

ОГНЕЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ. ОСНОВЫ ТЕОРИИ АБЛЯЦИИ

The article describes basic methods of flame retardance constructions. There you can see such methods as chemical, engineering combining. Also this article reviews basics of theory of ablation.

Введение. Пожар – неконтролируемый процесс горения, сопровождающийся уничтожением материальных ценностей. Пожары наносят огромный урон экономике страны, часто приводят к увечьям и гибели людей. За 2006 год в республике Беларусь произошло 10739 пожаров, в которых погибло 402 человека. Исключить возможность возгорания полностью нельзя, но значительно снизить риск возникновения пожаров можно применением в строительстве и отделке огнестойких конструкций и материалов. Под огнестойкостью понимается способность зданий, сооружений и строительных конструкций сохранять свои функции при пожаре [1]. ГОСТ 12.1.033 определяет огнезащиту как снижение пожарной опасности материалов и конструкций путем специальной обработки или нанесения покрытия (слоя) [2].

1. Способы огнезащиты строительных конструкций. Пожарная безопасность зданий во многом зависит от огнестойкости основных его конструктивных элементов. Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции признаков предельных состояний [3]:

- потери несущей способности (R);
- потери целостности (E);
- потери теплоизолирующей способности (I)

Понятие строительных конструкций достаточно обширно, в данной работе основное внимание будет уделено элементам заполнения проемов противопожарных преград, а именно вопросу создания огнестойких дверей, способам огнезащиты основных конструктивных материалов, применяемых при их изготовлении.

В настоящее время рынок предлагает достаточно широкий выбор металлических и деревянных противопожарных дверей с пределом огнестойкости 15–120 мин.

Металлические двери могут быть выполнены как с теплоизоляцией, так и без нее. Для изготовления дверей без теплоизоляции применяют стальной лист и прокатные профили. Но несмотря на некоторые преимущества (негорючесть и простота изготовления), двери такого типа не нашли широкого применения из-за ряда недостатков. Во-первых, такие двери достаточно быстро нагреваются до высоких температур, что приводит к воспламенению сгораемых объектов, расположенных вблизи нее. Во-вторых,

под действием высоких температур они теряют прочность и деформируются, что создает условия для проникновения огня сквозь образовавшиеся зазоры [4].

Достаточно большое распространение получили металлические двери с теплоизоляцией. Конструкции таких дверей могут быть различными, но, как правило, они имеют внутренний слой теплоизоляции (чаще это минеральная вата) и наружные слои из металла, покрытого огнестойкой краской. Металлические двери с теплоизоляцией обеспечивают достаточно высокий предел огнестойкости. Однако при нагревании размеры дверного полотна значительно увеличиваются, происходит изменение его формы, и дверь заклинивает в дверном проеме. Эвакуация людей и имущества через такую дверь становится невозможной.

Гораздо более надежными в этом отношении являются противопожарные двери, изготовленные из древесины и древесных материалов. Древесина имеет низкий коэффициент термического расширения и, как следствие, стабильные размеры в широком диапазоне температур, она экологична, у нее хороший эстетический вид. Как показывает опыт, массивная древесина имеет более высокий предел огнестойкости, чем сталь. Но при всех ее достоинствах древесина имеет существенный недостаток: она является воспламеняемым и горючим материалом [5].

Повысить пожарную безопасность деревянных конструкций можно химическими и конструктивными способами, а зачастую и разумной их комбинацией.

Химическая огнезащита, предназначенная для понижения возгораемости древесины, может быть глубокой или поверхностной. Глубокая огнезащита предполагает пропитку древесины антипиренами, которые представляют собой соединения, разлагающиеся под действием тепла и подавляющие пламенное горение или тление. Наиболее часто используют такие антипирены, как сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, фосфаты аммония $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ и $(\text{NH}_4)_2\text{H}_2\text{PO}_4$ и др.

При поверхностной огнезащите на древесину наносятся специальные огнезащитные составы методом распыления раствора или смачивания в нем. Но такая защита эффективна при кратковременном воздействии пламени и высоких температур (окурки, искры и т. д.). Популярным также методом окрашивания деревян-

ных конструкций огнезащитными красками, которые могут быть вспучивающимися и невспучивающимися, неорганическими и органическими. Краска защищает древесину от непосредственного контакта с пламенем, препятствует свободному доступу воздуха, необходимо для протекания процесса горения, выделяет при нагревании газы, препятствующие процессу горения и поглощающие выделяющуюся теплоту.

Невспучивающиеся краски чаще всего состоят из хлорированных алкидов, гидроксида алюминия или смеси хлорированных парафинов и оксида сурьмы. Они задерживают распространение пламени на поверхности древесины в результате присутствия в их составе таких элементов, как фосфор, азот, хлор, или быстролетучивающихся веществ, препятствующих процессу горения [6].

Вспучивающийся слой второго типа красок состоит из углеродсодержащего вещества, дегидратирующего вещества, являющегося катализатором вспенивания состава, веществ, способствующих вспениванию и др. При вспучивании составов происходит постепенное выделение газов, препятствующих развитию процессов горения. В состав вспучивающихся красок входят фосфат аммония, вермикулит, казеин, крахмал, мочевины, фосфорная кислота и др. [6]. Необходимо отметить, что огнезащитные покрытия, как правило, ухудшают декоративные свойства древесины, вследствие чего используются преимущественно для защиты конструкций, которые не видны в процессе эксплуатации или внешний вид которых не имеет значения. Также многие пропиточные составы легко вымываются водой, а многие выделяют токсичные вещества при нагревании. Пропиточные составы обычно не изменяют текстуру и внешний вид древесины и поэтому находят более широкое применение.

Конструктивно повысить огнестойкость деревянных конструкций можно либо увеличением сечений наиболее нагруженных элементов конструкций, либо использованием несгораемых облицовок. Номенклатура их разнообразна: гипскартонные листы, асбестоцементные плиты и др. Положительной стороной применения этих материалов являются индивидуальность изготовления, высокое качество отделки, долговечность.

Существуют различные конструкции противопожарных дверей, выполненных из древесной основы, покрытой облицовочным материалом (сталью, плитой МДФ, асбестовым картоном и т. д.). Облицовки выполняют теплозащитную и теплоизоляционную функции.

2. Основы теории абляции. Теплозащитная функция облицовки осуществляется по принципу абляционного (аблятивного) охлаж-

дения. Абляция (по лат. Ablatio – отнятие, устранение) применительно к принципу теплозащиты означает блокирование подводимого тепла самим материалом. Подводимое тепло расходуется на теплофизические, физико-химические и механические преобразования в структуре материала облицовки (нагрев до температур сублимации, плавления и испарения, проведение этих процессов; пиролиз и деструкцию материала и т. д.). Таким образом, силовая часть конструкции некоторое время предохраняется от чрезмерного нагрева [7].

Процесс абляции композиционных материалов сопровождается потерей массы под действием температуры и механических нагрузок:

$$m(t) = \rho(t) \cdot |V(t)|,$$

где $\rho(t)$ – плотность осредненная по недеформированной области $V(t)$; $|V(t)|$ – объем области $V(t)$.

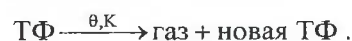
Материал следует считать аблирующим, если хотя бы в некоторой его части происходит процесс абляции при воздействии температуры и механических нагрузок. В зависимости от внешних условий, которые способствуют или предотвращают потерю массы композита, один и тот же композиционный материал может быть аблирующим или не быть им. Но в любом случае для аблирующего материала его масса m и, по крайней мере, одна из величин ρ и $|V(t)|$ зависят от времени t термомеханического воздействия.

Различают процессы объемной и линейной абляции. Процесс объемной абляции (терморазложения) материала имеет место, если при термомеханическом воздействии унос вещества из него вызван физико-химическими превращениями в области $V(t)$, при этом уменьшается плотность $\rho(t) < \rho(0)$, а объем остается тем же: $|V(t)| = |V(0)|$ [8].

Объемная абляция протекает при сравнительно низких температурах (до 1000°C), при этом в каждом элементарном объеме часть исходного материала (твердой фазы – ТФ) переходит в газовую или жидкую фазу и уносится по порам в окружающую среду вследствие фильтрации, а оставшаяся часть переходит в новое твердое фазовое состояние, называемое твердым пиролитическим остатком.

Процессы объемной абляции могут осуществляться либо по принципу термодеструкции (ТД) или пиролиза, либо по принципу термоокислительной деструкции (ТОД).

В первом случае процесс абляции осуществляется под действием высоких температур в инертной среде. Внутренние физико-химические превращения в материале могут быть описаны следующей схемой:



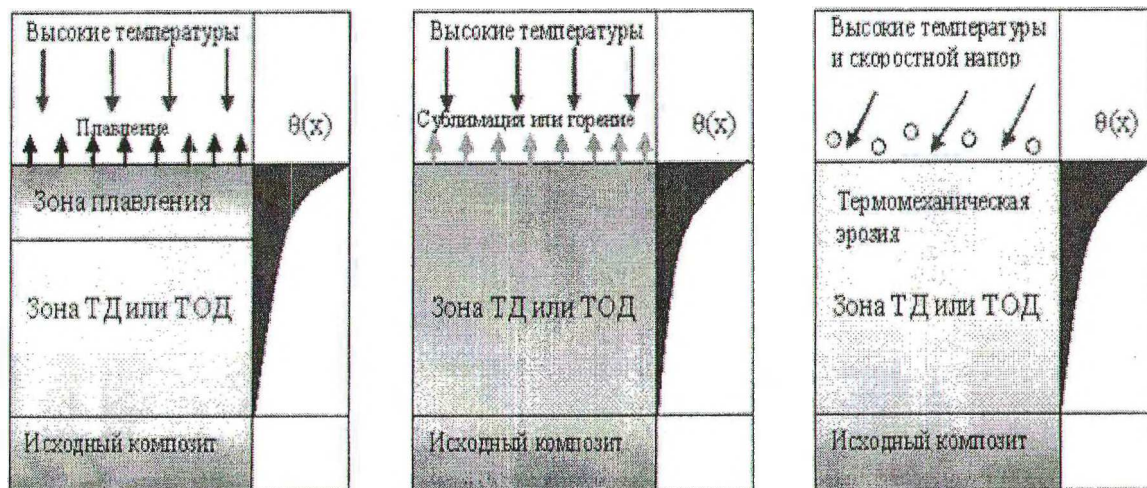
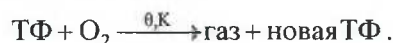


Рис. 1. Процессы абляции композиционных материалов

Процесс пиролиза является обычно эндотермическим, и часть теплового потока, подводимого к материалу, расходуется на его терморазложение. Образующийся при этом газ фильтруется из материала по порам в окружающую среду. По такому принципу обычно осуществляется абляция в полимерных матрицах композиционного материала, а также в органических армирующих волокнах.

Сформировавшаяся в результате процесса новая твердая фаза чаще всего является коксом, который может образовывать механически прочный каркас, сохраняя монолитность материала. В этом случае материал называют коксующимся или обугливающимся. Пиролитический остаток также может образовываться в виде дисперсных, несвязанных частиц, при этом наблюдается разрушение материала в зоне термодеструкции.

В результате совместного действия нагревания и химически реагирующего кислорода, проникающего в материал по порам из окружающей среды, в композитах наблюдается процесс термоокислительной деструкции. При этом в каждом элементарном объеме материала наблюдаются внутренние физико-химические превращения типа:



Данный процесс обычно является эндотермическим, однако газы, образующиеся при нагреве, могут, реагируя с кислородом, возгораться и выделять тепловую энергию. Следует отметить, что процесс абляции композита по типу ТОД протекает с большей скоростью, чем процесс абляции по принципу ТД.

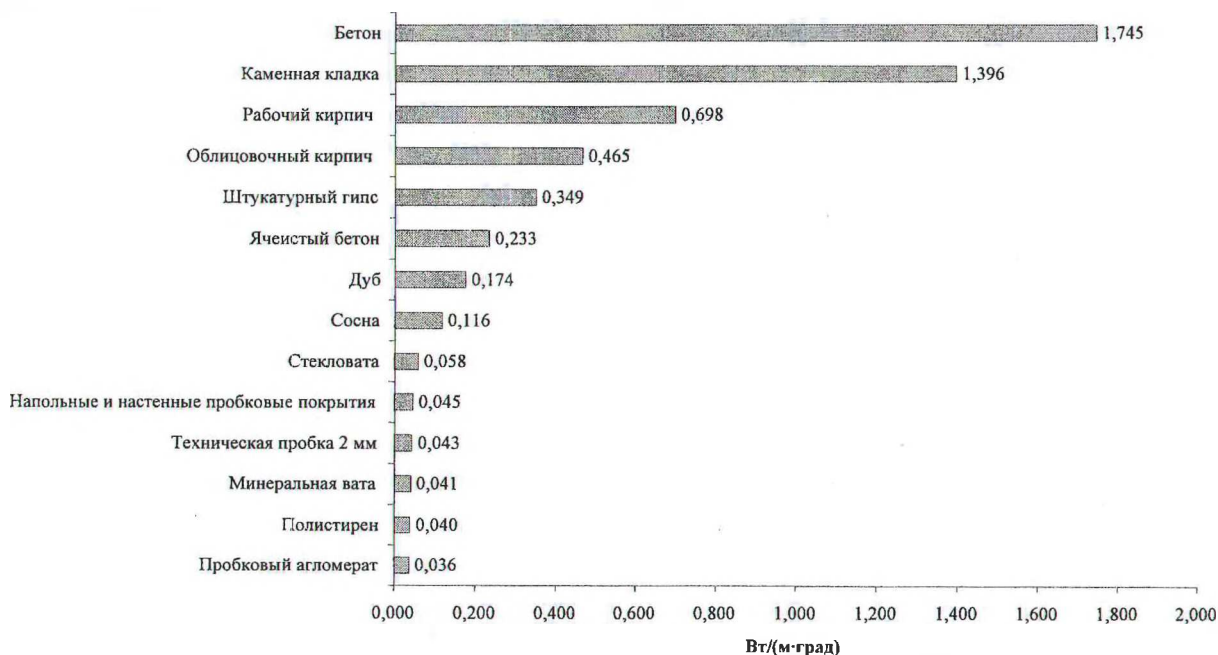


Рис. 2. Коэффициенты теплопроводности различных материалов

Термоокислительная деструкция наблюдается при высоких температурах в полимерных матрицах, органических волокнах, а также в угольных, борных и керамических волокнах в окислительной среде.

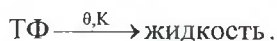
Кроме кислорода, процесс терморазложения могут вызывать и другие газы, проникающие по порам внутрь композитов, например водород [9]. Такое явление называют гидролизом.

Процесс линейной (поверхностной) абляции материала имеет место при достаточно высоких температурах (свыше 1500°C). При этом потеря массы происходит только за счет уменьшения объема $|V(t)|$ при термомеханическом нагружении: $|V(t)| < |V(0)|$, а значение плотности $\rho(t)$ остается постоянным $\rho(t) = \rho(0)$ [8].

При поверхностной абляции объем композита уменьшается вследствие физико-химических превращений всех или части компонентов материала в его тонком приповерхностном слое, где исходная твердая фаза переходит в газообразную или жидкую фазу и затем либо уносится с поверхности вследствие испарения или смывания, либо механически разрушается под действием внешних сил, а затем уносится в виде отдельных твердых частиц.

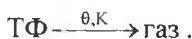
В соответствии с вышесказанным поверхностная абляция может быть подразделена на четыре основных типа.

1. Плавление – процесс абляции материала, при котором на его поверхности происходит фазовое превращение следующего типа:

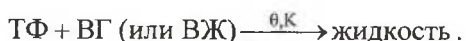


Причем жидкость может превращаться в газ полностью или частично.

2. Испарение (сублимация) – процесс абляции, при котором фазовое превращение компонентов композиционного материала на его поверхности не включает переход в жидкую фазу:



3. Термохимическая реакция. Этот тип абляции имеет место, когда происходят физико-химические превращения твердых компонентов материала на его поверхности вследствие совместного воздействия высоких температур и реагирующего внешнего газа (ВГ) или реагирующей внешней жидкости (ВЖ) следующего типа:



Примером такого типа абляции может служить горение компонентов аблирующего материала в среде горячих газовых потоков, содержащих кислород.

4. Термомеханическая эрозия композита – процесс последовательного срыва твердых частиц с поверхности материала под действием высокоскоростного газового потока. Срыв

частиц происходит вследствие превышения напряжениями, возникающими в тонком поверхностном слое материала, предельных значений [8].

В реальности процессы абляции композитов происходят при неравномерном нагреве, и градиент температуры может быть достаточно велик. В этом случае в композиционном материале можно условно выделить три зоны (рис. 1). Внутренняя зона материала находится под действием нормальных или повышенных температур, процесс абляции здесь не происходит. Наружная зона материала нагревается до сверхвысоких температур, при которых активно протекают процессы линейной (поверхностной) абляции. Средняя часть находится в зоне высоких температур, при которых происходят процессы объемной абляции (ТД и ТОД) [8].

Цель облицовки как теплоизолятора – минимизировать кондуктивный перенос тепла по важнейшему направлению. Материал облицовки своей малой теплопроводностью препятствует передаче теплоты от внешнего источника к силовой части конструкции. В условиях кондуктивного нагрева идеальным теплоизолятором мог бы стать вакуум. Но его применение очень сложный и дорогостоящий процесс, кроме того, для многих конструкций такая изоляция просто не нужна. Целесообразно в качестве теплоизоляторов применять высокопористые (до 90%) материалы. Подобными материалами, применяемыми для теплоизоляции конструкций, являются пенополимеры и пенокерамика [7].

Выводы. Природным материалом подобного рода можно считать пробку. Пробка – это кора пробкового дуба, произрастающего на значительной части средиземноморского побережья.

1. Она обладает способностью стабилизации температуры и влажности воздуха. Это достаточно легкий материал. Воздух составляет около 90% от общего объема и около 50% от массы пробки. Плотность изоляционных пробковых плит 150–200 кг/м³.

2. Пробка по сравнению с другими материалами имеет достаточно низкий коэффициент теплопроводности (рис. 2).

3. Благодаря большому содержанию суберина (смеси натуральных жирных кислот и тяжелых органических спиртов) пробка не пропускает жидкости и газы.

4. Это очень эластичный и упругий материал, сохраняющий свои изоляционные свойства в широком диапазоне температур.

5. Пробка химически нейтральна и благодаря присутствию танина и отсутствию белков не гниет, не передает вибрации и не теряет своих свойств со временем, т. е. долговечна.

6. Из всех рассмотренных выше методов огнезащита по принципу абляционного охлаждения изоляционных оболочек является наиболее эффективным методом пассивной теплозащиты строительных конструкций. Этот метод широко применяется в конструировании высокотехнологичного оборудования (теплоизоляция конструкций машино- и приборостроения, элементов летательных аппаратов), он также может быть активно использован для повышения огнестойкости строительных конструкций, и в частности противопожарных дверей и перегородок.

7. Природным аблятором является пробка. Она может быть успешно применена в качестве облицовочного материала конструкций, к которым предъявляется требование высокой пожарной безопасности.

Литература

1. Пассивная противопожарная защита. Термины и определения: СТБ 11.0.03-95. – Введ. 1995-03-16. – Минск: Белстандарт, 1995. – 13 с.
2. Пожарная безопасность. Термины и определения: ГОСТ 12.1.033-81. – Введ. 1982-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.
3. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов: СНБ 2.02.01-98. – Взамен СНиП 2.01.02-85. Введ. 16.01.2001. – Минск: 2001. – 7 с.
4. Огнестойкость зданий / В. П. Бушев [и др.]; под общ. ред. В. А. Пчелинцева. – М.: Стройиздат, 1970. – 261 с.
5. Хрулев, В. М. Огнестойкость конструкций из дерева и пластмасс / В. М. Хрулев, Р. И. Рыков. – Иркутск: Восточно-Сиб. кн. изд-во, 1974 – 154 с.
6. Романенков, И. Г. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов / И. Г. Романенков, В. Н. Зигерн-Корн. – М.: Стройиздат, 1984. – 240 с.
7. Калинин, В. А. Технология теплозащиты и теплоизоляции изделий: конспект лекций. Ч. 2 / В. А. Калинин. – М.: Изд-во МГТУ, 1993. – 61 с.
8. Дмитриенко, Ю. И. Механика композиционных материалов при высоких температурах / Ю. И. Дмитриенко. – М.: Машиностроение, 1997. – 368 с.
9. Коршак, В. В. Химическое строение и температурные характеристики полимеров / В. В. Коршак. – М.: Наука, 1970. – 401 с.

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗДУШНОЙ ПРОСЛОЙКИ НА КОЭФФИЦИЕНТ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ

Experimental research works showed that optimal air layer in double-glass window is between 8–10 mm.

Введение. В большинстве современных оконных блоков вместо отдельных стекол используются стеклопакеты [1]. Промышленное производство первых стеклопакетов началось в 1934 году в Германии, и применялись они для остекления железнодорожных вагонов.

1. Технология изготовления стеклопакетов. Стеклопакет – изделие из двух или более стекол, герметично соединенных друг с другом при помощи дистанционной рамки, а также внутреннего и внешнего герметиков, образующих замкнутую полость, заполненную осушенным воздухом или инертными газами. Дистанционная рамка заполняется осушителем воздуха – силикогелем (рис. 1).

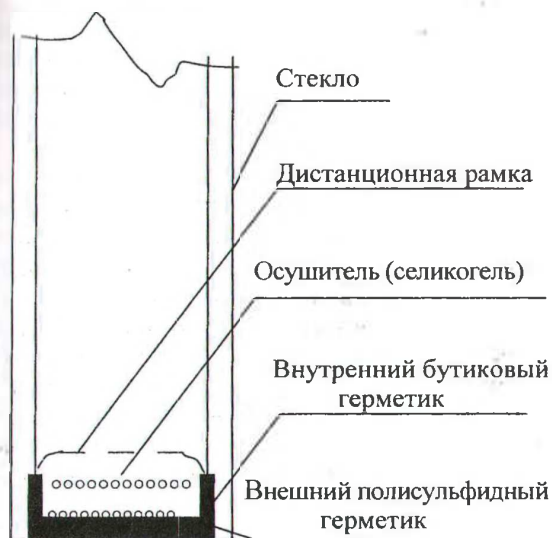


Рис. 1. Общий вид стеклопакета

На первом этапе на дистанционную рамку наносят бутиловый герметик и укладывают ее на подготовленный заранее лист стекла. Далее рамку с герметиком помещают между стекол и конструкция склеивается.

На втором этапе наносится внешний герметик. Это – или эластичные двухкомпонентные полисульфидные герметики (бутил и тиokol), или однокомпонентные герметики на основе синтетического каучука.

Осушитель обезвоживает воздух, находящийся внутри стеклопакета, и устраняет возможность выпадения конденсата между стеклопакетами. Появление конденсата в межстекольном пространстве стеклопакета в процессе эксплуатации говорит о грубых нарушениях

при его изготовлении – отсутствии осушителя или, чаще всего, неполной герметизации.

Причиной разрушения герметизации стеклопакета, которое начинается с края, является локальное температурное растягивающее напряжение и перепады давления. Для компенсации напряжений в краевой зоне необходим герметик с высоким модулем упругости, который хорошо воспринимает растягивающие усилия. Следовательно, применение герметика на основе двухкомпонентной мастики предпочтительнее, т. к. существенным недостатком однокомпонентных герметиков следует считать их размягчение при нагревании под воздействием солнечной радиации.

Если составом герметиков интересуется не каждый потенциальный покупатель, то качеством стекла, используемого в стеклопакете, интересуются все.

В соответствии со свойствами стекла и областью его применения стекло разделено на группы – марки. Сначала следует понять, что стекло различных марок выходит с одной линии. На выходе осуществляется контроль, и если стекло соответствует по качеству марке М1, его маркируют надписью М1, если – М2, то его маркируют М2 и т. д. Всего восемь марок.

Чем ниже цифра на марке стекла – тем выше его качество, меньше дефектов (пороков) на единице поверхности, тем более качественные и ответственные конструкции им можно остеклять, лучше его физические и оптические свойства. Самое высококачественное остекление светопрозрачных конструкций производится, как правило, из оконного полированного стекла 2,0–6,0 мм марки М1.

Стекло марки М1 практически не содержит пороков, и если на привезенном окне царапина или какое-то вкрапление мозолит Вам глаза, то, скорее всего, это стекло марки М2. Если картинка за окном «плывет», когда Вы смотрите на стекло под углом 45°, то это – стекло марки М3. В любом из вышеперечисленных случаев, если обнаружен дефект, уважающая себя фирма заменит стеклопакет, не ссылаясь на нормы ГОСТа, а на производстве у крупных фирм есть собственная служба контроля, которая отбракует лист с дефектом еще на стадии резки.

1.1. Теплоизоляция стеклопакетов. Заметим, что толщина обыкновенных стекол, устанавливаемых в стеклопакет, не оказывает практически никакого влияния на его теплозащит-