2\text{ час}$ (в 8 раз) так, словно бы деревянная обивка срывается и оголяет холодную поверхность бетона, интенсивно конденсирующую водяные пары в виде росы. Конечно, два слоя картона и деревянная обивка (сплошная без щелей) без сомнения являются паробарьером, и поток пара в стену $16\text{ г/м}^2\text{ час}$ не столь уж велик по сравнению с тем, который мог бы быть в отсутствии деревянной обшивки. Действительно, конденсация потока пара $16\text{ г/м}^2\text{ час}$ приводит к выделению тепла конденсации на поверхности бетона всего лишь на уровне 10 Вт/м^2 , что меньше, чем поток кондуктивного («сухого») тепла 44 Вт/м^2 . А реальные тепловые нагрузки за счёт конденсации пара на теплонезащищённые бетонные (каменистые) поверхности в городских банях при поддачах острого пара из магистрали могут достигать десятков кВт/м^2 и резко повышать температура бетона.

Всё это означает, что воздушный зазор под деревянной обшивкой (может быть, заполненный паропроницаемым утеплителем типа минваты) необходимо пароизолировать, монтируя вместо картона 5 пароизолирующую мембрану 5 (алюминиевую фольгу, армированную полиэтиленовую плёнку и т. п.). При этом возникает вопрос, часто обсуждаемый в профессиональной среде: можно ли деревянную обшивку примыкать непосредственно к этой пароизолирующей мембране?

Прежде всего отметим, что любая паропроницаемая (в том числе деревянная) обшивка при наличии под ней мощной теплоизоляции и пароизоляции становится чисто декоративной. Ни температура, ни абсолютная влажность воздуха в пределах деревянной обшивки и воздушного зазора от древесины 3 до пароизолирующей мембраны 5 заметно не изменяются. А это значит, что в постоянно отапливаемых помещениях с хорошей теплоизоляцией стен величина зазора между древесиной 3 и пароизоляцией 5 абсолютно не критична и никак не нормируется. В периодически же протапливаемых банях, в местах, где возможно случайное проникновение за обшивку компактной воды (которой моются) или выделение небольшого количества росы, щели в деревянной обшивке и зазоры между обшивкой 3 и пароизоляцией 5 желательны, чтобы вода под обшивкой могла быстро и беспрепятственно испаряться и удаляться. Однако для экстремальных паровых режимов зазоры не допустимы, поскольку вся роса должна впитываться в древесину (чтоб затем, испаряясь, поддерживать «пар» в парной). Зазоры же с отражательной теплоизоляцией герметизируют обязательно.

В случае же недостаточной теплоизоляции (при малости зазора между 4 и 5) холодная пароизолирующая мембрана хоть и не пропустит влагу, но станет конденсатором влаги. Мы уже отмечали, что паропроницаемая обивка бетона (материала с низкой паропроницаемостью) деревянными досками со стороны помещения неминуемо приведёт к конденсации влаги на поверхности бетона и увлажнению тыльной стороны древесины, и дополнительная пароизоляция между бетоном и древесиной только поможет этому. Поэтому пароизоляцию придётся перенести на лицевую поверхность древесины с тем, чтобы ни вода, ни пары воды вообще не могли бы попасть на древесину. Если же пароизолирующую мембрану всё же оставить в глубине стены, то её температуру необходимо обеспечить на уровне выше точки росы, то есть в банях выше, по крайней мере, 40 °С. Это означает, что теплоизолирующий зазор между поверхностями 4 и 5 (или 1 и 5) никогда не следует уменьшать, даже в угоду большей величине и лучшей вентилируемости зазора между пароизоляцией 5 и деревянной обшивкой 3. Во всяком случае, как следует из рисунка 29, толщина утеплителя (воздушного зазора) между бето-

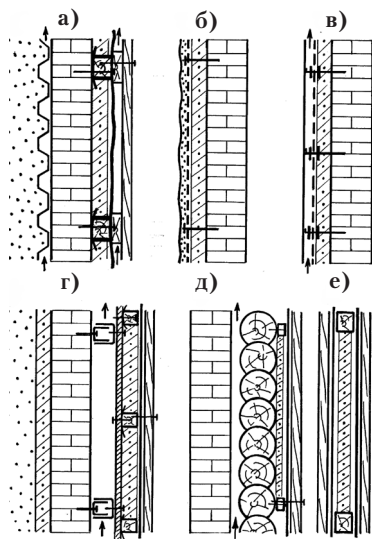


Рис. 30. Примеры монтажа многослойных стен. Слева – наружная сторона стены, справа – внутренняя сторона стены, направленная в помещение. Перечисления слоёв слева направо: а – грунт, вентилируемая гидроизоляция типа «фундалин», вентилируемый зазор (продух), кирпичная (бетонная) стена подвала, прокладки рубероида, деревянные бруски с заложённым между ними враспор утеплителем (плитой из пенопласта или минваты), листовая (рулонная) пароизоляция, деревянные планки для уплотнения нахлёстов пароизоляции, деревянная обшивка; б – тонкий 8–12 мм паропроницаемый штукатурный слой, жёсткая плита из минваты, прижатая металлической сеткой, стальные оцинкованные кронштейны (стержни, шпильки, крепежные элементы) для фиксации утеплителя, кирпичная (бетонная) несущая стена; в – защитно-декоративный экран (металлический, пластиковый, стеклянный, асбоцементный), вентилируемый зазор, металлическая

удерживающая сетка, кронштейны металлические (для крепления экрана, сетки и утеплителя), жёсткая плита из минваты, кирпичная (бетонная) несущая стена; г – грунт, теплогидроизоляция (экструзионный пенополистирол), кирпичная (бетонная) стена подвала или цоколя, металлические короба (кронштейны, швеллеры или профили по рис. 31 и 32) для формирования вентилируемого зазора, асбоцементная плита, деревянные бруски с заложённым между ними утеплителем, пароизоляционная плёнка, деревянная обшивка; д – кирпичная облицовка, вентилируемый зазор, бревенчатая (брусовая) стена, выравнивающие деревянные бруски с утеплителем (или без утеплителя) между ними, пароизолирующая плёнка, деревянная обшивка; е – внешняя деревянная обшивка, ветроизоляция, каркас из деревянных брусков (брусев) с заложённым утеплителем, пароизоляция, внутренняя деревянная обшивка.

ном 1 и пароизоляцией 5 должна быть не менее, чем в 4–5 раз больше, чем ширина зазора между пароизоляцией 5 и деревянной обшивкой 3. Ну и конечно же, уровень нагрева стены со стороны бани должен быть достаточным, чтобы обеспечить требуемую минимально допустимую температуру пароизолирующей мембраны 40 °С (см. раздел 3.12).

Учитывая, что небрежно уложенная (со сквозными разрывами и с неуплотненными стыками листов) пароизоляция порой бывает опасней для бани, чем полное отсутствие таковой, простейший монтаж обшивки бетонной (каменной, кирпичной) стены осуществляют в следующем порядке. Сначала на бетонной стене закрепляют на анкерах деревянные бруски (лучше на подкладках из рубероида) или профильные п-образные металлические или пластмассовые планки (вертикальные, а лучше горизонтальные) с промежутками точно в размер плит утеплителя

(рис. 30а). После укладки плиты утеплителя с тщательным заполнением зазоров между плитой утеплителя и брусками (кусками мягкой минваты от матов) на бруски навешивают на кнопках (или приклеивают на липкой ленте) листы (рулоны) пароизоляционной плёнки так, чтобы листы перенахлёстывались с последующим уплотнением стыков листов деревянными планками, прибиваемыми (а лучше привинчиваемыми) к деревянным брускам. По деревянным планкам может быть уложен второй слой пароизоляции (при сомнениях в надёжности и качестве основного парозащитного слоя). Деревянная обшивка (вагонка) прикрепляется к брускам через планки тонкими оцинкованными гвоздями.

Современный крепёж лучше вести не гвоздями, а саморезами с предварительным высверливанием направляющих отверстий для предотвращения раскалывания несущих брусков и планок. В особенной степени это относится к стяжному крепежу большой длины (более 50 мм), при этом дачника не должны смущать размеры самореза (длины более 100 мм). К сухой бетонной (кирпичной) стене бруски крепятся длинными винтами с увеличивающимся диаметром резьбы (шурупами), в том числе и с шестигранной головкой под ключ, вворачиваемыми враспор в туговбитую надёжно просмоленную деревянную бобышку. Во влажных же стенах цоколей и подвалов предпочтительно использовать полиэтиленовые или металлические (резаные вдоль) закладные бобышки в комбинации с расширяющимися винтами (анкеры) или специальные саморезы по бетону с головкой под шестигранную отвёртку, вворачиваемые непосредственно в отверстие в стене, предварительно просверленное обычным сверлом.

Все скрытые крепёжные работы в банях необходимо проводить с особой тщательностью, поскольку любые расколы древесины, выпадения крепёжных элементов, деформации внутри стены могут привести к неоправданным нарушениям сплошности пароизоляции и теплоизоляции, которые невозможно не только отремонтировать, но и даже обнаружить визуально из-за наличия обшивки. Наиболее сложно добиться надёжной сплошности в системе теплоизоляции, тем более, что она может повреждаться грызунами (мышами, крысами), которые вопреки уверениям продавцов, часто поселяются и в минвате, и в пенополистироле. Особенно трудно крепить минвату, имеющую, как правило, очень низкую механическую жёсткость и упругость. В последние десятилетия строительная индустрия сильно продвинулась в области крепления минеральных ват на наружных стенах городских многоэтажных домов в целях утепления фасадов. Минеральная вата ввиду своей негорючести значительно более привлекательна для капитального строительства, чем пенополистирол, который и легко плавится, и горит, вследствие чего требует на стенах технически сложновыполнимых противопожарных рассечек. Особенно ин-

тересна базальтовая (каменная) вата ввиду своей высокой теплостойкости и устойчивости к пожарам. Поэтому в промышленности было затронуто немало усилий по разработке многослойных жёстких плит из минваты, которые можно было бы и приклеивать к фасаду, и даже оштукатуривать снаружи. Такие жёсткие плиты для фасадных работ обычно имеют повышенную плотность, обработаны водоотталкивающими составами, пропитаны синтетическими смолами для жёсткости, покрыты слоями щелочестойкого стеклохолста, стеклотетки или жёсткого нетканного материала (из плотной минваты типа войлока повышенной плотности). Несмотря на улучшенные характеристики плиты могут надёжно приклеиваться к фасаду лишь при его строгой вертикальности (при отклонениях от вертикали не более 10–15 мм) и надёжно держать штукатурку не толще 10–15 мм (при сроке эксплуатации до 15–30 лет). Поэтому в российских условиях, когда неровность стен многоэтажных домов может достигать 70 мм и более, применяют подвеску плит минваты методом накалывания на многочисленные горизонтальные кронштейны (в количествах, определенных изготовителем плит), закреплённые на поверхности стены вертикально её поверхности (параллельно горизонту). На тех же кронштейнах (анкерах, шпильках) крепится удерживающая армирующая, ограждающая металлическая сетка и держится штукатурный слой, толщина которого в этом случае может достигать 25–30 мм (см. рис. 30 б). Конструкций различного рода кронштейнов разработано много, в том числе и гибких (подвижных или шарнирных), способных прижимать плиту утеплителя к защищаемой стене под действием силы тяжести штукатурного слоя. Иногда между утеплителем и штукатуркой предусматривают каналы-продухи, соединяющиеся в местах вентиляционных отверстий на фасаде (площадью не менее 75 см² на 20 м² площади стены по СП 23-101-2000). Относительно целесообразности вентиляции штукатурного слоя через специальные продухи у специалистов нет единого мнения (точно так же, как у строителей бань относительно необходимости вентилируемого зазора между вагонкой и пароизоляцией). Одни считают, что вентилируемые продухи выключают из системы теплозащиты здания внешний слой штукатурки, способствуют намоканию внутренних слоёв теплоизоляции при выпадении росы из вентиляционного воздуха при его повышенной влажности. Другие же, наоборот, считают, что вентилируемые каналы способствуют быстрому высыханию стен и утеплителя, улучшают воздухообмен в стене и т. п.

Конечно же, если штукатурка и утеплитель имеют высокую паропроницаемость (а именно такие особые штукатурные составы и разрабатываются для утепления фасадов), то и вентиляция фасада не требуется. Но если фасад декорируется паронепроницаемыми материалами (стек-

лом, пластиком, гофрированным металлом и т. п.), то вентиляционные системы, выводящие влагу из утеплителя (а фактически из стены), абсолютно необходимы (см. рис. 30 в). Для этого разработаны специальные крепёжные элементы (кронштейны, анкеры, шпильки), удерживающие одновременно и утеплитель, и удерживающую (ограждающую) сетку, и внешнюю декоративно-защитную облицовку (ветроодеждазащитную). Подобный опыт утепления наружных стен зданий может быть использован с известными оговорками и при утеплении внутренних стен каменных зданий при монтаже встроенных бань. Так, в технологии встроенных саун, примыкающих к стенам, финнами применяются системы кронштейнов, заканчивающихся шпильками с резьбой (М6, М8 или М10). Плиты минваты нанизываются на эти кронштейны, после чего накладывается пластиковая или металлическая сетка (штукатурная, в том числе и сварная), прижимающаяся шайбами большого диаметра и притягивающаяся гайками по резьбе на шпильках или кронштейнах (рис. 31). На этих же кронштейнах может быть повешена облицовка в виде щитов из вагонки, опирающихся на пол. Такая конструкция позволяет избавиться от деревянных брусков и изготовить единый слой утеплителя (но, к сожалению, со сквозными «мостиками» усиленной теплопередачи по металлическим кронштейнам).

Системы крепления утеплителя к стенам с помощью металлических кронштейнов прежде всего полезны там, где деревянные бруски способны быстро сгнить, то есть при влажных каменных стенах подвалов и цоколей. Каменная стена в земле способна увлажняться как влагой грунта, так и влагой из воздуха помещения. Даже будучи гидроизолированной снаружи и пароизолированной изнутри, стена, тем не менее, нуждается в просушке хотя бы потому, что может увлажняться аварийным образом

(через протечку сверху). Поэтому заглубленная стена подвала должна вентилироваться через продухи, расположенные по внешней (рис. 30 а) или по внутренней (рис. 30 г) стороне стены. Зазор по внутренней стороне

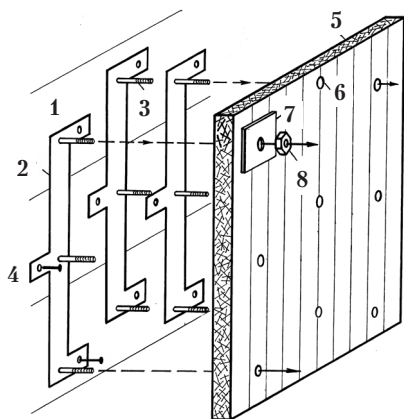


Рис. 31. Вариант крепления жёсткой плиты минеральной ваты к стене на кронштейнах. 1 – стена несущая, 2 – пластины, 3 – приваренные кронштейны с резьбой (например, М8), 4 – гвозди (шурупы), 5 – плита минваты, 6 – места нанизывания (раздвигаемые шилом, отверткой), 7 – прижимная шайба (или сетка), 8 – гайка.

стены может быть смонтирован по-разному, но проще всего с помощью вышеупомянутых кронштейнов-шпилек с резьбой или металлического каркаса с возведением фальшстены (например, из асбоцементных листов), на которой уже закрепляются слои теплоизоляции, пароизоляции и декоративной обшивки. Металлический каркас при больших механических нагрузках на обшивку вполне может быть выполнен из любого металлопроката сваркой или болтовыми соединениями, а при низких механических нагрузках при помощи хорошо освоенных в быту монтажных систем навесных потолков, офисных перегородок, гипсокартонных обшивок стен. Так, например, могут быть использованы заводские металлические профили для монтажа жёстких каркасов под обшивку гипсокартонными листами (панелями «сухой штукатурки»). Фирмой ТИГИ Кнауф изготавливаются из стальной оцинкованной ленты толщиной 0,55–0,8 мм методом холодной прокатки профили ПС, ПН, ПУ (угловые), ПП (потолочные) и др. Внешний вид профилей ПС (профиль стоечный) и ПН (профиль направляющий) представлен на рисунке 32. Это п-образные профили в виде швеллеров, образованных спинкой и двумя полками, имеющими рёбра жёсткости. Типоразмеры профилей – ПС 50/50, ПН 50/40, ПС 65/50, ПН 65/40, ПС 75/50, ПН 75/40, ПС 100/50 и ПН 100/40, где первой цифрой (числителем) указана ширина спинки, а второй (знаменателем) – ширина полки. На самом же деле ширина спинки профиля ПС 50/50 составляет 48,5 мм, что даёт возможность плотно посадить профиль ПС в профиль ПН с образованием жёсткого короба, скрепляемого саморезами или просечками с изгибом. В образовавшихся коробах (или усиленных швеллерах) удобно создавать вентканалы (в том числе и с рассверловкой вентиляционных и коммуникационных отверстий), пропускать электрические и телевизионные кабели, пропускать кабели электрического обогрева и т. п.

Вентилируемый зазор необходимо предусматривать и в случае внешней облицовки бревенчатого сруба кирпичной кладкой (рис. 30 д), поскольку древесина здесь играет роль паропроницаемого утеплителя. Бревенчатую стену целесообразно пароизолировать с внутренней стороны. Если же в составе стены нет высокотеплопроводных и парозадерживающих слоёв, то ситуация резко упрощается. Так, в простейших саунах стены состоят из деревянного каркаса, заполненного утеплителем, и деревянных обшивок из вагонки по обе стороны каркаса. В этом случае пароизоляция не обязательна, достаточна ветрозащита из строительного картона (или диффузионной мембраны) под обеими обшивками, особенно если сауна установлена в отапливаемом помещении в удалении от стен. Но если такая сауна встроена в плохо вентилируемое помещение и особенно вблизи холодной каменной стены, направленной на улицу, то для предотвращения

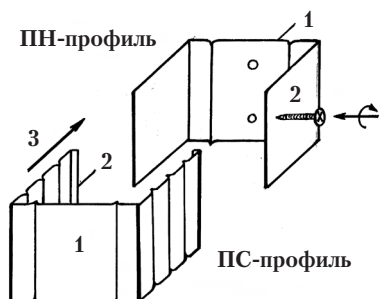


Рис. 32. Форма стоечных профилей ПС и направляющих профилей ПН системы ТИГИ Кнауф для монтажа гипсовых панелей (сухой штукатурки). 1 – спинка профиля, 2 – полка профиля, 3 – направление установки стоечных профилей внутрь направляющих профилей, 4 – скрепление стоечного и направляющего профилей саморезами.

увлажнения помещения (и особенно внутренней поверхности внешней стены помещения) необходимо внутренний слой ветрозащиты стены сауны заменить на пароизоляцию. Внешний слой ветрозащиты стены сауны заменять на пароизоляцию нельзя ни в коем случае.

Зачастую в сухих саунах пароизоляция (например, в виде алюминиевой фольги) закладывается между каркасом и обшивкой без зазора (с возможным клеевым герметичным соединением брусков каркаса с пароизоляцией). При этом обшивка, непосредственно соприкасающаяся с пароизоляционной фольгой (и утеплителем тоже), предотвращает аварийные выпадения мелких плит утеплителя из крупных ячеек каркаса. Если же обшивка не соприкасается с пароизоляцией, то аварийно вываливающиеся из каркаса элементы теплоизоляции могут удерживаться только самой пароизоляцией. В этом случае при низкой механической прочности пленочная пароизоляция может деформироваться (растягиваться, выпячиваться) и даже разрываться, например, при подвижках каркасов, при резких распахиваниях дверей или при сильных поддачах. Поэтому для надёжной сохранности теплоизоляции и пароизоляции недостаточно предотвратить подвижность (разболтанность) каркаса (в том числе и при транспортировке). Необходимо жёстко скреплять теплоизоляцию с рассыхающимся каркасом, например, с помощью тех же кронштейнов, что применяются при утеплениях фасадов (рис. 31). В дачном быту в качестве кронштейнов часто используют обычные гвозди (лучше с шайбами) с длиной на 10–20 мм большей толщины утеплителя, забиваемые через утеплитель в древесину несущей внешней обшивки, после чего утеплитель перевязывается проволокой (или синтетической бечёвкой) за головки гвоздей. Для более надёжного удержания плиты минваты прижимают (желательно на клею) фанерой в размер ячейки каркаса и прихватывают планками-штапиками к каркасу как в окнах и филенчатых дверях (или притягивают фанеру саморезами через заранее просверленные отверстия в фанере к несущей внешней обшивке каркаса). Щели между брусками каркаса и фанерой уплотняют силиконовым

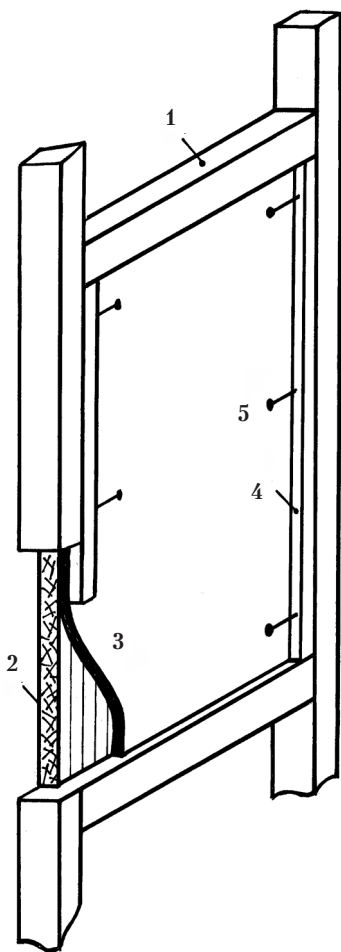


Рис. 33. Вариант закрепления плиты минеральной ваты в ячейке каркаса. 1 – бруски каркаса, 2 – плита минваты (желательно обклеенная бумагой), 3 – фанерка в размер ячейки (или оргалит, тонкая сталь, лист пластика и т. п.), 4 – прижимная планка (штапик) или герметик, 5 – гвозди.

герметиком. При этом между фанерой и пароизоляцией образуется гарантированный зазор, выполняющий роль дополнительного теплоизолятора и предохраняющий пароизоляцию от повреждений в аварийных случаях (рис. 33). Само собой разумеется, если использовать очень прочную пароизоляционную плёнку (например, алюминиевую фольгу толщиной 0,1 мм или даже сталь толщиной 0,55 мм), то она вполне надёжно удержит любую теплоизоляцию (уложенную с прижимом впритык к пароизоляции). Такое решение принимается в сэндвич-панелях заводского изготовления для монтажа крупных каркасно-навесных сооружений. В дачных условиях, к сожалению, алюминиевая фольга (даже мягкая марки М, отожжённая) весьма сложна для герметичного монтажа в стыках и углах, а жесткая упругая марки Т (твердая) вообще не пригодна для пароизоляции, в том числе и по причине неминуемых порывов при

возможных перекосах каркаса. Поэтому при наличии возможности алюминиевую фольгу, а также нерастягивающиеся алюминизированные материалы (бумагу, стеклоткань Армофол или картон) желательно использовать в ответственных (постоянно эксплуатируемых) банных объектах исключительно в качестве отражательной изоляции (см. раздел 3.14), а в целях надёжности пароизоляции для подстраховки заложить под фольгу дублирующую эластичную пароизолирующую плёнку – поливинилбутиральную, полиамидную (капроновую), полиэтиленовую (с рабочей температурой 70–100 °С), полипропиленовую (с рабочей температурой 90–120 °С).

Наибольший интерес для бань представляют полипропиленовые плёнки из нетканного материала (типа войлока), сформированного из спутанного монофиламентного (в виде бесконечной непрерывной нити) волокна, имеющего повышенную термостойкость и высокую прочность на разрыв (Тектон, Пароизол, Изоспан-Д и др.). Для обеспечения паронепроницаемости нетканый материал ламинируют (дублируют) сплошной полиэтиленовой или полипропиленовой плёнкой. Такие плёнки дороги.

Для пароизоляции жилых сооружений широко применяют и самые обычные полиэтиленовые плёнки, изготавливаемые из полиэтилена высокого давления (низкой плотности) методом экструзии (выдавливания) через цилиндрическую фильеру с последующим раздувом рукава сжатым воздухом до диаметра 1–1,5 метра. Из семи марок отечественных плёнок для пароизоляции используются только марки Т и В, содержащие антистатические добавки. Толщины плёнок выбираются в пределах (0,3–0,8) мм, плотность не менее 290 г/м². Рабочий диапазон температур от минус 60°С до плюс 80°С (в строго неподвижном состоянии без нагрузок), паропроницаемость (8–25) г/м² за 24 часа.

Рулонный пенополиэтилен толщиной до 10 мм производится методом экструзии газонаполненного вспенивающегося полиэтилена в виде листа через плоскую щелевую фильеру шириной 1–2 метра. Пенополиэтилен можно алюминизировать (Пенофол). Рабочие температуры пенополиэтилена составляют от минус 60°С до плюс 70°С (Теплон, Изолон) или до 100°С (Унифол), паропроницаемость меньше, чем у плёнок.

Большой интерес представляют полиэтиленовые плёнки, усиленные (армированные) тканью, бумагой, полосами полиэтилена или неткаными материалами на основе бесконечного волокна из полиэтилена низкого давления (высокой плотности). Рабочие температуры до (70–80)°С (Изоспан, Свитапфол, Олефол, Юкатон) или до 100°С (Тайвек). Паропроницаемость может быть снижена до 1 г/м² за 24 часа (Ютафол-Н) и даже до 0,3 г/м² за 24 часа (Юкатон-140). Разработка этих плёнок связана в первую очередь с проблемами эксплуатации совмещенных крыш многоэтажных жилых домов, особенно мансардных. Поэтому эти плёнки часто называются подкровельными (но могут, конечно, использоваться где угодно). Дело в том, что совмещенная крыша является одновременно потолком обитаемого помещения. При этом возникают две проблемы:

– пары воды, диффундирующие через паропроницаемый потолок и утеплитель, конденсируются на холодной нижней стороне кровли (многослойной рубероидбитумной, стальной, черепичной), при этом капли конденсата увлажняют утеплитель;

– утеплитель, увлажненный конденсатом, теряет свои теплоизолирующие свойства, дом становится холодным, к тому же снег зимой начинает таять на крыше, образуемая вода стекает к холодному карнизу и там замерзает, образуя ледяные глыбы (торосы), задерживающие сток воды и разрушающие своим весом карниз.

Все эти факторы характерны и для бань, особенно для однообъёмных. Поэтому изучение опыта городского и коттеджного жилищного строительства и в этом случае будет полезно при постройке бань. Приведём для ориентировки свойства комплекта гидроизоляционных (дождебрызгозащитных) плёнок отечественного производства (по зарубежной технологии) торговой серии «Изоспан», наиболее распространенных в индивидуальном строительстве и обычно называемых подкровельными:

Марка плёнки «Изоспан»	A	AS	B	C	D
Плотность, г/м ²	110	100	70	90	105
Прочность (продольная/поперечная), Н/5 см	177/129	165/120	128/104	197/119	1068/890
Удлинение при разрыве (продольное/поперечное) %	67/75	29/35	79/73	48/54	23/29
Паропроницаемость, г/м ² за 24 часа	≥1000	≥1000	22,4	18,4	3,7
Водоупорность, мм вод. ст.	≥250	≥1000	≥1000	≥1000	≥1000
Ширина рулона, м	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4
Площадь рулона, м ²	70	75	70	70	70
Вес рулона, кг	7,7	7,9	5,0	6,6	7,7

Плёнка марки D представляет собой полипропиленовую ткань с односторонним ламинированием (покрытием) полипропиленовой плёнкой. Обладает исключительно высокой механической прочностью порядка 1000 Н/5 см (сила в один Ньютон Н = 0,1 кг). Это означает, что полоска плёнки шириной 5 см разорвётся при нагрузке порядка 100 кг.

Плёнка марки C представляет собой аналог плёнки марки D, только выполненный из полиэтилена, и поэтому обладает намного меньшей (в 5–8 раз) механической прочностью на разрыв. Плёнки марок C и D являются практически полностью герметичными. Применяются как гидроизоляция (в том числе и для защиты утеплителя обычным образом, например, как рубероид) в местах, где может возникнуть при монтаже и эксплуатации высокая механическая нагрузка на материал (при бетонировании полов, при укладке изоляции между неутеплённой кровлей и обрешеткой, где есть снеговая нагрузка и т. п.). Плёнки выдерживают заметное удлинение при разрыве, что гарантирует сохранность гидроизоляции при незначительных деформациях каркаса стен и крыши.

Плёнки марок A, AS и B являются антиконденсатными. Это означает, что одна из сторон плёнки (а для марки AS обе стороны) выполнена вор-

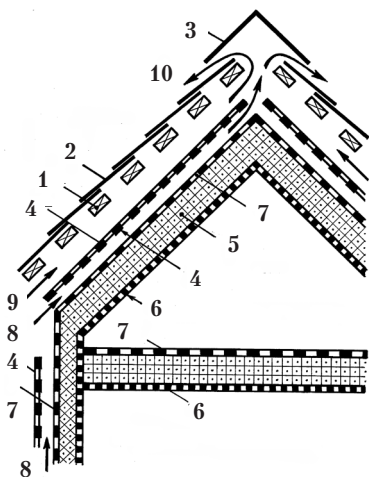


Рис. 34. Схема монтажа специализированных гидроизоляционных плёнок марок «Изоспан». 1 – обрешетка крыши, 2 – кровля (металлочерепица), 3 – конёк, 4 – антиконденсатная плёнка Изоспан -А, 5 – теплоизоляционная плита из минваты, 6 – пароизоляционная плёнка Изоспан-В, 7 – гидроветрозащитная паропроницаемая плёнка Изоспан-AS, 8 и 9 – потоки воздуха через вентиляционные зазоры, 10 – вывод увлажненного (от сушки подкровельного пространства) воздуха через зазор под коньком крыши.

систой, шероховатой и способна удерживать (впитывать) капли росы (конденсата). Целесообразность такого решения объясняется тем, что выбросы значительных количеств пара и заброс брызг осуществляются чаще всего залповым образом (закипел чайник и увлажнил потолок, пошёл дождь и порыв ветра увлёк брызги под кровлю и т. п.). Поэтому полезно эти образующиеся на гидроизоляции капли удерживать, не давая им упасть на утеплитель или каркас, и затем дать им не спеша испариться (выветриться) в вентиляционных потоках.

Кроме того, плёнки марок А и AS серии «Изоспан» отличаются тем, что имеют специальную микроперфорацию. Отверстия настолько малы, что не пропускают воду (из-за несмачиваемости), но пропускают пар. Такие плёнки за рубежом называются диффузионными (супердиффузными) мембранами. Фактически это ветродождезащитные паропроницаемые плёнки, о которых говорилось в разделе 3.3. Они хороши в наших условиях тем, что увлажненный из-за небрежности при монтаже (под дождём) утеплитель всё же в состоянии высохнуть через такую мембрану (медленно, но наверняка способен высохнуть, в отличие от случая полностью паронепроницаемых плёнок).

Плёнка марки В сплошная, но имеет ворс. Она считается пароизолирующей, хотя ограниченно пропускает пар (как и плёнки С и D, как и обычные полиэтиленовые плёнки). Принцип пароизоляции в самом общем случае должен подразумевать только одно – скорость возможного поступления пара из жилого помещения снизу в утеплитель должна быть меньше скорости вывода пара вверх из утеплителя на улицу. Поэтому, используя в качестве пароизоляции плёнку марки В, мы должны использовать с другой стороны утеплителя более паропроницаемую (диффузионную мембрану) марки А или AS. Именно такие диффузионные гидронепроницаемые мембраны (типа известной плёнки Тайвек произ-

водства Дюпон) обеспечили прогресс в области совмещенных крыш. Напомним, что паропроницаемость пергамина при перепаде парциальных давлений водяного пара $\Delta p_{\text{п}} = 1000 \text{ Па}$ составляет 70 г/м^2 за 24 часа, а картона без битумной пропитки – 1400 г/м^2 за 24 часа.

Схема монтажа изоляционных слоев на крыше представлена на рисунке 34. Обитаемый чердак (мансарда) утеплён утеплителем 5, который пароизолирован с внутренней стороны плёнкой 6 Изоспан марки В (а лучше марки С или даже D). Плёнка 6 закладывается под обшивку (вагонку, гипсокартон) с обязательным зазором шероховатой стороной внутрь так, чтобы в случае выпадения на плёнку росы (при залповых выбросах пара) капли не попадали на обшивку. Сверху утеплитель гидроизолирован (точнее, ветроодеждазащищён) от возможных брызг диффузионной мембраной 7 марки Изоспан-AS, уложенной прямо на утеплитель без зазора. Над мембраной 7 должен быть организован обязательный воздушный продух 8 для высушивания мембраны 7 и утеплителя 5. Над зазором 8 может быть смонтирована вторая диффузионная мембрана 4 марки Изоспан-А (шероховатой стороной вниз при расположении под обрешёткой 1 или шероховатой стороной вверх над обрешёткой 1) для ветроодеждазащиты плёнки 7 при ливневых или аварийных протечках кровли. Такая схема полностью разделяет кровлю и утеплённый потолок совмещенной крыши. Если же чердак является необитаемым и неотапливаемым, то схема изоляции упрощается: достаточно под кровлю заложить для страховки от протечек любую из вышеперечисленных плёнок Изоспан, поскольку все они являются дождеветрозащитными.

При монтаже плёнок для склеивания полотнищ (рулонов) внахлёт между собой и с ограждающими конструкциями применяется специальная соединительная самоклеящая лента марки Изоспан-SL.

3.13. Теплоизолирующая способность воздушных прослоек

Зазоры, доступные потокам воздуха, являются продухами, ухудшающими теплоизоляционные характеристики стен. Зазоры же замкнутые (так же как закрытые поры вспененного материала) являются теплоизолирующими элементами. Ветронепродуваемые пустоты широко применяются в строительстве для снижения теплотерь через ограждающие конструкции (щели в кирпичах и блоках, каналы в бетонных панелях, зазоры в стеклопакетах и т. п.). Пустоты в виде непродуваемых воздушных прослоек используются и в стенах бань, в том числе каркасных. Эти пустоты зачастую являются основными элементами теплозащиты. В частности, именно наличие пустот с горячей стороны стены позволяет ис-

пользовать легкоплавкие пенопласты (пенополистирол и пенополиэтилен) в глубинных зонах стен высокотемпературных бань.

В то же время пустоты в стенах являются самыми коварными элементами. Стоит в малейшей степени нарушить ветроизоляцию, и вся система пустот может стать единым продуваемым выхолаживающим продухом, выключаяющим из системы теплоизоляции стен все внешние теплоизоляционные слои. Поэтому пустоты стараются делать небольшими по размеру и гарантированно изолируют друг от друга.

Использовать понятие теплопроводности воздуха (а тем более использовать ультранизкое значение коэффициента теплопроводности неподвижного воздуха 0,024 Вт/м град) для оценки процессов теплопередачи через реальный воздух невозможно, поскольку воздух в крупных пустотах является крайне подвижной субстанцией. Поэтому на практике для теплотехнических расчётов процессов передачи тепла даже через условно «неподвижный» воздух применяют эмпирические (опытные, экспериментальные) соотношения. Чаще всего (в простейших случаях) в теории теплопередачи считается, что тепловой поток из воздуха на поверхность тела в воздухе равен $Q = \alpha \Delta T$, где α – эмпирический коэффициент теплопередачи «неподвижного» воздуха, ΔT – разность температур поверхности тела и воздуха. В обычных условиях жилых помещений коэффициент теплопередачи равен ориентировочно $\alpha = 10$ Вт/м² град. Именно этой цифры мы будем придерживаться при оценочных расчётах прогрева стен и тела человека в бане. При помощи потоков воздуха со скоростью V (м/сек), тепловой поток увеличивается на величину конвективной составляющей $Q = \beta V \Delta T$, где β примерно равен 6 Вт·сек/м³·град. Все величины зависят от пространственной ориентации и шероховатости поверхности. Так, по действующим нормам СНиП 23-02-2003 коэффициент теплопередачи от воздуха к внутренним поверхностям ограждающих конструкций принимается равным 8,7 Вт/м² град для стен и гладких потолков со слабо выступающими рёбрами (при отношении высоты рёбер «h» к расстоянию «a» между гранями соседних рёбер $h/a \leq 0,3$); 7,6 Вт/м² град для потолков с сильно выступающими рёбрами (при отношении $h/a \geq 0,3$); 8,0 Вт/м² град для окон и 9,9 Вт/м² град для зенитных фонарей. Финские специалисты принимают коэффициент теплопередачи в «неподвижном» воздухе сухих саун равным 8 Вт/м² град (что в пределах ошибок измерений совпадает с принимаемым нами значением) и 23 Вт/м² град при наличии потоков воздуха со скоростью в среднем 2 м/сек.

Столь малое значение коэффициента теплопередачи в условно «неподвижном» воздухе $\alpha = 10$ Вт/м² град соответствует понятию воздуха как теплоизолятора и объясняет необходимость использования высоких тем-

ператур в саунах для быстрого согрева тела человека. Применительно же к стенам это означает, что при характерных теплопотерях через стены бани ($50\text{--}200$) Вт/м² разница температур воздуха в бане и температур внутренних поверхностей стен бани может достигать $(5\text{--}20)^\circ\text{C}$. Это очень большая величина, часто никак и никем не учитываемая. Наличие в бане сильной конвекции воздуха позволяет снизить перепад температуры вдвое. Отметим, что столь высокие перепады температур, характерные для бань, недопустимы в жилых помещениях. Так, нормируемый в СНиП 23-02-2003 температурный перепад между воздухом и стенами не должен превышать 4°C в жилых помещениях, $4,5^\circ\text{C}$ в общественных и 12°C в производственных. Более высокие перепады температур в жилых помещениях неминуемо приводят к ощущениям холода от стен и выпадению росы на стенах (см. далее раздел 3.15).

Используя введенное понятие коэффициента теплопередачи от поверхности в воздух, пустоты внутри стены можно рассматривать как последовательное расположение теплопередающих поверхностей (см. рис. 35). Пристеночные зоны воздуха, где и наблюдаются вышеуказанные перепады температур ΔT , называются пограничными слоями. Если в стене (или стеклопакете) имеются два пустотных промежутка (например, три стекла), то фактически имеется 6 пограничных слоёв. Если через такую стену (или стеклопакет) проходит тепловой поток 100 Вт/м², то на каждом пограничном слое температура изменяется на $\Delta T = 10^\circ\text{C}$, а на всех шести слоях перепад температуры составляет 60°C . Учитывая, что тепловые потоки через каждый в отдельности пограничный слой и через всю стену в целом равны между собой и составляют всё же 100 Вт/м², то результирующий коэффициент теплопередачи для стены без пустот («стеклопакет» с одним стеклом) составит 5 Вт/м² град, для стены с одной пустотной прослойкой (стеклопакет с двумя стёклами) $2,5$ Вт/м² град, а с двумя пустотными прослойками (стеклопакет с тремя стёклами) $1,67$ Вт/м² град. То есть, чем больше пустот (или чем больше стёкол), тем теплей стена. При этом теплопроводность самого материала стен (стёкол) в этом расчёте предполагалась бесконечно большой. Иными словами, даже из очень «холодного» материала (например, стали) можно в принципе изготовить очень тёплую стену, предусмотрев лишь наличие в стене множества воздушных прослоек. Собственно, на этом принципе и работают все стеклянные окна.

Для упрощения оценочных расчётов удобней использовать не коэффициент теплопередачи α , а его обратную величину – сопротивление теплопередаче (термическое сопротивление пограничного слоя) $R = 1/\alpha$. Термическое сопротивление двух пограничных слоёв, отвечающее одному слою материала стены (одного стекла) или одному воздушному промежутку (прослойке), равно $R = 0,2$ м² град/Вт, а трёх слоёв материала стены (как

на рисунке 35) – сумме сопротивлений шести пограничных слоёв, то есть $0,6 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$. Из определения понятия сопротивления теплопередаче $Q = \Delta T/R$ следует, что при том же тепловом потоке 100 Вт/м^2 и термическом сопротивлении $0,6 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ перепад температуры на стене с двумя воздушными прослойками составит те же 60°C . Если же число воздушных прослоек увеличить до девяти, то перепад температуры на стене при том же тепловом потоке 100 Вт/м^2 составит 200°C , то есть расчётная температура внутренней поверхности стены в бане при тепловом потоке 100 Вт/м^2 повысится с 60°C до 200°C (если на улице 0°C).

Коэффициент теплопередачи является результирующим показателем, комплексно суммирующим последствия всех физических процессов, происходящих в воздухе у поверхности теплоотдающего или теплопринимающего тела. При малых перепадах температур (и малых тепловых потоках) конвективные потоки воздуха малы, теплопередача в основном происходит кондуктивно за счёт теплопроводности неподвижного воздуха. Толщина пограничного слоя составляла бы малую величину, всего лишь $a = \lambda R \approx 0,0024 \text{ м}$, где $\lambda = 0,024 \text{ Вт/м град}$ – коэффициент теплопроводности неподвижного воздуха, $R = 0,1 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ – термическое сопротивление пограничного слоя. В пределах пограничного слоя воздух имеет разные температуры, вследствие чего за счёт гравитационных сил воздух у горячей вертикальной поверхности начинает всплывать (а у холодной – погружаться), набирая скорость, и турбулизируется (взвихривается). За счёт вихрей теплопередача воздуха увеличивается. Если вклад этой конвективной составляющей формально ввести в значение коэффициента теплопроводности λ , то увеличение этого коэффициента теплопроводности будет отвечать формальному увеличению толщины пограничного слоя $a = \lambda R$ (как мы увидим ниже, примерно в 5–10 раз с $0,24 \text{ см}$ до $1\text{--}3 \text{ см}$). Ясно, что это формально увеличенная толщина пограничного слоя коррелируется с размерами воздушных потоков и вихрей. Не углубляясь в тонкости структуры пограничного слоя, отметим, что значительно большее значение имеет понимание того, что передающееся в воздух тепло может «улететь» вверх с конвективным потоком, так и не достигнув следующей пластины многослойной стены или следующего стекла стеклопакета. Это отвечает случаю калориферного нагрева воздуха, который будет рассмотрен ниже при анализе экранированных металлических печей (раздел 5). Здесь же мы рассматриваем случай, когда воздушные потоки в прослойке имеют ограниченную высоту, например, в 5–20 раз превышающую толщину прослойки δ . При этом в воздушных прослойках возникают циркуляционные потоки (рис. 22 е), которые фактически участвуют в переносе тепла совместно с кондуктивными потоками тепла.

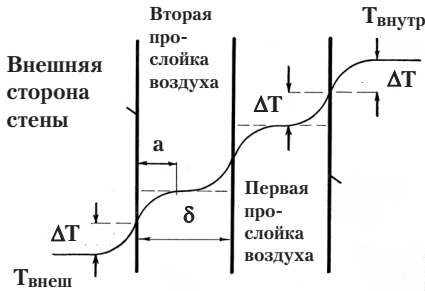


Рис. 35. Распределение температуры в стене, состоящей из замкнутых (несообщающихся) воздушных прослоек, образованных тремя стальными (или стеклянными) пластинами (в предположении полного отсутствия лучистых тепловых потоков). Поток тепла справа налево. Температура внутреннего воздуха $T_{\text{внутр}}$ выше температуры внешнего воздуха $T_{\text{внешн}}$. На каждой поверхности образуется пограничный теплопередающий слой толщиной $a = (1-3)$ см с перепадом температуры ΔT . Поток тепла равен $Q = \Delta T/R = (T_{\text{внутр}} - T_{\text{внешн}})/6R$, где $R = 0,1 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ – термическое сопротивление пограничного слоя, не зависящее от толщины воздушных прослоек δ , если $a < \delta$.

При малых толщинах воздушных прослоек встречные потоки воздуха у противоположных стенок зазора начинают влиять друг на друга (перемешиваются). Иными словами, толщина воздушной прослойки становится меньше двух невозмущенных пограничных слоёв, вследствие чего коэффициент теплопередачи увеличивается, а сопротивление теплопередачи соответственно уменьшается. Кроме того, при повышенных температурах стенок воздушных прослоек начинают играть роль процессы теплопередачи излучением. Уточнённые данные в соответствии с официальными рекомендациями СНиП II-3-79* приводятся в таблице 7, откуда видно, что толщина невозмущенных пограничных слоёв составляет 1–3 см, но существенное изменение теплопередачи наступает лишь при толщинах воздушных прослоек менее 1 см. Это означает, в частности, что воздушные промежутки между стёклами в стеклопакете не следует делать толщиной менее 1 см.

Таблица 7

Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки,
м² град/Вт

Толщина воздушной прослойки, см	для горизонтальной прослойки при потоке тепла снизу вверх или для верти- кальной прослойки		для горизонтальной прослойки при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке:			
	положи- тельной	отрица- тельной	положи- тельной	отрица- тельной
1	0,13	0,15	0,14	0,15
2	0,14	0,15	0,15	0,19
3	0,14	0,16	0,16	0,21

5	0,14	0,17	0,17	0,22
10	0,15	0,18	0,18	0,23
15	0,15	0,18	0,19	0,24
20–30	0,15	0,19	0,19	0,24

Из таблицы 7 видно, что официальные рекомендации отличаются от введённой нами оценочной величины термического сопротивления воздушного зазора $R = 0,2 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ не более, чем на 20–25%.

Их таблицы 7 также следует, что более тёплые воздушные прослойки имеют более низкие термические сопротивления (лучше пропускают через себя тепло). Это объясняется влиянием на теплоперенос лучистого механизма, который мы рассмотрим в следующем разделе. Отметим при этом, что вязкость воздуха растёт с температурой, так что тёплый воздух турбулизруется хуже.

Если конструкционный материал стены обладает низкой теплопроводностью, то при расчётах необходимо учитывать его вклад в теплосопротивление стены (рис. 36). Хотя вклад пустот, как правило, является значительным, заполнение всех пустот эффективным утеплителем позволяет (за счёт полной остановки движения воздуха) существенно (в 3–10 раз) повысить тепловое сопротивление стены (рис. 37).

Сама по себе возможность получения вполне пригодных для бань (по крайней мере, летних) тёплых стен из нескольких слоёв «холодного» металла, конечно же, интересна и используется, например, финнами для

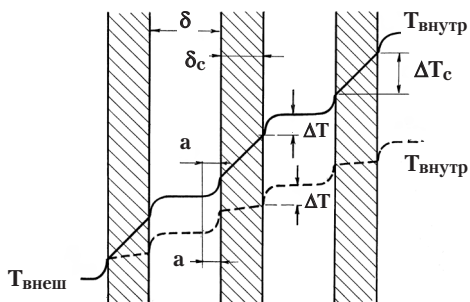


Рис. 36. Распределение температуры в стене, состоящей из замкнутых (несообщающихся) воздушных прослоек, образованных тремя стенками из низкотеплопроводного («тёплого») материала (в предположении полного отсутствия лучистых тепловых потоков). Обозначения те же, что и на рисунке 35. За счёт низкой теплопроводности материала стенок возникают перепады температур $\Delta T_c = QR_c$, где R_c – термическое сопротивление стенки $R_c = \delta_c/\lambda_c$

(δ_c – толщина стенки, λ_c – коэффициент теплопроводности материала стенки). При увеличении λ_c перепады температур ΔT_c уменьшаются, но перепады температур на пограничных слоях ΔT сохраняются неизменными. Это иллюстрируется распределением $T_{\text{внутр}}$, относящимся к случаю более высокой теплопроводности материала стенок. Тепловой поток через всю стену $Q = \Delta T/R = \Delta T_c/R_c = (T_{\text{внутр}} - T_{\text{внеш}})/(3R_c + 6R)$. Термическое сопротивление пограничных слоёв R и их толщина a не зависят от теплопроводности материала стенок λ_c и их термического сопротивления R_c .

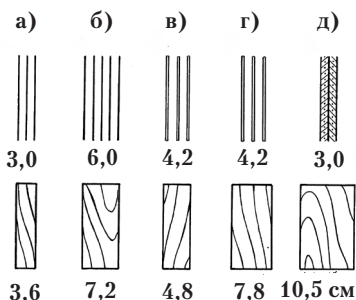


Рис. 37. Сопоставление теплоизолирующих способностей разных конструкций стен (с учётом внешних пограничных слоёв и в предположении полного отсутствия лучистых тепловых потоков, то есть при зеркальных поверхностях): а – три слоя металла (или стекла), отстоящих друг от друга с зазорами по 1,5 см, эквивалентны древесине толщиной 3,6 см; б – пять слоёв металла с зазорами по 1,5 см, эквивалентны древесине толщиной 7,2 см; в – три слоя фанеры толщиной по 4 мм с зазорами по 1,5 см, эквивалентны древесине толщиной 4,8

см; г – три слоя пенополиэтилена толщиной по 4 мм с зазорами по 1,5 см, эквивалентны древесине толщиной 7,8 см; д – три слоя металла с зазорами по 1,5 см, заполненными эффективным утеплителем (пенополистиролом, пенополиэтиленом или минватой), эквивалентны древесине толщиной 10,5 см. Принятая величина зазоров является условной, эквивалентные толщины древесины в примерах а–г слабо изменяются при изменении величины зазоров в пределах (1÷30)см.

противопожарной защиты стен в саунах около печи (см. раздел 5). На практике, однако, такое решение оказывается весьма сложным ввиду необходимости механической фиксации параллельных слоёв металла многочисленными перемычками, которые играют роль нежелательных «мостиков» холода. Так или иначе, даже один слой металла или ткани «греет», если не продувается ветром. На этом явлении основаны палатки, юрты, чумы, которые, как известно, до сих пор используются (и использовались веками) в качестве бань в кочевых условиях. Так, один слой ткани (всё равно какой, лишь бы непродуваемой) лишь в два раза «холодней» кирпичной стены толщиной 6 см, а прогревается в сотни раз быстрее. Тем не менее, ткань палатки остаётся намного холодней воздуха в палатке, что не позволяет реализовать сколько бы то ни было длительных паровых режимов. К тому же, любые (даже мелкие) порывы ткани сразу же приводят к мощным конвективным тепловпотерям.

Наибольшее значение в бане (так же как и в жилых зданиях) имеют воздушные прослойки в окнах. При этом приведённое сопротивление теплопередаче окон измеряется и рассчитывается на всю площадь оконного проёма, то есть не только на стеклянную часть, но и на переплёт (деревянный, стальной, алюминиевый, пластиковый), который, как правило, имеет лучшие теплоизолирующие характеристики, чем стекло. Для ориентировки приведём нормативные значения термического сопротивления окон разных типов по СНиП II-3-79* и сотовых материалов с учётом теплового сопротивления внешних пограничных слоёв внутри и вне помещения (см. таблицу 8).

Таблица 8

Приведенное сопротивление теплопередаче окон и оконных материалов

Тип конструкции	Сопротивление теплопередаче, м ² град/Вт
Одинарное остекление	0,16
Двойное остекление в спаренных переплѣтах	0,40
Двойное остекление в раздельных переплѣтах	0,44
Тройное остекление в раздельно-спаренных переплѣтах	0,55
Четырѣхслойное остекление в двух спаренных переплѣтах	0,80
Стеклопакет с межстекольным расстоянием 12 мм:	
– однокамерный	0,38
– двухкамерный	0,54
Блоки стеклянные пустотные (с шириной швов 6 мм) размером:	
194x194x98 мм	0,31
244x244x98 мм	0,33
Поликарбонат сотовый «Акувер» толщиной:	
двухслойный 4 мм	0,26
двухслойный 6 мм	0,28
двухслойный 8 мм	0,30
двухслойный 10 мм	0,32
трѣхслойный 16 мм	0,43
многоперегородчатый 16 мм	0,50
многоперегородчатый 25 мм	0,59
Полипропилен сотовый «Акувонд» толщиной:	
двухслойный 3,5 мм	0,21
двухслойный 5 мм	0,23
двухслойный 10 мм	0,30
Брусовая стена (для сравнения) толщиной:	
5 см	0,55
10 см	0,91

3.14. Отражающая теплоизоляция

В предыдущем разделе было установлено, что характерный перепад температур в непродуваемых полостях стен достигает 20°С при характерных величинах тепловых потоков через стены бани порядка 100 Вт/м². А раз противоположные стенки полостей имеют разные температуры, то они и излучают разные потоки лучистой (радиационной, инфракрасной) энергии q . В результате, в полости возникает нескомпенсированный поток тепла $\Delta q = q_1 - q_2$, где q_1 и q_2 – потоки лучистой энергии с противоположных стенок полостей (рис. 38).

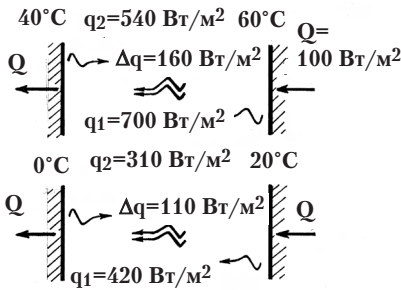


Рис. 38. Схемы, поясняющие возникновение дополнительного теплопереноса за счёт лучистого теплового потока в воздушной прослойке. При потоке тепла через стену 100 Вт/м^2 за счёт пограничных слоёв в воздушной прослойке образуется перепад температур 20°C . При температурах абсолютно чёрных стенок воздушной прослойки 60°C и 40°C результирующий лучистый поток $\Delta q = q_1 - q_2$ составит 160 Вт/м^2 , а при температурах 20°C и 0°C – 110 Вт/м^2 , что превышает тепловой поток 100 Вт/м^2 , рассчитанный

в предположении полного отсутствия лучистого теплопереноса (то есть при абсолютно отражающих зеркальных стенках прослойки). Это означает, что теплоизолирующая способность воздушного зазора может значительно увеличиваться (в 2–3 раза) при замене черных (в инфракрасной области) стенок зазора на отражающие.

Мощность теплового излучения поверхности (во все стороны в целом) составляет $q = \varepsilon \sigma T^4$, где T – температура поверхности в градусах Кельвина $T = (273 + t)$, где t – температура в градусах Цельсия, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \text{ град}^4$ – постоянная Стефана-Больцмана, ε – степень черноты поверхности. При степени черноты поверхностей воздушной прослойки, равной единице (абсолютно чёрное тело), дисбаланс лучистых потоков тепла Δq может превысить кондуктивный поток тепла через воздух Q , особенно при высоких температурах стенок.

На практике степень черноты поверхностей (равная коэффициенту поглощения лучистой энергии поверхностью) строительных материалов (даже визуально белых) в дальней инфракрасной спектральной области (5–15) мкм (отвечающей излучению тел с температурой от минус 50°C до плюс 100°C) составляет обычно величину на уровне $\varepsilon = 0,9$, поэтому учёт процессов излучения необходим. Единственным материалом, имеющим в инфракрасной области спектра малую степень черноты, является полированный металл, в качестве которого обычно используют алюминий, напылённый на подложку (лавсановую плёнку, бумагу, картон, холст и т. п.). Такие блестящие (зеркальные) материалы имеют степень черноты в инфракрасной области на уровне 0,02–0,05, то есть имеют коэффициент отражения 95–98%. В кирпичной кладке такие материалы использовать сложно, а в деревянных каркасных строениях удобно.

В видимой же области спектра помимо полированных металлов малую степень черноты имеют белые материалы (табл. 9).

Таблица 9

Степени черноты (коэффициенты поглощения лучистой энергии) поверхностей материалов по отношению к солнечному излучению

Материал	Степень черноты
Алюминий листовой кровельный волнистый	0,3–0,5
Асбестоцементные листы	0,65
Бетон	0,7
Дерево некрашенное	0,6
Кирпич глиняный красный	0,7
Кирпич силикатный	0,6
Окраска известковая белая	0,3
Рубероид	0,9
Сталь листовая, окрашенная масляной краской:	
– белой	0,45
– зелёной	0,6
– тёмно-красной	0,8
Сталь кровельная оцинкованная	0,65
Асфальт	0,9

При анализе процессов лучистого теплообмена необходимо учитывать реальные спектральные степени черноты излучающих и поглощающих поверхностей. Так, например, тепловой баланс 1 м^2 поверхности бака с водой, расположенного на солнце, складывается:

– из притока тепла солнечного излучения $\varepsilon_c \beta_c I_c$, где $I_c = 1400 \text{ Вт/м}^2$ – солнечная постоянная, β_c – степень пропускания солнечного излучения атмосферой, ε_c – степень черноты поверхности бака в видимой области спектра (табл.9);

– из притока тепла инфракрасного излучения от окружающей среды (неба, земли, деревьев и т. п.) $\varepsilon_0 \sigma T_0^4$, где T_0 и $\varepsilon_0 \cong 1$ – абсолютная температура и степень черноты окружающей среды в дальней инфракрасной области спектра;

– из оттока собственного теплового излучения с поверхности бака $\varepsilon_6 \sigma T_6^4$, где T_6 – абсолютная температура бака с водой, ε_6 – степень черноты поверхности бака в дальней инфракрасной области спектра. Таким образом, лучистый тепловой поток на стенки бака равен $q = \varepsilon_c \beta_c I_c + \varepsilon_0 \sigma T_0^4 - \varepsilon_6 \sigma T_6^4$. В ясную солнечную погоду преобладающий вклад вносит первая составляющая при условии высокой черноты бака $\varepsilon_c \cong 1$. Но если бак не чернить, а покрасить белой масляной краской (а лучше белой краской с минимальным количеством связующего, например, известковой так, чтобы белоснежная поверхность пигмента – мела, извести, окиси цинка, окиси титана и т. п., не заслонялась плёнкой полимера) или

сделать блестящей, с зеркально отражающей поверхностью, то за счёт низкого значения ϵ_c влияние солнечного нагрева может стать незначительным, особенно в пасмурную погоду.

Так, белоснежный снег в высокогорьях имеет степень черноты в видимой области $\epsilon_c=0,15$, а в дальней инфракрасной $\epsilon_b=0,9$. Небо (из-за необычайно чистого воздуха и малого содержания водяных паров в атмосферном воздухе) имеет радиационную температуру порядка минус 30°C при степени черноты неба $\epsilon_0=1$ в дальней инфракрасной области. Поэтому снег с температурой 0°C получает от солнца в зените даже в безоблачную погоду всего лишь 210 Вт/м^2 , получает от неба около 200 Вт/м^2 и отдаёт за счёт собственного теплового излучения около 300 Вт/м^2 . Таким образом, возникает известная ситуация, когда в горах на солнце снег может нагреваться (таять или испаряться) даже зимой, а в тени (или при сильных наклонах солнца к поверхности снега) – охлаждаться даже летом. Среднесуточный тепловой баланс лучистого теплообмена определяет температуру воздуха в высокогорьях точно также, как в низовьях при антициклонах, когда влияние атмосферы на нагрев поверхности земли незначителен ввиду высокой сухости воздуха (поскольку атмосфера влияет на погоду, в основном, через процессы выделения тепла конденсации водяных паров во время циклонов и также через оптическое пропускание солнечного излучения β_c).

Оптические факты бывают очень важными и в быту. Так, белая одежда эффективно отражает прямое солнечное излучение, но излучение от печи в бане белая одежда поглотит практически полностью, поскольку в видимой области степень черноты белой ткани низка $0,2-0,4$, а в дальней инфракрасной области спектра велика $0,8-1,0$. Конечно, белая простыня загородит человека от излучения от печи, но нагреется от длинноволнового инфракрасного излучения точно также, как и чёрная. Белая батарея центрального водяного отопления излучает практически также, как чёрная, хотя та же белая батарея нагревается на солнце (например, при работе в составе солнечного водогрейного коллектора) много хуже, чем такая же, но чёрная.

Внутри полостей в стенах зданий лучистый обмен происходит в дальней инфракрасной ($10-15$) мкм спектральной области, поэтому и белые, и чёрные стенки полостей (воздушных прослоек) имеют примерно одинаковые степени черноты $\epsilon=0,9$. Единственными материалами, имеющими в дальней инфракрасной области спектра низкие степени черноты (высокие степени отражения), являются полированные (блестящие, зеркальные) металлические поверхности, из которых практический интерес для строительства представляют только блестящие алюминизированные материалы (бумага, картон, стеклохолст, полиэтиленовая, пропиленовая

плёнки и т. п.). Отметим, что лаковый или стеклянный слой на поверхности металла не допустим, поскольку натриевые стёкла и пластмассы (кроме полиэтилена и полипропилена) сильно поглощают в дальней инфракрасной области спектра (рис. 39). Так, обычное зеркало, несмотря на очень сильное отражение в видимой области спектра, является чёрным материалом в спектральной области (10–15) мкм. Очень высокие отражающие характеристики имеют тонкие лавсановые плёнки с напылённым зеркальным алюминиевым слоем, использовавшиеся для постановки радиопомех с самолётов в системах военной антирадарной защиты и применявшихся в порядке двойных технологий и в быту для изготовления ёлочных игрушек и украшений. Так, если в сауне оклеить потолок такой блестящей плёнкой, то сауна при потушенной печи сразу же станет намного «холодней», хотя температура воздуха в сауне от обивки потолка плёнкой, конечно же, не изменится. Но если в сауне имеется раскалённая металлическая печь (или дымовая труба), то блестящая алюминизированная плёнка может отразить лучистое тепло от печи и дополнительно обогреть им человека. В то же время визуально чёрные и белые потолки саун греют человека сверху практически одинаково.

Особый интерес для бань имеют толстые плёнки вспененного полиэтилена, с двух сторон покрытые алюминиевой фольгой с отражательной способностью 97%. Такой материал, например, марки Пенофол-В, по рекламной информации завода-изготовителя ЛИТ (г. Переславль-Залесский) обладает исключительно высокой теплоизолирующей способностью: при толщине плёнки всего 4 мм имеет термическое сопротивление $1,2 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ (при перепаде температур 40°C от минус 20°C до плюс 20°C). Это соответствует кладке кирпича толщиной 670 мм (2,5 кирпича) или стене газопенобетона толщиной 350 мм или плите пенополистирола (или того же пенополиэтилена, но без алюминиевой фольги) толщиной 46 мм (см. Справочник «Теплый дом», М.: Стройинформ, 2000, с. 351). Поэтому у многих доверчивых дачников возникло устойчивое мнение, что такой тонкий материал 4 мм способен сказочным образом заменить (по теплоизолирующим характеристикам) брусовую стену толщиной 15 см, тем более, что в рекламе заявляются рабочие температуры Пенофола от минус 60°C до плюс 200°C .

К сожалению это не так, вернее не совсем так. Если плёнку алюминизированного пенополиэтилена толщиной 4 мм заложить внутрь стены совсем без зазоров (например, между двух слоев оргалита), то он будет вести себя просто как слой пенополиэтилена с обычной теплопроводностью $0,04 \text{ Вт/м град}$ и термическим сопротивлением всего лишь $0,1 \text{ м}^2\text{град/Вт}$. Отражательная изоляция будет заметно «работать» только в зазорах (в газовых или вакуумных прослойках), причём только при

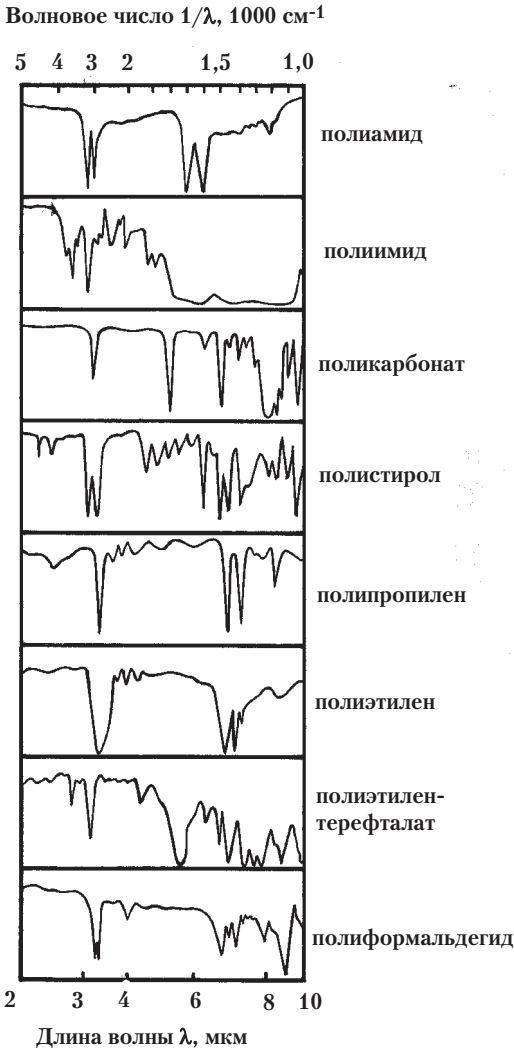


Рис. 39. Спектры поглощения инфракрасного излучения полимерными плёнками. Всплески вниз указывают на поглощение.

высоких температурах и при как можно более высоких перепадах температур на стенках зазоров. Наибольший эффект будет наблюдаться, если мы сделаем (гипотетически) из такой плёнки стену здания-палатки (рис. 40). Если температура воздуха внутри помещения равна плюс 20°C , а снаружи – минус 20°C , то при термическом сопротивлении самой плёнки и каждого из пограничных слоёв $0,1 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ общее термическое сопротивление стены составит всего лишь $0,3 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$. Это значит, что плёнка алюминизированного полиэтилена толщиной 4 мм кондуктивно проводит за счёт теплопроводности 133 Вт/м^2 (пунк-

тирная кривая распределения температур на рисунке 40 а).

Если заменить отражающие алюминиевые обкладки плёнки на зачёрнённые, то поверхность плёнки сможет полностью поглощать испускаемое изнутри помещения лучистое тепло мощностью 417 Вт/м^2 (отвечающее мощности излучения абсолютно чёрного тела при 20°C), и в то же время сможет испускать назад в помещение собственное тепловое излучение мощностью 365 Вт/м^2 . В результате на поверхность плёнки будет дополнительно поступать лучистый поток 52 Вт/м^2 . Поверхность плёнки

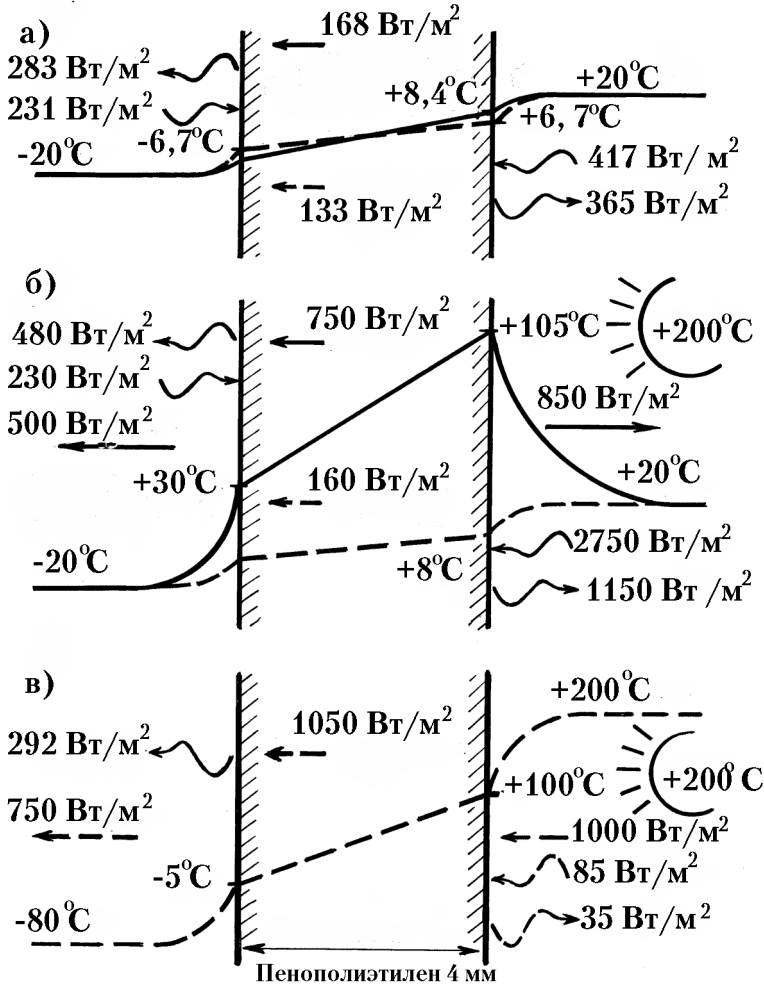


Рис. 40. Распределение температур и тепловых потоков в плёнке пенополиэтилена толщиной 4 мм. Прямые стрелки – кондуктивные тепловые потоки, волнистые стрелки – лучистые тепловые потоки, пунктирные стрелки – тепловые потоки при коэффициенте отражения поверхностей 97%, сплошные стрелки – тепловые потоки при абсолютно чёрных поверхностях: а – плёнка при температуре воздуха справа плюс 20°C , слева – минус 20°C ; б – плёнка при температуре воздуха справа плюс 20°C , слева – минус 20°C , справа поступает тепловое излучение от чёрной горячей поверхности регистра с температурой 200°C ; в – плёнка при температуре воздуха справа плюс 200°C , слева – минус 80°C , справа поступает тепловое излучение от чёрной горячей поверхности с температурой 200°C .

нагреется с $6,7^{\circ}\text{C}$ до $8,4^{\circ}\text{C}$, поток тепла внутри плёнки несколько повысится с 133 Вт/м^2 до 168 Вт/м^2 (сплошная кривая распределения температуры на рисунке 40 а). Иными словами, все тепловые расчёты стен жилых помещений, не учитывающие лучистой составляющей теплопереноса, могут, в принципе, обладать погрешностью до 25%. Тем не менее, общие теплоизолирующие характеристики плёнки пенополиэтилена не очень сильно зависят от отражательных свойств алюминиевого покрытия: общее термическое сопротивление слоя пенополиэтилена толщиной 4 мм (используемого в качестве оголённой стены) составляет $0,24 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ при абсолютно чёрных его поверхностях и $0,30 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ при абсолютно отражающих. Достиж заявленных рекламой значений термического сопротивления $1,2 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ в рассмотренном случае невозможно.

Ясно, что отражающая изоляция будет эффективно работать только там, где имеются мощные лучистые потоки, например, при теплоизоляции горячих труб (трубопроводов с горячим теплоносителем) или защите легкоплавкого утеплителя (пенополиэтилена, пенопропилена) от инфракрасного излучения металлической печи в бане. Как и ранее, отражающая сторона изоляции должна монтироваться с воздушным зазором от горячей трубы, в противном случае кондуктивный поток тепла разогреет отражающий слой, а пенополиэтилен может попросту расплавиться. Сначала мы рассмотрим случай, когда воздух внутри помещения имеет ту же температуру 20°C , но на внутреннюю поверхность плёнки пенополиэтилена поступает лучистый поток тепла от раскалённой абсолютно чёрной поверхности с температурой 200°C . Такая ситуация имеет место, в частности, при расположении парового регистра (батареи центрального отопления) у стены, теплозащищаемой рассматриваемой отражающей теплоизоляцией (рис. 40 б). Будем условно считать, что воздух между регистром и стеной остается с той же температурой 20°C (то есть он достаточно быстро циркулирует в помещении). Сначала рассмотрим случай, когда поверхности пенополиэтилена абсолютно чёрные. В этом случае всё испускаемое регистром тепло мощностью 2750 Вт/м^2 полностью поглощается плёнкой, что приводит к разогреву внутренней поверхности плёнки до критической температуры 105°C , при которой размягчающийся полиэтилен начинает деформироваться под своей тяжестью («плыть»). При этом разогревшаяся чёрная плёнка отдаёт «назад» испускаемый ею лучистый поток 1150 Вт/м^2 и кондуктивный поток в воздух 850 Вт/м^2 . Оставшиеся 750 Вт/м^2 проходят через плёнку, нагревая наружную сторону плёнки до плюс 30°C (при температуре на улице минус 20°C). Теплопотери через стены огромные, и чёрная плёнка, таким образом, малоэффективна: термическое сопротивление составляет $0,3 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ (если формально принять перепад температур на стене 220°C) и $0,05 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$ (если

перепад температур, как и прежде, принять равным $40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Если же поверхности плёнки сделать блестящими с коэффициентом отражения 97%, то картина резко изменится: плёнка будет поглощать лишь 85 Вт/м^2 из излучаемого трубой лучистого тепла 2750 Вт/м^2 . А это значит, что плёнка практически вообще не будет ощущать наличие вблизи себя раскалённой поверхности, и тепловой поток через неё снизится с 750 Вт/м^2 до 160 Вт/м^2 . Термическое сопротивление составит $(1,25\text{--}1,37)\text{ м}^2\text{ град/Вт}$ (если перепад температур условно принять на уровне $200\text{--}220\text{ }^{\circ}\text{C}$ с учётом температуры регистра) и $0,25\text{ м}^2\text{ град/Вт}$ (если перепад температур, как и прежде, принять по перепаду температур воздуха $40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Таким образом, при определённой методике условного расчёта можно в этом случае формально достичь термического сопротивления $1,2\text{ м}^2\text{ град/Вт}$ (и даже выше), но эта цифра не отвечает общепринятому инженерному определению понятия термического сопротивления. Этот пример ещё раз показывает, что рекламными сведениями при конкретных инженерных расчётах надо пользоваться критически и крайне осторожно. К сожалению, предприятия-изготовители не всегда понимают, что слишком приукрашивающая реклама может вредить репутации даже безупречного товара.

Вместе с тем, отражающая теплоизоляция (в том числе и безусловно качественная продукция завода ЛИТ марки Пенофол) без сомнения незаменима, именно там, где имеются мощные источники лучистого тепла. В этом случае даже неважно, на каком носителе нанесено отражающее покрытие: на высокотеплопроводной ли стеклоткани или на низкотеплопроводном пенополиэтилене. Кстати завод ЛИТ выпускает также алюмофольгированную стеклоткань Армофол (с той же, якобы, рабочей температурой $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ и тем же термическим сопротивлением $1,2\text{ м}^2\text{ град/Вт}$, что и алюминизированный пенополиэтилен Пенофол!)

Отражающая теплоизоляция возвращает назад падающее на неё тепловое излучение и тем самым уменьшает тепловые потери помещения. Например, если в палатке горит раскалённая неэкранированная металлическая печь («буржуйка»), то излучение от неё идёт не на нагрев воздуха, а на нагрев тента, который тотчас отдаёт тепло на улицу. Если ткань палатки изнутри алюминизировать, то она начнёт отражать лучистое тепло и перенаправлять его на пол, мебель, на тела людей. Температура воздуха в палатке при этом возрастает (точно так же, как и температура воздуха в зазоре между горячей трубой и отражательной изоляцией). Рассмотрим, как поведёт себя плёнка пенополиэтилена при температуре воздуха $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (заявленной в рекламе Пенофола якобы в качестве «рабочей») при наличии источника излучения с температурой $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (то есть при изоляции трубы с температурой $200\text{ }^{\circ}\text{C}$). Если бы плёнка пенополиэтилена была чёрной, то она тотчас бы «поплыла», а затем расплавилась.

Но алюминизированный пенополиэтилен отразит основную долю лучистого потока и нагреется лишь до 100°C . При этом внутри плёнки возникнет тепловой поток 1050 Вт/м^2 , который должен быть «снят» охлаждением внешней (левой) стороны плёнки (рис. 40 в). Расчёт показывает, что это самое узкое место теплопередачи: холодный воздух может «снять» такое количество тепла лишь при температуре ниже минус 80°C . При более высоких температурах воздуха внешняя сторона плёнки нагреется до температуры выше минус 5°C и «потянет» за собой вверх температуру внутренней (справа) стороны, и плёнка расплывется. Иными словами, режим на рис. 40 в является критическим, требующим, вообще говоря, мощного принудительного обдува внешней стороны плёнки холодным воздухом со скоростью $10\text{--}20 \text{ м/сек}$. С этой точки зрения, заявленная рабочая температура 200°C действительно является формально предельно допустимой расчётной для идеальных экстремальных условий. Но стоит алюминизированному слою где-то почернеть или порваться, а температуре наружного воздуха подняться, то плёнка тотчас расплавится. Так что, правильной было бы всё же считать рабочей температурой алюминизированного пенополиэтилена для длительной эксплуатации всё те же $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$ (максимум 100°C).

В заключение отметим, что именно в области теплового излучения и отражательной изоляции встречается наибольшее число недоразумений, неправильных толкований, непониманий. Это особенно проявляется в простонародной среде, пользующейся чисто интуитивными чувственными понятиями типа «древесина отражает тепло», «камень и металл притягивают тепло», «свод печи отталкивает жар» и др. Вообще-то говоря, «жар» – это лучистое тепло, например, от ярко тлеющих углей («жар-птица»), а «пыл» – это огонь (пламя). Пылкий жар – это полыхающие огнём угли. Жаркое тепло – это тепло в печи от углей или от стенок печи после прогорания углей. Жаровня – это очаг (противень, мангал), заполненный горящими углями, испускающими лучистое тепло. Но и металлический раскалённый огнём лист тоже излучает тепло и тоже называется жаровней (грилем). Жар – это лучистое тепло, но сейчас жарким называется любое черезчур теплое помещение. Поэтому лучистое тепло часто называют «сухим жаром» (пеклом) в отличие от «влажного» и «парового жара». Но всё же, как правило, жаром называют то, от чего можно отгородиться экраном (заслониться рукой или ладонью).

3.15. «Дышащие» стены

До 60-х годов среди городского населения царило практически единодушное мнение о том, что стены жилых помещений должны «дышать»

в том очень наглядном «городском» смысле, что на стенах не должны появляться явно увлажнённые, а тем более откровенно мокрые пятна, капли росы (конденсата), стекающие в виде ручейков на пол. Помещение с мокрыми стенами считалось сырым, неблагоприятным не только в чисто житейском и климатическом плане, но и в смысле технической опасности для электропроводки, отсыревания и обрушения стен, ржавления и гниения конструкций и оборудования.

Считалось, что нельзя красить стены (а тем более потолки на кухнях и ванных комнатах) масляной краской, которая «не дышит». Более того, было время, когда даже к появившимся в продаже обычным бумажным обоям на стенах относились с предубеждением, предпочитая привычные «дышащие» известковые побелки либо в крайнем случае минеральные (с жидким стеклом) или клеевые (с казеином) краски. Подразумевалось, что если капли конденсата и образуются, то они должны тотчас впитываться, и поверхность стены будет оставаться якобы сухой. Видимо, предполагалось, что впитывающаяся влага будет быстро выводиться через стену на улицу. Но в то же время мастерами косвенно признавалось, что влага внутри стен тоже опасна, и вывести влагу из стен, тем более зимой, не так-то просто. Так, например, кухонные потолки перед побелкой обязательно «купоросили» (обрабатывали медным купоросом в целях антисептирования) и грунтовали (читай, пароизолировали) олифой или масляными белилами, чтобы влага в потолок всё-таки не проникала.

Предубеждения о необходимости «дышащих» стен были настолько сильны, что население крайне настороженно относилось к новым водонепроницаемым синтетическим отделочным стройматериалам, несмотря на их несомненные декоративные достоинства. До 60-х годов столь привычные ныне абсолютно «недышащие» материалы, как виниловые обои, натяжные потолки, пластиковые панели, не взял бы в работу (во избежание нареканий) ни один «разбирающийся» домашний мастер. И всё это несмотря на то, что профессиональные строители-проектировщики многоэтажных городских зданий давно уже знали о необходимости ограничения (или даже полного предотвращения) проникновения влаги в стены зданий, особенно банных.

Ещё большая путаница наблюдается в области «дышащих» банных стен, столь любимых знатоками банного дела. До сих пор редкий дачник сможет вразумительно объяснить, почему в паровой бане не применяют пароизоляцию стен и потолка (хотя это, казалось бы, следовало делать для предотвращения намокания древесины), а в сухой сауне, где потолок не намокает ни при каких условиях, финны всё же используют надёжную пароизоляцию, а шведы, тем не менее, во встроенных саунах (басту) ни стены, ни потолок не пароизолируют, но зато надёжно ветроизолируют.

Сразу отметим, что пароизоляция стен не является самым главным элементом изоляционного модуля ни в банях, ни в жилых помещениях. Во всяком случае и без пароизоляции любая баня не потеряет свою работоспособность. А вот обив потолок паровой бани паронепроницаемым листом стали, любой дачник тотчас убедится, что первая же приличная поддача приводит к появлению на потолке горячих капель росы, при падении неприятно обжигаящих кожу. Поэтому в целях предотвращения «дождя из кипятка» пароизоляцию поверхности потолка в паровых банях не применяют, а это уже обеспечивает иной ценный эффект: сухость «пара» в паровой бане за счёт гигроскопичности древесины.

Вот эти возникающие на потолке капли росы и являются общей отправной точкой при анализе проблемы «дышащих» стен и в банях, и в жилых помещениях. А возникают эти капли потому, что температура потолка оказывается, меньшей чем точка росы воздуха в помещении. Для наглядности приведём численные оценки сначала для жилых помещений, а затем и для банных.

Термическое сопротивление наружных стен домов основного жилого фонда в России преимущественно составляет примерно $1 \text{ м}^2 \text{ град/Вт}$, что соответствует кирпичной кладке в 2,5 кирпича или деревянному брусу толщиной 15 см. Это значит, что зимой тепловой поток через стены должен быть обеспечен на уровне порядка 60 Вт/м^2 (при температуре на улице минус 40°C). При таком тепловом потоке перепад температур на пристеночном пограничном слое достигает 6°C , то есть при температуре воздуха в помещении 20°C температура внутренних поверхностей стен составляет 14°C (а в углах реальных зданий ещё ниже вплоть до температур промерзания). Давление насыщенных водяных паров при температуре 20°C равно 2338 Па, а при 14°C – 1599 Па. То есть при относительной влажности воздуха в помещении выше 68% (или, что одно и то же, при точке росы воздуха в помещении выше 14°C) происходит выделение конденсата в виде росы на стенах помещения. В нормальных условиях эксплуатации жилого фонда относительная влажность воздуха ниже 68% безусловно обеспечивается проектными решениями за счёт вентиляции. Но в том-то и дело, что города и рабочие посёлки в довоенный и послевоенный период до 60-х годов практически везде были заселены с крайне большой сверхпроектной плотностью ($1\text{--}5 \text{ м}^2$ на человека). Системы вентиляции (форточки) просто не справлялись с удалением воздуха, увлажнённого дыханием людей (и особенно от варки и стирки), тем более, что в условиях нехватки тепла (а также для предотвращения распространения бытовых грызунов и насекомых) вентсистемы и продухи блокировались самими проживающими. Особенно тяжёлое положение складывалось в зданиях барачно-казарменного типа, подвальных помещениях,

в кухнях коммунальных квартир. В этих условиях большой скученности проживания во влагообмен включаются стены: днём стены кухонь увлажнялись, ночью подсыхали, а жилые помещения наоборот, ночью увлажнялись, а днём подсушивались. Фактически стены являлись невольными осушителями воздуха и «работали» точно на том же принципе, что и нынче работают специальные сушители воздуха в помещениях бассейнов: на конденсации паров воды на холодных теплообменных поверхностях (только без вывода воды за пределы помещения). Конечно же, возникновение капель воды (росы) на стенах и потолках (особенно при залповых выбросах пара при варке и стирке) было крайне нежелательным явлением, смывающим побелку и отслаивающим обои. Поэтому и предпочитали впитывающие стены, которые и назывались «дышащими». Становится ясным, что в принципе впитывающий слой может и не затрагивать всю толщу стены. Для поглощения залповых выделений пара вполне достаточен и тонкий слой штукатурки, нанесённой на пароизоляционный слой. Кстати, именно такой тонкий впитывающий слой ворсистого материала и наносится на антиконденсационные дождеветрозащитные подкровельные плёнки (см. раздел 3.12).

Если же вся стена здания является влагопроводящей, то она в какой-то степени способна выводить излишнюю влажность из помещения в атмосферу за счёт всех трёх факторов: распространения воды по смачивающимся стенкам капилляров, перемещений по капиллярам масс воздуха вместе в водяным паром, а также за счёт диффузии водяного пара в воздухе капилляров. Так что процесс удаления влаги через стену также является многофакторным. Кстати, и современные строительные нормы и правила допускают увлажнение внутренности стен зданий зимой, но только в той степени, которая позволяет стенам избавиться от влаги летом за счёт естественного высыхания. Но в целом в современных условиях, когда плотность проживания людей в городах снизилась в десятки раз, а степень утепления домов возросла, прежнее бытовое понятие «дышащих» стен (как стен без капель) стало забываться. Сейчас горожане смело используют моющиеся виниловые обои и пластиковые натяжные потолки даже на кухнях, и если где-то в углах появляется конденсат, то уже не кивают на «плохое дыхание» стен, а приводят в порядок системы вентиляции (устанавливают локальные и общеобменные вытяжки) и кондиционирования (устанавливают осушители и обогреватели воздуха) или же утепляют стены. При нормальном утеплении стен и нормальном кондиционировании человек не может органами чувств установить, «дышат» ли стены помещения или нет.

Напомним, что современное нормативное значение термического сопротивления наружных стен жилых домов в центральных областях