

ТЕХНОПУЧ

ВИТРИНА

СТЕКЛО

в вопросах и ответах

Методическое пособие

Автор: Казимиров Николай Николаевич, кандидат технических наук

Совместный проект компании "ТЕХНОПУЧ" и журнала "ВИТРИНА"

КИЕВ 2003

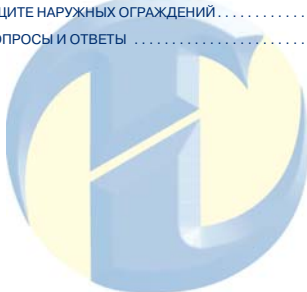
СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

СОДЕРЖАНИЕ

Пособие издано как приложение к журналу "ВИТРИНА"

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВОГО СТЕКЛА	3
ЭВОЛЮЦИЯ СТЕКОЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА	5
РАЗНОВИДНОСТИ СТЕКОЛ	7
ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕКЛОПАКЕТА	13
КАК ВЫБРАТЬ СТЕКЛО	19
КАК ПРИХОДИТ И УХОДИТ ТЕПЛО?	23
ТРЕБОВАНИЯ К ТЕПЛОЗАЩИТЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ	25
СОВРЕМЕННОЕ ОКНО - ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ	28



Адрес редакции:

03124, Киев, ул. Н. Василенко, 14Г, оф. 83
 тел./факс: (044) 455 02 81, 455 31 27
 e-mail: vitrina@journal.kiev.ua
<http://www.vitrina.kiev.ua>

На первой странице обложки - реклама фирмы "ТЕХНОЛУЧ"

03650, Киев, ул. Боженко, 13
 тел.: (044) 269 50 36, 227 87 16
 факс: (044) 220 94 54
 e-mail: nikolai@tehnoluch.com
<http://www.tehnoluch.com>

Все права защищены. Перепечатка материалов без письменного разрешения редакции запрещена

ПРОИЗВОДСТВО ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

Мировое потребление листового стекла сегодня выражается сотнями миллионов квадратных метров в год. Этого количества стекла достаточно, чтобы стеклянной лентой шириной в один метр опоясать земной шар более 20 раз.

Стекло — материал, прочно вошедший в наш быт, культуру и технику. Стекло появилось очень давно, и мы так привыкли к нему, что замечаем только его отсутствие.

Главный потребитель стекла в настоящее время — строительная индустрия. Больше половины всего производимого стекла используется для остекления зданий и транспортных средств: автомашин, железнодорожных вагонов, трамваев, троллейбусов. Кроме того, стекло используют в качестве стенового и отделочного материала в виде пустотелых кирпичей, блоков из пеностекла, а также облицовочных плиток. Примерно треть производимого стекла идет на изготовление сосудов различного типа и назначения. Это, прежде всего стеклянная тара — бутылки и банки. В большом количестве стекло расходуется на изготовление столовой посуды. Стекло пока незаменимо для производства химической посуды. В довольно большом количестве из стекла изготавливают вату, волокно и ткани для тепловой и электрической изоляции.

Обеспечить человечество стеклом в таких масштабах оказалось возможным лишь потому, что в 1902 году бельгиец Фурко и американец Крлберн создали два равноценных метода механизированной выработки тонкого листового стекла. Оба метода основывались на вытягивании через вальцы с поверхности расплавленной стекломассы широкой, тонкой стеклянной ленты, разрезаемой, после остывания до твердого состояния, на отдельные листы.

Но развивающаяся автомобильная и авиационная промышленность потребовали стекло более высокого качества. Задача сводилась к устранению волнистости, ориентированной по направлению вытягивания стеклянной ленты.

К счастью, в 1957 году родился новый метод изготовления листового стекла, так называемый **Float** — метод,

который можно приравнять к наиболее значительным мировым открытиям. Более чем 90% листового стекла сегодня производится по **Float** технологии.

Для изготовления стекла по **Float** — технологии (рисунок 1), смесь (1) сырья из кварцевого песка, извести, соды и других материалов подается в печь (2) и расплавляется при температуре ~1 600 °С. Затем стекломасса, в виде бесконечной стеклянной ленты, вытекает в ванну с расплавленным жидким металлом (3). Здесь стекло получает свою «высокополюсность» и «полированность» (глянцеvitость) поверхности. Затем бесконечная стеклянная лента поднимается из ванны с металлом и направляется в охлаждающую печь (4), где равномерно остывает. После этого стекло можно резать (5) и складировать (6).

Технические характеристики стекла

Плотность = 2,5 г / см³ (2,5 — 103 кг / м³).

Лист стекла толщиной 1 мм и площадью 1 м², весит 2,5 кг.

Лист стекла толщиной 4 мм и площадью 1 м², весит 10 кг.

Твердость, определяемая методом царапания = 5-6.

Температура размягчения ~ 600 °С

Закалка и изменение формы требуют температуру приблизительно на 50 °С выше.

Коэффициент теплопроводности = 0,8 Вт / м × °С.

Коэффициент теплопередачи = 5,8 Вт / м² × °С.

Сопротивление давлению — 1000 Н/мм² = 1000 МПа.

Это означает, что, для того чтобы раздавить 1 см² стекла, необходимо нагрузить его весом 10 т.

Предел прочности на разлом. Если сопротивление давлению у стекла высокое, то предел прочности на разлом значительно ниже. Сопротивление стекла на разлом: для обычного стекла — 40 МПа (Н/мм²); для закаленного стекла — 120...200 МПа (Н/мм²) в зависимости от толщины, обработки края, наличия отверстий и др.

Упругость. Стекло очень упругий материал, оно не подвержено никакой деформации вплоть до разрушения. Однако стекло очень хрупкое и мгновенно разрушается при чрезмерном внешнем воздействии.

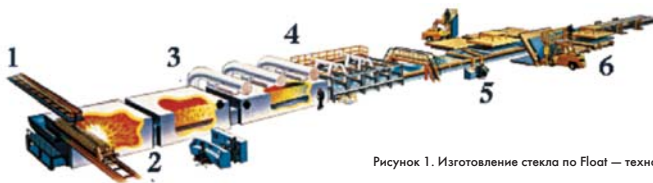


Рисунок 1. Изготовление стекла по Float — технологии

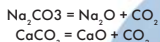
СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Термальный шок. Поскольку стекло обладает низкой тепловой проводимостью, неравномерный нагрев или охлаждение листа стекла приводит к возникновению напряжения в материале (термальный шок). Это может служить причиной разрушения стекла. Когда стекло установлено в раму, его обломленные края закрыты от солнечного излучения. В стекле возникает разница температур, что может привести к его разрушению. Риск термального шока снижается, когда используется солнцезащитное отражающее стекло.

Специальная закалка стекла против термального шока позволяет выдерживать разницу температур в 150 – 200 °С.

Химический состав стекол

Стекло, исходными компонентами шихты которого является кварцевый песок (SiO_2), сода и известь, называют натрий-кальциевым. Оно составляет около 90% получаемого в мире стекла. При варке карбонат натрия и карбонат кальция разлагаются в соответствии с уравнениями:

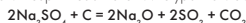


В результате в состав стекла входят оксиды SiO_2 , Na_2O и CaO . Они образуют сложные соединения — силикаты, натриевые и кальциевые соли кремниевой кислоты.

В состав стекла вместо Na_2O с успехом можно вводить K_2O , а CaO может быть заменен MgO , PbO , ZnO , BaO . Часть кремнезема (SiO_2) можно заменить на оксид бора или оксид фосфора (добавлением соединений борной или фосфорной кислот). В каждом стекле содержится немного глинозема Al_2O_3 , попадающего из стенок стекловаренного сосуда. Иногда его добавляют специально. Каждый из перечисленных оксидов обеспечивает стеклу специфические свойства. Поэтому, варьируя этими оксидами и их количеством, получают стекла с заданными свойствами. Например, оксид борной кислоты B_2O_3 приводит к понижению коэффициента теплового расширения стекла, а значит, делает его более устойчивым к резким температурным изменениям. Сви́нец сильно увеличивает показатель преломления стек-

ла. В **таблице 1** приведен состав в (%) некоторых типичных промышленных стекол.

Сода — сырье относительно дорогое. Поэтому в качестве источника Na_2O при варке стекла используют также природный минерал Na_2SO_4 . Однако в этом случае варка стекла требует более высоких температур. Кроме того, в шихту необходимо вводить уголь для восстановления серы в соответствии с уравнением



Варка стекла

При варке стекла первым плавится оксид щелочного металла, после чего в этом расплаве начинают растворяться зерна кварца и известняка, вступая в химическое взаимодействие. Поэтому чем больше в стекле оксидов щелочных металлов, тем при меньших температурах оно плавится. В Древнем Египте, когда техника получения высоких температур была несовершенна, в стеклоделии преобладали рецепты с повышенным содержанием оксидов щелочных металлов (до 30%) и малым содержанием извести (около 3...5%). В эллинистическую эпоху, с усовершенствованием техники получения высоких температур, содержание оксидов щелочных металлов снижалось до 16...17%, а извести повышается до 10%. Естественно, что такие стекла стали более стойкими к воде. В настоящее время варка стекла проводится при температуре (1400...1500)°С в течение нескольких часов. Процесс варки стеклодели делят на три стадии: провар шихты, осветление (удаление «мошки» и «свилей») и «студка» — осторожное охлаждение.

Мошкой стеклодели называют мелкие пузырьки газа, распределенные по всей массе стекла. Ее удаление из жидкой массы производят «бурлением» при помощи деревянной чурки или обыкновенного сырого картофеля. Помешанные в жидкое стекло, они дают обильное выделение газов, которые и очищают от мошки всю массу. Ее наличие в изделиях считается браком.

Стекольным **«свилем»** называют нитеобразные потоки, подобные тем, которые можно наблюдать в процессе растворения сахара в воде при медленном перемешивании. Свиль — это видимая граница двух соседних участков стекловой массы. Наличие свилей



Таблица 1

Стекло	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	PbO	BaO	ZnO
Оконное	72	—	2	14	—	9	3	—	—	—
Бутылочное	70	—	3	17	—	8	2	—	—	—
Хрустальное	56	—	—	—	11	—	—	33	—	—
Лабораторное	85	9	2	4	—	—	—	—	—	—
Оптическое	34	13	3	—	—	—	—	—	46	4



ЭВОЛЮЦИЯ СТЕКЛЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА

История стекла уходит в глубокую древность. Известно, что в Египте и Месопотамии его умели делать уже 6000 лет назад. Вероятно, стекло начали изготавливать все же позже, чем первые керамические изделия, так как для его производства требовались более высокие температуры, чем для обжига глины. И, если для простейших керамических изделий было достаточно только глины, то в состав стекла входило минимум три компонента.

Изделия из стекла так же, как и из керамики, практически не реагируют на влияние атмосферных воздействий и хорошо сохраняются даже под слоем земли. Эти изделия оказались важнейшими документами далекого прошлого. Они донесли до нас бесценную информацию об уровне культуры и техники древних народов. Благодаря стеклу до нашего времени дошли величайшие художественные произведения различных эпох культуры человечества.

Несмотря на то, что возраст стеклоделия оценивается в 6 тыс. лет, прозрачное и бесцветное стекло люди научились варить лишь на пороге новой эры. До этого производилось непрозрачное, окрашенное в различные тона стекло и из него изготавливались главным образом мелкие изделия: бусы, браслеты, пуговицы, кольца, печати, шахматные фигуры и др. Стеклодувы античной эпохи начали широко применять холодную обработку стекла: рельефную резьбу, гравировку, шлифовку. Как только было получено прозрачное стекло, стеклоделы стали стремиться изготовить из него оконные пластины. Ученые предполагают, что оконное стекло вначале было цветным. Это объясняется тем, что бесцветное стекло получить было весьма не просто, так как сырье обычно содержит различные примеси, которые придают стеклу окраску. Особенно часто в сырье присутствуют соединения железа. Получение пластин для остекления окон оказалось весьма непростым делом. Изготовление полых изделий довольно сложной формы путем «выдувания» было более простой задачей, чем получение листового стекла. Эта задача была решена лишь к концу средневековья. При раскопках Помпеи, погребенной под пеплом вулкана Везувия в 79 г. н. э., было установлено, что в очень редких случаях в окна были вставлены пластины стекла, которые были довольно толстыми. Возможно, что тонкое листовое стекло, итальянские стеклоделы еще не научились изготавливать.

свидетельствует о плохом перемешивании стекольной массы при варке.

Охлаждение стекла, а точнее изделий из него, проводят медленно, чтобы избежать в нем напряжений. При быстром охлаждении поверхностные слои стекла затвердевают быстро и имеют низкую температуру, а внутренние слои стекла, вследствие низкой теплопроводности, могут иметь температуру до 500°C. Поскольку внутренние слои при охлаждении сжимаются, а наружные уже не уменьшаются в размере, в них возникают высокие поверхностные сжимающие напряжения. Внутренние слои, наоборот, испытывают высокие растягивающие напряжения. Такое стекло называют **«закаленным»**. Закаленное стекло обладает высокой механической прочностью. Однако у него есть и недостатки. При нарушении поверхностного слоя (например, нанесение царапины), т.е. при нарушении сжимающих и растягивающих сил, закаленное стекло разлетается вдребезги.

При медленном охлаждении стекла растягивающие и сжимающие напряжения не возникают. Такое стекло называют **«отожженным»**. Мелкие изделия, например столовая посуда, отжигаются (охлаждаются) в течение нескольких часов. Крупные и прецизионные изделия, например линзы астрономических объективов диаметра 1 м и более, отжигаются в течение нескольких месяцев.

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Считают, что метод выдувания, так же как и способ варки прозрачного стекла, был открыт в период смены летоисчисления. Поводов для его открытия было предостаточно. Для получения высоких температур в металлургии был уже известен способ дутья. При варке стекла, требующей также высоких температур, дутье, в частности, проводилось при помощи легких человека. Для этого использовались длинные и полые тростниковые трубки, конец которых обматывался глиной. Последнее было необходимо для того, чтобы трубка не загоралась. Таким образом, для открытия метода выдувания стеклянных изделий были созданы все предпосылки. Нужен был только случай, когда конец трубки прикоснется к жидкой стеклянной массе. Если это произошло, то, продолжая дуть в трубку, человек должен получить что-то похожее на пузырь. Следующим шагом было помещение выдуваемого «пузыря» в деревянную форму, и полое стеклянное изделие почти готово. Как здесь не вспомнить хорошо известное изречение, что «все гениальное просто».

Вероятно, метод выдувания изделий из стекла был изобретен в различных местах, где культивировалось стеклоделие, примерно в одно и то же время. Однако принято считать, что способ выдувания был изобретен в Александрии в I в. до н. э. На первый взгляд удивительно, что люди научились делать стеклянные изделия сложной поллой конфигурации, но не умели делать листовое стекло. Однако для этого были свои весьма основательные технические затруднения.

Оконное стекло

Впервые оконное стекло, хотя и весьма несовершенное, появилось на рубеже старой и новой эры летоисчисления у римлян. Однако после падения Римской империи секреты его производства были утеряны и в начальный период средневековья в Европе оконного стекла не знали. Естественно возникает вопрос, а что же было в окнах? Часто окна закрывались сплошными деревянными ставнями. В теплые дни они открывались, впуская дневной свет внутрь помещения. В иное время окна закрывались, и помещения освещали свечами. В России свечи, которые были дороги, часто заменялись горящей лучиной.

В некоторых дворцах, парадных зданиях и культовых сооружениях Европы в мелкие ячейки оконных проемов вставляли пластинки слюды, которые ценились очень дорого. В домах простых людей для этой цели использовались бычий пузырь и промасленная бумага или ткань. В середине XVI в. даже во дворцах французских королей окна закрывались промасленным полотном или бумагой. Лишь в середине XVII в. при Людовике XIV в окнах его дворца появилось стекло в виде маленьких квадратиков, вставленных в свинцовый переплет. Листовое стекло большой площади долго не умели получать. Поэтому даже в XVIII в. застекленные окна имели мелкий переплет. Однако вернемся к истокам производства оконного стекла.

Как уже было сказано, римляне научились изготавливать оконное стекло в конце старой эры. Они делали это путем отливки и раскатывания жидкого стекла в форму в виде противня, который изготавливался из глины. Отливки извлекались из формы еще в горячем виде, пока стекло сохраняло пластичность. Таким способом получали оконное стекло толщиной около 10 мм и площадью до 0,5 м². Поскольку прилегающая к форме сторона листа оказывалась шероховатой, то стекло не было прозрачным.

Такое стекло находили при раскопках в западноевропейских колониях Рима, а также на Востоке вплоть до Черноморского побережья. Как уже было отмечено, после распада Римской империи это ремесло пришло в упадок, а способ производства был забыт и никогда не возобновлялся. Новый способ производства оконного стекла был разработан несколько столетий спустя, в средние века. Этот способ принципиально отличался от древнеримского, так как получался не отливкой, а выдуванием. Вначале выдували шар, который раскатыванием на плитке и размазыванием в воздухе превращался в подобие большой ампулы. После отрезания верхней и нижней части получался цилиндр, который разрезался вдоль твердым минералом и разглаживался на раскатанной глиняной плитке в лист деревянной гладилкой. Стекло получалось довольно тонким, хотя и небольшого размера. Сторона, прилегающая к плитке при разглаживании, также получалась шероховатой, а значит, стекло было непрозрачным.

На территории древнеславянского государства археологи многократно находили фрагменты стеклянных кругов диаметром 200...250 мм с хорошо заделанными кройками. Ученые сходятся во мнении, что эти стеклянные круги служили для остекления окон крупных общественных зданий, например храма Софии Киевской и других церквей древней Руси. Считают, что способ их производства сводился к следующему. В форме выдувался сосуд, похожий на конусообразный графин. Дно этого «графина» обрезалось, а кромка заворачивалась.

В конце средневекового периода в Европе начали широко применять «лунный» способ изготовления листового стекла. При этом способе вначале выдувался шар, затем он сплющивался, к его дну припаялась ось, а около выдувательной трубки заготовка обрезалась. В результате получалось подобие вазы с припаянной ножкой-осью. Раскатанная «ваза» вращалась с большой скоростью вокруг оси и под действием центробежной силы превращалась в плоский диск. Толщина такого диска была 2...3 мм, а диаметр доходил до 1,5 м. Далее диск отделялся от оси и отжигался. Такое стекло было гладким и прозрачным. Характерная его особенность — наличие в центре диска утолщения, которое специалисты называют «пупком». Лунный способ производства сделал листовое стекло доступным для населения. Однако на смену ему уже в начале XVIII в. пришел другой, более совершенный способ.

шенный, «**халаявный**» способ, который использовался во всем мире почти в течение двух столетий. По существу, это было усовершенствование средневекового способа выдувания, в результате которого получался цилиндр. «Халаявный» называли формируемую массу стекла на конце выдувной трубки. Она доходило до 15...20 кг и из нее в итоге получались листы стекла площадью до 2...2,5 м².

Этот способ позволил получать оконное стекло хорошего качества и относительно недорогое для широких слоев населения. Таким образом, проблема светлого и теплого жилища была разрешена лишь в XVIII в. Это было достигнуто трудом многих поколений стеклоделов в течение двух тысячелетий.

Однако «халаявный» способ трудно поддавался механизации, а потребности в оконном стекле росли быстрыми темпами. Поэтому поиски новых способов продолжались и в результате в начале XX в. был внедрен в промышленность механизированный процесс. В основе его лежало наблюдение американца Кларка, сделанное в первой половине XIX в. Оно состояло в том, что если на поверхность жидкого стекла положить железный стержень («приманку»), а затем поднимать его, то стеклянная масса приварится (приклеится) к стержню и потянется за ним в виде полотна. При оставлении на воздухе получается стеклянный лист. Однако он получался не с параллельными кромками, а в виде клиновидного полотна. Следующим шагом на пути разработки механизированного способа было изобретение бельгийца Фурко. Он предложил положить на поверхность расплавленной массы керамический брус («лодочку») с продольной щелью. Керамика легче расплавленной стеклянной массы и потому лодочка плавает на поверхности. Если нажать на лодочку, то расплавленная масса выдавливается из щели. На нее опускают «приманку» и тянут вверх. Если скорость подъема приманки будет равна скорости выдавливания стекломассы, то получится правильное полотно с параллельными кромками. Дальнейшее завершение решения проблемы носило технологический и конструктивный характер — устанавливаются подъемные валики, холодильники и другие приспособления. Толщина листа зависит от скорости подъема и скорости охлаждения листа.

Оконное стекло производят данным способом до настоящего времени. Имеется и несколько другой вариант технологического оформления процесса производства листового стекла, который используют в США. В нем вместо лодочки с каждого борта полотна располагается пара роликов, между которыми и проходит полотно. Ролики препятствуют сужению полотна, и потому отпадает необходимость в лодочке.

Из сказанного видно, какими усилиями далась человечеству оконное стекло. Вряд ли современный человек может в полной мере оценить тот комфорт и удобство, которое дает ему прозрачное листовое стекло: он рождается в светлом и теплом помещении и принимает это как должное.

РАЗНОВИДНОСТИ СТЕКОЛ

При изготовлении стекла существует три вида его функциональных изменений:

- **стекло цветное в массе,**
- **стекло с напылением на поверхность,**
- **армированное стекло.**

Наибольшее количество стекла производится с небольшим содержанием окиси или закиси железа, которая придает стеклу зеленоватый оттенок. Если количество железа увеличить, то стекло приобретает зеленый цвет. Тщательное удаление железа позволяет получить просветленное или «чисто белое» стекло, которое называют **увиолевым**.

Увиолевое стекло пропускает ультрафиолетовые лучи, которые обычно поглощаются другими стеклами. Обычное оконное стекло имеет нижнюю границу пропускания ультрафиолетовых лучей около **320 нм**. Увиолевые стекла пропускают ультрафиолетовые лучи, начиная с **240 нм**. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны **280 — 320 нм** называют биологическими лучами, они благотворно действуют на растительные и животные организмы. Поэтому увиолевые стекла применяют для остекления больниц, санаториев, оранжерей и т.п.

Если вы хотите загорать в любое время года, то вам необходимо застеклить окна, балкон или крышу мансарды увиолевым стеклом.

Окрашенное в массе стекло

Окраску стекла осуществляют введением в него оксидов некоторых металлов или образованием коллоидных частиц определенных элементов. Так, золото и медь при коллоидном распределении окрашивают стекло в красный цвет. Такие стекла называют золотым и медным рубином соответственно. Серебро в коллоидном



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Таблица 2. Светопроницаемость стекол

Толщина и тип стекла	Светопро- ницаемость
6 мм, чистое	0,87
6 мм армированное	0,74
6 мм, зеленое	0,66
6 мм, бронзовое	0,46
6 мм, серое	0,39
6 мм, с высоким коэффициентом отражения	0,18

состоянии окрашивает стекло в желтый цвет. Хорошим красителем является селен. В коллоидном состоянии он окрашивает стекло в розовый цвет, а в виде соединения $CdS \cdot 3CdSe$ — в красный. Такое стекло называют селеновым рубином. При окраске оксидами металлов цвет стекла зависит от его состава и от количества оксида-красителя. Например, оксид кобальта в малых количествах дает голубое стекло, а в больших — фиолетово-синее с красноватым оттенком. Оксид меди в натрий-кальциевом стекле дает голубой цвет, а в калиево-цинковом — зеленый. Оксид марганца в натрий-кальциевом стекле дает красно-фиолетовую окраску, а в калиево-цинковом — сине-фиолетовую. Оксид свинца усиливает цвет стекла и придает цвету яркие оттенки.

Стекло с напылением

Стекло с напылением по системе "On-Line" (так называемое k-стекло или стекло с «твердым» покрытием) изготавливается в процессе производства флоат-стекла или стекла, выпускаемого старым (вертикальным) способом вытяжки, при прохождении еще горячей ленты стекла через специальную ванну, в результате чего на его поверхности образуется очень твердая пленка, например, оксида олова. Стекло с покрытием "On-Line" приобретает зеркальность, а также тепло- или солнцезащитные свойства.



Армированное стекло

Армированное стекло изготавливают путем введения внутрь еще горячего литого стеклянного листа металлической сетки с последующей его прокаткой. Металлическую сетку или проволоку закатывают в чистое, цветное или орнаментное стекло. При ударе такое стекло растрескивается, но не дает больших осколков, так как проволока удерживает их на себе. Армированные стекла задерживают развитие пламени в помещениях: от пламени такие стекла не выпадают из рамы, а лишь растрескиваются. В результате они препятствуют образованию сквозняков, раздувающих огонь.

Цвет, напыление и армирование стекла определяют количество и качество солнечного света, попадающего в помещение (таблица 2).

Методы дальнейшей обработки стекла разделяют на **первичные и вторичные** процессы.

К **первичным** процессам относят: закалку или термическую обработку (tempered glass), изгибание (bent) и обработку поверхности стекла песком (sand blasting) или кислотой.

Вторичные процессы — окраска (printed), напыление на уже готовые листы стекла (off-line coated), ламинирование (laminated) и изготовление стеклопакетов.

Закаленное стекло

Закаленное стекло получают из обычного стекла путем специальной термической обработки — закалки, благодаря чему стекло приобретает механическую прочность, значительно превышающую прочность незакаленного стекла, и очень высокую термическую устойчивость. Для этого стекло нагревают до температуры 650 градусов, когда оно приобретает способность к пластической деформации, а затем быстро охлаждают. В связи с большой механической прочностью закаленное стекло иногда называют **небьющимся**. При особенно сильном ударе такое стекло все же разлетается на мелкие осколки, которые, тем не менее, не имеют острых режущих краев. Закаленное стекло



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

выдерживает резкие изменения температуры — до 270 градусов, тогда как обыкновенное стекло растрескивается при разности температур в 70 градусов.

Гнутое стекло изготавливают путем нагрева стекла до размягчения с последующим его изгибанием и закреплением полученной формы при медленном охлаждении. Такое стекло применяют при изготовлении конструкций для остекления крыш и фасадов, производстве мебели, автомобильных стекол.

Прозрачные и непрозрачные стекла

Прозрачные и непрозрачные стекла. Одним из важнейших свойств стекла является его прозрачность. Однако в некоторых деталях промышленного и бытового интерьера необходимо, чтобы стекло, наоборот, было непрозрачным, но пропускало свет. В таких случаях стеклу специально придают непрозрачность путем его «глушения». Вещества, способствующие помутнению стекла, называют глушителями. Глушение происходит вследствие распределения по всей массе стекла мельчайших кристаллических частиц. Сильно заглушенное стекло (белого цвета) называют молочным. Его используют главным образом для изготовления осветительной аппаратуры.

Обработка стекла мощной струей песка под давлением позволяет снимать тонкий слой поверхности стекла, образуя на нем матовый рисунок. Такой же эффект достигается при обработке стекла лучом лазера, но этот способ более дорогой, чем пескоструйная обработка. При обработке стекла песком необрабатываемую поверхность необходимо защищать масками, в то время как при обработке лазерным лучом в этом нет необходимости — лазер создает рисунок на поверхности стекла по программе.

Мелкие стеклянные изделия делают матовыми **обработкой фтороводородной (плавиковой) кислотой**. Кислота взаимодействует с диоксидом кремния, находящимся на поверхности, с образованием летучего тетрафторида кремния SiF_4 в соответствии с уравнением $\text{SiO}_2 + 6\text{HF} = \text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$

Результат обработки стекла кислотой по своей фактуре напоминает пескоструйную обработку. Для этого стекло, защищенное маской, погружают в кислоту, затем поднимают, смывают маску и на поверхности стекла остается рисунок из оплавленных и не оплавленных кислотой участков.

Окраска поверхности прозрачного стекла производится ганчарными (керамическими) красками, с последующим закреплением их на поверхности стекла путем термической обработки. Краску наносят для придания стеклу новых эстетичных форм, снижения светопропускания или создания информационных дисплеев.

Нанесение металлов или их оксидов на стекло после его изготовления (**Off-Line coated**) обычно произ-



водится методом магнетронного напыления в вакуумных камерах. Перед напылением стекло тщательно очищают и подают в вакуумную камеру с одним или несколькими магнетронами. Магнетронное распыление позволяет создать на поверхности стекла многослойную структуру из последовательно нанесенных друг на друга слоев металла (обычно серебра) и оксидов или нитридов металла. Это придает стеклу (так называемое i-стекло или стекло с «мягким» покрытием) новые свойства, которые позволяют его применять как «тепловое зеркало», как элемент солнечной батареи, или дисплей в мониторах.

“Тепловое зеркало”, Low E стекло (от английских слов Low Emissivity — низкая степень черноты), **низкоэмиссионное, энергосберегающее** стекло — разные названия одного и того же типа стекла. Такое стекло обычно пропускает видимую и ближнюю инфракрасную часть солнечного спектра, но не пропускает ультрафиолетовые лучи и тепло (дальняя часть инфракрасного излучения).

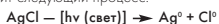
Ламинированное или многослойное (триплекс) стекло представляет собой систему из двух или более листов стекла склеенных между собой прозрачным и упругим промежуточным слоем органического вещества — пленкой или смолой. Многослойное стекло не распадается на куски, как обыкновенное. При ударе на таком стекле образуются лишь многочисленные радиальные или концентрические трещины. Осколки сте-

СТЕКЛО: МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

кла удерживаются прокладкой, которая прочно склеива со стеклом.

Фотохромные стекла

Фотохромные стекла изменяют окраску под действием излучения: при освещении темнеют, а в отсутствие интенсивного освещения вновь становятся бесцветными. Такие стекла применяют для защиты от солнца сильно остекленных зданий, для поддержания постоянной освещенности помещений, а также на транспорте. Фотохромные стекла содержат оксид бора B_2O_3 , а светочувствительным компонентом является хлорид серебра $AgCl$ в присутствии оксида меди Cu_2O . При освещении происходит следующий процесс:



Выделение атомарного серебра приводит к потемнению стекла. В темноте реакция протекает в обратном направлении. Оксид меди играет роль катализатора.

Хрусталь, хрустальное стекло

Хрусталь, хрустальное стекло — это силикатное стекло, содержащее различное количество оксида свинца. Часто на маркировке изделия указывается содержание свинца. Чем больше его количество, тем выше качество хрустали. Хрусталь характеризуется высокой прозрачностью, хорошим блеском и большой плотностью. Изделия из хрустали в руке чувствуются по массе.

Строго хрусталем называют свинцово-калиевое стекло. Хрустальное стекло, в котором часть K_2O заменяется на Na_2O , а часть PbO заменена на CaO , MgO , BaO или ZnO , называют полухрусталем.

Кварцевое стекло

Эту разновидность стекла получают плавлением чистого кварцевого песка или горного хрустали (SiO_2). Для изготовления кварцевого стекла требуется очень высокая температура (выше $1700^\circ C$).

Расплавленный кварц обладает высокой вязкостью, но из него трудно удаляются пузырьки воздуха. Поэтому кварцевое стекло часто легко узнается по заключенным в нем пузырькам. Важнейшим свойством кварцевого стекла является способность выдерживать любые температурные скачки. Например, кварцевые трубы диаметром 10-30 мм выдерживают многократное нагревание до $800-900^\circ C$ и охлаждение в воде. Тонкостенные изделия из кварцевого стекла выдерживают резкое охлаждение на воздухе от температуры выше $1300^\circ C$ и потому с успехом исполь-

зуются для высокоинтенсивных источников света. Кварцевое стекло по сравнению с другими стеклами наиболее прозрачно для ультрафиолетовых лучей. На этой прозрачности отрицательно сказываются примеси оксидов металлов и особенно железа. Поэтому в производстве кварцевого стекла, предназначенного для работы с ультрафиолетовым излучением, особо жесткие требования предъявляются к чистоте сырья.

Пеностекло

Пеностекло — пористый материал, представляющий собой стеклянную массу, пронизанную многочисленными пустотами. Оно обладает тепло- и звукоизоляционными свойствами, небольшой плотностью (примерно в 10 раз легче кирпича) и высокой прочностью, сравнимой с бетоном. Пеностекло не тонет в воде и потому используется для изготовления понтонных мостов и спасательных принадлежностей. Однако главная область его применения — строительство. Пеностекло является исключительно эффективным материалом для заполнения внутренних и наружных стен зданий. Оно легко поддается механической обработке: пилением, резанием, сверлением и обтачиванию на токарном станке.

Ситаллы

Ситаллы — стеклокристаллические материалы, получаемые регулируемой кристаллизацией стекла. Стекло, как известно, — это твердый аморфный материал. Обычно стекломасса довольно стабильна и не кристаллизуется. Однако при повторном нагревании изделия из стекла до определенной температуры стабильность стекломассы уменьшается, и она переходит в тонкозернистый кристаллический материал. Технологи научились проводить процесс кристаллизации стекла без его растрескивания.



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Ситаллы обладают высокой механической прочностью и термостойкостью, водоустойчивы и газонепроницаемы, характеризуются низким коэффициентом расширения, высокой диэлектрической проницаемостью и низкими диэлектрическими потерями.

Прочность, легкость и огнестойкость обусловили применение ситаллов в жилищном и промышленном строительстве. Из них изготавливают навесные самонесущие панели наружных стен зданий, перегородки, плиты и блоки для внутренней облицовки стен, мощения дорог и тротуаров, оконные коробки, ограждения балконов, лестничные марши, волнистую кровлю, санитарно-техническое оборудование. В быту ситаллы чаще всего встречаются в виде белой непрозрачной жаростойкой кухонной посуды.

Ситаллы — один из видов стеклокристаллических материалов, которые ведут свою историю всего лишь с 50-х годов текущего столетия, когда был выдан на них первый патент.

Стеклопакет и волоконно

При нагревании стекло размягчается и легко вытягивается в тонкие и длинные нити. Тонкие стеклянные нити не имеют и признаков хрупкости. Их характерным свойством является чрезвычайно высокое удельное сопротивление разрыву. Нить диаметром 3-5 мкм имеет сопротивление на разрыве 200-400 кг/мм², т.е. приближается по этой характеристике к мягкой стали. Из нитей изготавливают стекловату, стекловолокно и стеклоткани. Не трудно догадаться об областях использования этих материалов. Стекловата обладает прекрасными тепло- и звукоизоляционными свойствами. Ткани, изготовленные из стеклянного волокна, обладают чрезвычайно высокой огнестойкостью и химической стойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами.

Переработка в стекловату осуществляется продавливанием стекломассы через термостойкую пластину с многочисленными отверстиями («фильтрами»). Вытекающие через фильеры нити захватываются вращающимся барабаном, наматываются на него и растягиваются. Растяжение нити (утожнение) зависит от скорости вращения барабана. Роль барабана иногда играет вращающийся диск, на который падает нить.

Существует и принципиально иной способ вытягивания нитей: на вытекающие из фильер нити направляется струя пара или сжатого воздуха. Стеклянные нити растягиваются и в спутанном состоянии образуют войлок.

Стеклопластики и стеклотекстолиты

Первыми называют материалы, получаемые путем горячего прессования стекловолокна, перемешанного с синтетическими смолами. В качестве смол чаще всего используют полиэфирные, фенольные, эпокси-



дные и карбамидные. В стеклопластиках стекловолокно играет роль армирующего материала, придающего изделиям высокую механическую прочность при малой плотности. Они успешно конкурируют с алюминием и сталью.

В строительстве стеклопластики (волнистые и плоские) применяют для покрытия крыш и для устройства внутренних перегородок. В судостроительной промышленности из них изготавливают корпуса лодок и катеров, в электротехнической их применяют для изготовления аккумуляторных батарей, а в угольной — для труб и призабойных стоек. В некоторых странах из них изготавливают кузов автомобиля, не подвергающиеся коррозии. Стеклопластики на основе стеклянных тканей называют стеклотекстолитами. Их получают пропиткой теми же смолами стеклотканей. Затем заготовки сушат, разрезают на куски определенного формата, собирают в пакеты и прессуют под давлением.



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



Стеклопластики изготавливают также на основе нетканых стекломатериалов. По сравнению со стеклотекстолитами последние имеют меньшую прочность на разрыв. Эти материалы идут на изготовление облицовочных изделий, жесткой кровли, стеклошифера, стеклочерепицы.

Витраж

Современное представление о витраже, как о картине из стекла, было совершенно иным много лет назад. Слово «vitrage», происходит от латинского «vitrum» — стекло. До 1914

года, пока не была изобретена промышленная технология производства листового стекла, листовое стекло изготавливали выдуванием или отливкой и его площадь не превышала сначала 0,5 м², а затем 2 м². Поэтому для остекления больших проемов небольшие стекла собирали вместе в свинцовой, медной или другой оправе.

Первые достоверные сведения о применении свинцовой пайки относятся к десятому веку.

Старые стекла из-за несовершенной системы очистки шихты обычно имели цветную окраску, а первые окна представляли собой цветную мозаику. В храмах или дворцах такое окно становилось органическим продолжением стенового декора и «вписывалось» в общее тональное решение интерьера.

С тех пор орнамент или декоративная композиция в оконном или дверном проеме, самостоятельное панно из стекла или другого материала, пропускающего свет, — все это витражи, красота которых откладывает отпечаток индивидуальности и неповторимости на все здание.

С изменением исторических эпох, стилей и течений в искусстве и архитектуре, усовершенствованием производства бесцветного прозрачного стекла, открытием новых красок и способов обжига совершенствовалась техника исполнения витражей, улучшались способы их изготовления, тематика и композиция.

Техника витража изначально была очень близка к мозаике. Цветные стекла изготавливаются по заданному размеру и форме (по готовому эскизу) и предста-

вляют собой **элементы геометрического или растительного орнамента, соединенные металлическими ленточными креплениями**. Локальные цветные пятна, вырезанные из разноцветных стекол, составляют определенные детали и фрагменты изображения. Основной недостаток наборного витража — отсутствие объема.

В отличие от «мозаичного», **живописный витраж** собирается из стекла, расписанного керамическими красками с последующим обжигом. Не следует путать живописные витражи, рассчитанные на просвет, с непрозрачными живописью на стекле, выполненной холодным способом масляными красками. После обжига стеклянной картины краски спекаются со стеклом и представляют собой одно целое.

Конечно, любая живопись на стекле спекающимися красками во многом уступает традиционным витражам по чистоте и яркости цвета. Разница в том, что при росписи стекла (и его дальнейшем обжиге) остается тончайшая пленка вроде паутины, лишаящая краски их натуральной сочности. Сравнивая оба вида, можно определить последний как живопись на стекле, а первый — как «живопись стеклом», где сама живописная ткань создается не непосредственным смещением красок, а складывается из дискретных цветовых элементов.

Но это еще не все.

К витражам со свинцовой арматурой относятся также **контурные или силуэтные, узорчатые и комбинированные** виды. Первые набираются из стеклянных дисков, напоминающих бутылочные донца, одноцветного (чаще зеленого) или бесцветного стекла. Диски укладываются горизонтальными и вертикальными рядами, промежутки между которыми заполняются кусками стекла другой конфигурации, а весь набор скрепляется свинцовой жилой. Узорчатые витражи собираются из кусков прозрачного бесцветного стекла с фактурной поверхностью. За счет различной фактуры (рифление, шероховатость, рельефность и т. д.) создаются оригинальные композиции. Важную роль в формировании узора играют контуры



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ры свинцового обрамления. Комбинированные витражи создаются сочетанием различных техник исполнения.

В конце позапрошлого века была изобретена новая технология сборки, получившая название **"Тиффани"**, по имени ее создателя. Каждая стеклянная пластина оправлялась фольгой, затем разрозненные стекла сплавляли друг с другом. Отказ от жесткого металлического каркаса сделал возможным применение таких декоративных изделий не только в качестве стеклянного заполнения проемов в стенах, но и в качестве плафонов для светильников или как отделка для потолков.

Помимо классических, существует несколько современных методов изготовления витражей. Один из них — **американская технология SGO**. На прозрачное листовое стекло наносится твердое многослойное покрытие, придающее будущему изделию цвет и фактуру. Рисунок на стекле выполняется с помощью свинцовой протяжки, закрепленной с обеих сторон стекла. Эта технология имеет несколько неоспоримых плюсов, которые обеспечивают возрастающую популярность витражам, изготовленным по этой технологии. **Во-первых**, применение в качестве основы для такого витража листового стекла делает возможным использование его в стеклопакетах с соблюдением всех технологических норм.

Во-вторых, основой для этого витража может быть не только стекло, но и акриловый пластик, который в два раза легче стекла. Поэтому, такие витражи часто используют для оформления подвесных потолков.

В-третьих, этот способ, позволяет создавать любую пластику линий в рисунке. Такой витраж в два раза дешевле классического.

Еще одна современная технология изготовления витражей называется **"фьюзинг"** ("спекание"). Суть этого метода заключается в том, что на цельном пласте стекла собирается рисунок будущего витража из кусочков цветного стекла, стеклянных гранул, шихты, дровот и т.п. Затем, стекло разогревается в специальной печи до температуры 850 градусов и спекается в цельный пласт. Не смотря на трудоемкость изготовления, витражи выполненные по технологии "фьюзинг", могут иметь различную форму, толщину, фактуру и главное — объем. Это позволяет использовать их в качестве эффектных элементов интерьера: в виде перегородок, вставок в стене, в качестве столешницы. Выглядят такие витражи современно и эстетично, и пользуются заслуженной популярностью. Особенно нужно обратить на них свое внимание почитателям в интерьере постмодернизма и хай-тека.

Существует также технология **"кастинг"**, известная у нас как "муранское стекло". Для отливки витражей используются металлические формы, в нижней части которых есть рельефные углубления. В эти углубления заливается расплавленное цветное стекло, которое затем покрывается слоем прозрачного стекла. Но в



отличие от стекла в технике "спекания" рисунок на "муранском стекле" ограничен той металлической формой, с помощью которой оно было изготовлено.

Витраж в технике **пескоструйной гравировки на стекле** и зеркале самый дешевый. Он представляет собой стекло толщиной не менее 5 мм, на которое в один или несколько слоев нанесен рисунок. С помощью этого метода можно создать матированный рисунок или придать стеклу глубокую рельефную структуру. Это позволяет делать на стекле всевозможные рисунки, надписи. Такой витраж идеально подходит для интерьера в классическом стиле.

Кроме традиционной техники витража в настоящее время появилось множество имитаций витража. Это **наклейка на стекло** прозрачной бумаги с готовым цветным или монохромным узором, изготовленным полиграфическим способом; нанесение изображения, отпечатанного на покрытой клеевым грунтом бумаге путем перевода на стекло; раскраска сплошных бесцветных стекол масляными красками без нанесения контуров и без обжига и др.

Рядом со сложными технологиями настоящих витражей сегодня можно встретить технику **"пленочного псевдовитража"** или **лаковый псевдовитраж**.

Новейшие технологии производства стекла значительно расширили возможности функционального использования витража. Наряду с привычным использованием витража для заполнения проема, это может быть декор подвесных потолков, разграничивающие пространство перегородки, ширмы, оформление плафонов, бра, вставки в мебель (буфеты, шкафы) или столешницы или декоративное оформление помещений, в виде панно или вообще сплошных плоскостей.

Стоит особенно отметить, что только витраж способен создавать в интерьере особую среду, изменчивую и непредсказуемую по игре цвета.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕКЛОПАКЕТА

Стеклопакет — герметичное соединение двух или более листов стекла в единую конструкцию. Только герметичное соединение позволяет осуществить основной принцип термоизоляции — постоянно сохранять внутри стеклопакета сухой воздух или другой газ (например, аргон), которые являются лучшими термоизоляционными материалами.

Если стеклопакет не герметичен, то в него попадает влага, постоянно присутствующая в воздухе, и сопротивление теплопередаче такого, уже не герметичного стеклопакета, не будет отличаться от обычного остекления. В этом случае затраты на изготовление стеклопакета напрасны, т.к. купить и установить два стекла стоит гораздо дешевле.

Ниже дается описание основных аспектов технологии изготовления стеклопакетов и возможного оборудования для их производства, при этом учитываются следующие типы производства:

- **небольшое цеховое производство — производительность до 50 стеклопакетов в день;**
- **промышленное производство — производительность до 300...400 стеклопакетов в день;**
- **полностью автоматическое промышленное производство — производительность 400...900 стеклопакетов в день.**

Основные применяемые продукты, а именно, стекло, дистанционная рамка, абсорбент (молекулярное сито) и герметики — более или менее одинаковы для всех типов производства. Технологии процесса, однако, отличаются, в зависимости от типа производства.

Тип производства, требующий наименьших капитальных затрат на оборудование, это **цеховое предприятие**. Максимальная производительность такого предприятия не превышает 50 стеклопакетов в день, при условии, что соблюдается технология изготовления стеклопакета.

Производство начинается с резки стекла, которая выполняется вручную на обычном столе резки. Вслед за этим, стекло разламывается и складывается на подставку (пирамиду). На следующем этапе стекло будет очищаться с использованием распылителя для чистки стекла или просто водой. В любом случае, стекло следует вытереть насухо тканью из хлопка или замшей. Рекомендуется удалять частицы пыли со стекла с помощью сжатого воздуха. Любой герметик «схватывается» только с чистыми и сухими поверхностями. Если эти условия не будут выдержаны, то в месте загрязнения герметизация будет недостаточной, и влага будет проникать во внутреннюю полость стеклопакета.

Одинаковое расстояние между стеклами (дистанцию) в стеклопакете выдерживают, используя полые алюминиевые или оцинкованные стальные рамки. Прямолинейные отрезки рамки скрепляются уголками. Уголки изготавливаются из пластика, литого цинка или стали. Материал уголка при его выборе не является принципиальным. Самым важным фактором является **механическая стабильность рамки**. Что касается чистоты рамки, то к ней предъявляются те же требования, что и к стеклу: поверхности должны быть очищены от грязи, влаги и коррозионных веществ.

Подготовка дистанционных рамок может происходить одновременно с мойкой стекла. Алюминиевая дистанция должна быть порезана до необходимой длины. Нужно учесть, что периметр рамки всегда меньше периметра порезанного стекла.

С одной стороны в порезанную дистанцию вставляются уголки. Подготовленные таким образом дистанции теперь можно наполнить абсорбентом, предпочтительно с помощью воронки. Наполненные абсорбентом дистанционные профили собираются в рамку.

Затем рамка с двух сторон покрывается **первичным (внутренним) герметиком** — бутилом. Это может быть бутиловая лента, наносимая на рамку вручную. Но луч-



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ше, если бутил наносится с помощью экструдера. В этом случае бутил перед нанесением на дистанционную рамку нагревается до температуры 115...140 °С, а это обеспечивает адгезию или схватываемость герметика с дистанционной рамкой.

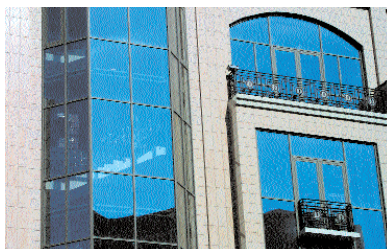
Использование бутилового экструдера увеличивает скорость нанесения бутила на рамку, но требует дополнительных капитальных затрат. Экструдирование или нанесения бутила на рамку происходит следующим образом: после нагрева бутила до температуры, которая, согласно его типу, колеблется от 115 °С до 140 °С, бутил поступает в форсунки с помощью гидравлического пресса. Лента конвейера продвигает рамку вдоль форсунок, которые наносят на нее слой бутила постоянной толщины. Если вам не понравилось бутиловое покрытие, то его можно удалить и вновь повторить процесс нанесения.

Подготовленная таким образом рамка прикладывается к стеклу. Необходимо убедиться в том, что расстояние между крошкой стекла и тыльной стороной рамки (т.е. ее наружной крошкой) одинаково по всему периметру стеклопакета.

После этого прикладывают второе стекло.

Герметизация бутилом обеспечивается только после того, как было выполнено прессование. Это можно сделать с помощью небольшого ручного пневматического пресса с роликами, который может двигаться вдоль крошки стеклопакета — это поможет сэкономить время. Поскольку нажатие ручного пресса регулируется с помощью редукционного клапана, то прессование всегда соответствует необходимым усилиям.

После прессования производится **вторичная или наружная герметизация**. Самый дешевый способ нанесения герметика (в плане капитальных затрат) — это использование картриджей. Этот способ требует только смешивающего устройства и нагнетателя (инжектора) сжатого воздуха. Смешивающее устройство состоит из смешивающей спирали, управляемой двигателем, которую необходимо вставить в картридж. Чтобы избежать чрезмерного нагрева герметика, который ускоряет реакцию химического восстановления, макси-



мально допустимая скорость вращения составляет 200 оборотов в минуту, а время смешивания не должно превышать 3 минуты.

Герметизация соединения обычно осуществляется на вращающем столе, оснащенном присосками, которые удерживают стеклопакет. Вращение стола обеспечивает легкий доступ к стеклопакету с любой стороны.

Минимальная толщина вторичного герметика для стеклопакетов, наполненных сухим воздухом — 3 мм, наполненных аргоном — 5 мм. Эти требования особенно важны в областях углов.

Проникновение водяного пара через полисульфид не является линейной функцией его толщины, т.е. если толщину герметика уменьшить наполовину, скорость диффузии пара не удваивается, но значительно возрастает. Точно также удвоение толщины слоя герметика не приведет к уменьшению наполовину скорости проникновения, а лишь к небольшому его уменьшению.

Несмотря на то, что увеличение толщины прослойки вторичного герметика ведет только к незначительному улучшению качества, уменьшение толщины вызовет серьезный дефект, который, в зависимости от протяженности, может привести к преждевременному повреждению стеклопакета.

При необходимости, изготовленный стеклопакет может подвергаться заключительным операциям, таким как, например, удаление с помощью шпателя (лопатки)

Таблица 3. Ширина дистанционной рамки

Ширина рамки, мм	4,0	5,0	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5
Высота рамки, мм											
6,5	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
8	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

Ширина рамки, мм	14,5	15,5	17,5	18,5	19,5	21,5	23,5	24,5	26,5	31,5
Высота рамки, мм										
6,5	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет	Да	Нет
8	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

чрезмерно нанесенного герметика или корректировка области уголка. Можно корректировать герметизацию в области уголка, используя ерш из влажного хлопка.

При небольшом производстве стеклопакеты обычно герметизируются и прессуются в горизонтальном положении. В этом случае возникает опасность **провисания верхнего стекла под собственным весом**. Особенно это касается стеклопакетов большого размера. Чтобы избежать провисания, во время герметизации габаритных стеклопакетов, один угол надо оставлять открытым и заканчивать герметизацию, когда стеклопакет будет установлен в вертикальное положение. Это позволяет стеклу приобрести параллельно-плоское положение. Только после этого последний уголок герметизируется.

Готовые стеклопакеты устанавливаются вертикально на подставках, наклон в 5...6 градусов к вертикали уже удерживает их от опрокидывания. Такое положение для хранения прекратит дальнейшее уже ненужное прессование бутила.

Горизонтальное хранение готового стеклопакета приводит к чрезмерному сжатию бутила и потере качества герметизации.

Пробковые прокладки, помещенные между стеклопакетами, защищают поверхности стекла от повреждения при трении, которое может возникнуть при хранении или перевозке.

После полимеризации герметика [время от трех до двадцати часов — определяется температурой в помещении и типом герметика], стеклопакеты готовы к отправке.

Промышленное производство с ежедневным выпуском 200...400 стеклопакетов основывается на тех же ме-

тодах, которые описаны выше, но с применением различного типа более сложных машин.

Стекло режется на автоматических столах резки. Для того, чтобы уменьшить до минимума расход стекла, резка оптимизируется компьютерной программой. Последующий разлом и хранения (складирование) отдельных листов стекла выполняются вручную.

Стекло очищают в моечной машине, затем сушат. Такие мойки работают с полностью деминерализованной водой, подготовленной соответствующей установкой, чтобы избежать загрязнения поверхностей стекла солью, которая в избытке содержится в водопроводной воде.

Дистанционные профили режутся вручную, но запломбирование абсорбентом осуществляется наполняющими устройствами, позволяющими одновременно наполнять до 20 профилей.

На сборочном стенде дистанционная рамка устанавливается на оконное стекло вручную.

В соответствии с типом установки, второе стекло стеклопакета будет монтироваться либо автоматически, либо вручную.

Вертикальные прессы для стеклопакетов доказали свою ценность благодаря однородной силе нажима, которую они прикладывают одновременно ко всей поверхности стеклопакета. Эта сила зависит от размеров стеклопакета, которые пресс определяет автоматически. После прессования стеклопакет переходит к этапу наклона (опрокидывания). Здесь он размещается в горизонтальное положение, необходимое для его дальнейшей обработки на столе герметизации.

В этом случае, герметик наносится с использованием автоматического насоса смешивания и дозировки и по-



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



дается непосредственно в нагнетатель герметика. Упаковочной тарой для компонента **A** служат бочки на 190 литров, а для компонента **B** — бочки по 20 литров.

Полностью автоматизированное, крупномасштабное производство использует оборудование для обработки, подобное тому, которое описывается выше. Основное различие заключается в высокой степени автоматизации.

Как и раньше, стекло режется с использованием компьютерной программы оптимизации, которая сводит к минимуму расход стекла. В специальной станции разлома стекло, проходящее над ротационным валом, поднимается; создаваемая таким образом нагрузка вызывает его разлом. Оконные стекла в большинстве случаев складываются вручную.

Подача стекла на производственную линию (сегодня предпочтение отдается вертикальному положению обработки оконного стекла) производится вручную, во время которой осуществляется визуальный осмотр. Вслед за этим, оконные стекла подлежат очистке и сушке. Этот процесс обеспечивает различные степени очистки, когда учитываются специфические свойства (например, покрытие) оконного стекла. После очистки стекло поступает на сборочную станцию. В этом месте, дистанционная рамка, которая выходит из полностью автоматической машины пуща, устанавливается на стекло. Эта операция происходит либо перед поступлением на пресс или в самом прессе. Если говорить о качестве стеклопакетов, то полностью автоматизированный процесс сборки стеклопакетов обеспечивает самое высокое качество стеклопакетов.

Расстояние между оконными стеклами может заполняться газом или смесью газа. После прессовочной станции, стеклопакет переходит на автоматическую машину герметизации. В зависимости от типа оборудования, наружная герметизация кромок наносится на стеклопакет либо с помощью одной форсунки, либо двух форсунок. Электронное контрольное устройство подает необходимое количество герметика. Геометрические данные со-

единения (которое определяет необходимое количество герметика) измеряются перед процессом герметизации, вместе с этим определяется ширина соединения, что касается глубины, она непрерывно измеряется во время герметизации.

В заключении еще раз хочется остановиться на качестве изготовления стеклопакета. Качественный стеклопакет можно изготовить на любом типе оборудования. Просто всегда надо помнить — стеклопакет должен быть герметичен, а газ внутри стеклопакета — сухим, а эти условия выполняются только при соблюдении всех технологических режимов.

Какая ширина у дистанционных рамок?

Согласно Межгосударственному стандарту ГОСТ 24866-99 «Стеклопакеты клеенные строительного назначения. Технические условия» ширина дистанционных рамок или расстояние между стеклами в стеклопакетах может быть от 8 до 36 мм, а толщина стеклопакета от 14 мм до 60 мм.

Производители выпускают дистанционную рамку высотой 6,5 мм и 8 мм. Ширина дистанционной рамки приведена ниже в таблице 3.

Таким образом, исходя из требований нового стандарта, стеклопакеты с дистанционной рамкой 6 мм уже не соответствуют требованиям ГОСТа.

Какие герметики используются для герметизации стеклопакетов?

В качестве герметика первого герметизирующего слоя применяют полиизобутиленовые герметики (бутилы).

Для второго герметизирующего слоя применяют полисульфидные (тиокаловые), полиуретановые или силиконовые герметики.

Применяемые герметики должны иметь адгезионную способность и прочность, обеспечивающие требуемые характеристики стеклопакетов.

Герметики должны быть разрешены к применению органами государственного санитарного надзора и иметь гигиенические заключения.

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Таблица 4. Максимальная площадь стеклопакета

Стеклопакеты	Ширина дистанционной рамки, мм	Максимальная площадь стеклопакета, м ² , при толщине стекол 4, мм					
		3	4	5	6	7	> 7
Однокамерные	12	1,5	3,2	4,5	6	7	9
	15	1,5	3,6	4,5	6,5	8	9
	18	1,5	3,6	5	7	9	9
	9	1,3	2,5	3,5	4,5	6	-
Двухкамерные	12	1,5	3,2	4,5	6	6	-

Допустимо ли «провисание» герметика второго герметизирующего слоя?

Действительно, толщина герметика второго слоя не одинакова по ширине задней стороны дистанционной рамки. В центре рамки расстояние от верхней кромки герметика до задней стороны рамки меньше чем по краям, равно со стеклом.

Это не ухудшает качество герметизации, так как главным условием качественной герметизации является выдержка расстояния между верхней кромкой вторичного герметика и бутилом. Это расстояние должно быть не менее 3 мм. Провисание вторичного герметика в центре дистанционной рамки не уменьшает это расстояние, а значит и не влияет на качество герметизации стеклопакета.

Можно ли использовать в качестве первого герметика двухсторонние липкие ленты?

Липкие ленты выполняют функции механического соединения стекла с дистанционной рамкой, но функций герметика первого герметизирующего слоя не выполняют. Лента не поддерживает проникновение влаги внутрь стеклопакета.

Поэтому применение липких двухсторонних лент — грубое нарушение технологии изготовления герметичного стеклопакета.

В стеклопакете основные функции герметизации выполняет первый герметизирующий слой на основе бутила. Основное назначение вторичного герметика, после герметизирующих, снижение механических нагрузок на первый слой герметизации при изменении объема стеклопакета в связи с изменением температуры и давления воздуха.

Отрицательное воздействие липких лент усиливается, когда в качестве вторичного герметика применяют однокомпонентный герметик типа «ноу-мелт».

Данный герметик очень мягкий летом и очень твердый зимой. Он не держит форму стеклопакета летом и не демпфирует механические нагрузки — зимой. Это, весь-

ма отрицательное свойство «герметика», приводит к разгерметизации стеклопакета после первых же холодов, и герметичный, на первый взгляд, стеклопакет превращается в склеенные между собой стекла, между которыми появляется влага или изморозь в холодное время года.

Можно ли применять в стеклопакетах декоративные рамки?

Нормативные документы не запрещают применять любые декоративные рамки внутри стеклопакета и рекомендуют выдерживать расстояние между декоративной рамкой и стеклом — 3 мм.

Какие размеры у декоративных рамок?

Декоративные рамки изготавливают различных форм и геометрических размеров. Ширина декоративных рамок — 6 мм, 8 мм, 18 мм, 24 мм, 26 мм и 45 мм. Толщина декоративных рамок — 6 мм, 8 мм и 10 мм. Учитывая, что допустимое расстояние между стеклом и декоративной рамкой — 3 мм, необходимо выбирать ширину дистанционной рамки исходя из толщины декоративной рамки. Например, если толщина декоративной рамки 6 мм, то минимальная ширина дистанционной рамки — 12 мм.

Какие могут быть последствия, если толщина декоративной рамки равна ширине дистанционной рамки?

Первое. Необходимо помнить, что применение декоративной рамки снижает сопротивление теплопередаче стеклопакета. Снижение сопротивления теплопередаче стеклопакета не столь заметно, если отсутствует контакт декоративной рамки с внутренним и внешним стеклом. При контакте декоративной рамки со стеклом сопротивление теплопередаче уменьшается на 10...20% в зависимости от размеров стеклопакета. Чем меньше стеклопакет, тем более заметно снижение сопротивления теплопередаче стеклопакета с декоративной рамкой.

Второе. Декоративная рамка, при контакте со стеклом, уменьшает механическую прочность герметичного стеклопакета.

Если стеклопакет не герметичен, то наличие декоративной рамки не влияет на механическую прочность стеклопакета.

В герметичном стеклопакете при снижении температуры окружающего воздуха уменьшается внутренний объем

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

стеклопакета. Если декоративная рамка контактирует со стеклом, то стекло не имеет возможности прогнуться внутрь стеклопакета. Нагрузки при снижении температуры возрастают, и при достижении значений, предельных для стекла, стекло разрушается, стеклопакет разгерметизируется, снимая механические нагрузки со стекла.

Какие максимальные и минимальные размеры стеклопакетов?

Если следовать ГОСТ 24866-99, то **максимальные размеры стеклопакета** по ширине и высоте, как правило, не должны превышать **(3,2 x 3,0) м**.

Не рекомендуется изготовление стеклопакетов размерами менее (300x300) мм, а также с соотношением сторон более 5:1.

Но это только рекомендации, реально допустимые размеры стеклопакетов определяются после расчета стеклопакета исходя из механических нагрузок, таких как ветер или изменение температуры окружающего воздуха и его давления.

Например, при **больших размерах стеклопакета и узкой дистанции между стеклами может произойти «схлопывание»** стеклопакета, когда при снижении температуры и уменьшении объема стеклопакета стекла в стеклопакете соединятся между собой. Последствия «схлопывания» стеклопакета — разрушение стекла и разгерметизация стеклопакета.

Небольшие по размеру стеклопакеты чаще разрушаются зимой, когда нагрузки на стекло при уменьшении объема стеклопакета превышают допустимые. В маленьких по размеру стеклопакетах стекло не имеет возможности прогнуться, как это имеет место в больших стеклопакетах.

Стеклопакеты с соотношением сторон более чем три к одному, особенно если меньшая сторона не превышает 500 мм, также разрушаются из-за невозможности стекла прогнуться по короткой стороне при снижении температуры зимой.

Учитывая взаимное влияние различных причин на допустимые максимальные и минимальные размеры стеклопакетов, лучше доверить проверку размеров

стеклопакета профессионалам или положиться на свое везение и опыт.

Строительные нормы СН 481-75 «Инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации стеклопакетов» определяют максимальную площадь стеклопакетов для окон и витрин.

Правда, что цветное стекло в стеклопакете должно быть обязательно закаленным?

Цветные стекла, в отличие от прозрачных, имеют коэффициент поглощения солнечной энергии от 30 до 72 процентов.

Если следовать требованиям ГОСТ 24866-99, которые указывают, что в случаях когда, в стеклопакетах для наружного остекления применяет не упрочненное стекло, его коэффициент поглощения света должен быть не более 25 %. Стекло с более высоким коэффициентом поглощения света должно быть упрочненным.

Из этого следует, что все цветные стекла в стеклопакетах должны быть упрочненными. Упрочненным можно назвать термически закаленное или ламинированное стекло. Стекло с обработанным краем или стекло после химической закалки также можно отнести к упрочненному стеклу.

На наш взгляд, требования ГОСТа весьма жесткие, так как расчет тепловых нагрузок на цветное стекло для большинства стран СНГ, том числе и для Украины, где он действует, показывает, что нагрев стекла солнечной энергией не достигает значений, приводящих к разрушению цветного стекла.



В Крыму или Узбекистане, где количество солнечных дней в году гораздо выше, чем в средней полосе Украины или России, этим требованиям ГОСТа необходимо соответствовать.

Где располагается цветное стекло в стеклопакете?

Цветное стекло устанавливается **только снаружи стеклопакета**. Летом оно должно охлаждаться наружным воздухом.

Если стекло установлено внутрь помещения, где отсутствует естественное движение воздуха, то летом оно будет нагреваться и повышать температуру воздуха внутри помещения. При нагревании стекла увеличивается вероятность его разрушения из-за его теплового расширения и возникающих на стекле температурных перепадов. Для охлаждения стекла и воздуха придется увеличить мощность кондиционера.

Можно использовать в стеклопакетах армированное стекло?

Строительные нормы СН 481-75 «Инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации стеклопакетов» прямо **запрещают** применять в стеклопакетах армированное стекло.

Какие стеклопакеты применяются в зенитных фонарях или на наклонных поверхностях?

Стеклопакеты зенитных фонарей, в дополнении к ветровой нагрузке, должны выдерживать снеговую нагрузку, толщина стекла определяется расчетом и не может быть тоньше 5 мм.

Дистанция в однокамерных стеклопакетах — не менее 12 мм, а в двухкамерных — не менее 9 мм.

Максимальная площадь стеклопакетов для зенитных фонарей или наклонного остекления — 2 м².

В зенитных фонарях со стеклопакетами следует предусматривать устройство под остеклением защитных металлических сеток с ячейками 50х50 мм, окрашенных в белый цвет.

Если же металлическая сетка под стеклопакетом не предусмотрена, необходимо в качестве нижнего стекла использовать триплекс. Толщина триплекса должна быть в 1,3 раза толще монолитного стекла, определенного расчетом и выдерживающего механические нагрузки для данного стеклопакета.

Как выбрать толщину стекла для стеклопакета?

Подробный расчет толщины стекла в стеклопакете приведен в Строительных нормах СН 481-75 «Инструкция по проектированию, монтажу и эксплуатации стеклопакетов»

При каких температурах воздуха можно производить монтаж стеклопакетов?

Монтаж стеклопакетов допускается при температуре наружного воздуха не ниже минус 15°C.

Температура внутреннего воздуха помещений, остекленных стеклопакетами, в зимний период строительства должна быть не ниже + 5°C.

КАК ВЫБРАТЬ СТЕКЛО

Стекло, как и любой строительный материал, обладает определенными механическими свойствами, но главное, что его отличает — прозрачность. Способность стекла пропускать ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения — это главное, на что нужно обращать особое внимание, после выбора стекла по его механическим свойствам.

Для этого производитель стекла предоставляет покупателю световые и тепловые характеристики стекла (таблица 5). Такая таблица позволяет легко и быстро выбрать стекло. Например:

Прозрачное стекло обеспечивает высокую степень пропускания солнечного света и тепла — 89% и 86% соответственно. Это означает, что в помещение, где в окно вставлено прозрачное стекло, будет светло и очень жарко летом;

Зеленое стекло позволяет сохранить прозрачность окна и сократить поступление солнечного тепла в помещение до 66%, но из-за увеличения поглощения тепла внутри стекла до 36% повышается вероятность его разрушения в жаркое время года, из-за микротрещин, которые остаются на кромке стекла после его резки. Поэтому применение цветного стекла в жарком климате Крыма требует его обязательной заделки или обработки кромок, которые увеличивают механическую и тепловую стойкость стекла.

Бронзовое стекло уменьшает пропускание света до 60% и тепла до 68%, но из-за увеличения поглощения тепла внутри стекла до 36% повышается вероятность его разрушения в жаркое время года, из-за микротрещин, которые остаются на кромке стекла после его резки. Поэтому применение цветного стекла в жарком климате Крыма требует его обязательной заделки или обработки кромок, которые увеличивают механическую и тепловую стойкость стекла.

Достоинства прозрачного и цветного стекла реализуются в **стекле с зеркальным напылением** на его поверхность, например, у стекла Стопсол Суперсильвер или стекла «220», выпускаемого фирмой «Технолунч». Это стекло ограничивает поступление солнечного тепла в помещение до 67%, но не нагревается, т.к. поглощение тепла у него низкое — 10%, такое же, как и у прозрачного стекла. Такие свойства стекло приобретает после нанесения на его поверхность тонкого слоя оксида металла. Стекло с зеркальным покрытием, нанесенным на прозрачное стекло, можно с успехом использовать в жарком климате или в окнах на южной стороне дома.

Если производитель не указывает в характеристиках стекла суммарной теплопередачи стекла в процентах, то указывает величину **коэффициента затенения — G**, который определяет способность стекла пропускать прямое солнечное излучение в диапазоне ближних инфракрасных волн — до 2,5 мкм. Данный коэффициент был введен в практику более 30 лет назад.

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

Коэффициент затенения определяется как отношение потока проходящего через данное стекло солнечного излучения в диапазоне волн от 300 нм до 2500 нм (2,5 мкм) к потоку солнечной энергии, прошедшей через стекло толщиной 3 мм, которое пропускает 87% солнечной энергии.

Например, для прозрачного стекла 4 мм стекла с $G = 0,99$ доля поступающей в помещение солнечной энергии равна:

$$P = 0,87 \times 0,99 = 0,861$$

Мощность солнечного излучения у верхнего края атмосферы достигает **1.350 Ватт** на один квадратный метр плоскости, перпендикулярной солнечным лучам.

Плотность потока солнечной энергии снижается до (700-900) Вт/м² у поверхности земли летом. На широте Киева в январе — марте средняя плотность энергии составляет $t(150-250)$ Вт/м². Это означает, что в течение светового дня — 8 часов зимой — через квадратный метр окна с одним стеклом толщиной 4 мм будет получено $250 \times 8 \times 1 \times 0,99 \times 0,87 = 1,72$ (кВт х часов) энергии, которая бесплатно подогревает помещение. Летом мощность солнечного излучения повысится в (3...4) раза, и то, что было во благо зимой, превратится в ад летом.

Теперь мы знаем, как выбрать стекло, которое будет защищать нас летом от **прямых** лучей солнца. **Чем меньше коэффициент затенения G у стекла, тем меньше солнечного тепла оно пропустит.**

Правда стоит заметить, если в окно не попадают прямые солнечные лучи, то не обязательно выбирать стекло с меньшим коэффициентом затенения. Другими словами, защититься от прямых лучей солнца можно с помощью тени деревьев или навеса над окном. В южных странах для этого широко применяют внешние ставни-жалюзи или углубляют окно в стену так, чтобы в жаркий полдень солнце не заглядывало в помещение.



Как спастись от жары, когда мощность солнечного излучения у поверхности земли достигает 900 Вт / м² и окно превращается в раскаленную сковороду?

Существуют две возможности:

первая — установить кондиционер, выбрав его мощность исходя из уже существующей тепловой изоляции окна;

вторая — улучшить тепловую изоляцию окна, установив солнцезащитные (энергосберегающие) стеклопакеты, а затем выбрать кондиционер, но уже меньшей мощности. Если вы еще только начинаете строить или производить реконструкцию помещения, поверьте, у вас есть возможность сократить будущие расходы.

Рассчитать экономию от установки энергосберегающих стеклопакетов и покупке более дешевых кондиционеров в своей квартире очень просто. Для этого надо умножить \$10 на площадь квартиры. Если площадь квартиры равна 100 м², то экономия составит 1000 долларов США.

КАК ВЫБРАТЬ СТЕКЛО

Таблица 5. Световые и тепловые характеристики стекла

Тип стекла	Толщина стекла	Светопроницаемость	Отражение света	Прохождение ультрафиолетового излучения	Прямая теплотеплопередача	Отражение тепла	Поглощение тепла	Суммарная теплотеплопередача	Коэффициент затенения	Тепловая проводимость
	(мм)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		Вт/м ² °C
Флоат, прозрачный	4	89	8	62	83	7	10	86	0,99	5,8
Флоат, зеленый	4	82	7	30	57	6	37	66	0,76	5,8
Флоат, бронзовый	4	60	6	24	58	6	36	68	0,78	5,8
Стопсол суперсильвер или Технолуч -«220»-	6	64	33	39	65	25	10	67	0,77	5,7

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

КАК ВЫБРАТЬ СТЕКЛО

Экономия по оплате за тепло и электричество определяется умножением площади квартиры на \$3 и для квартиры 100 м² это составит 300 долларов в год.

Эффект от установки солнцезащитных энергосберегающих стеклопакетов в офисных зданиях еще более значителен.

Для офиса общей площадью 1000 квадратных метров сокращение затрат только на покупку кондиционеров составит \$31 492, а экономия на оплате за электроэнергию составит — \$7 390 каждый год. Если ваш офис больше или меньше, то, умножив \$25,5 на площадь помещения вы определите экономию от покупки «дорогих» энергосберегающих стеклопакетов и более дешевых кондиционеров меньшей мощности. Дополнительная экономия на оплате за тепло и кондиционирование составит \$7,39 на каждый квадратный метр вашего офиса в год.

Анализ еще раз подтверждает известную истину — **экономить энергию выгоднее, чем ее вырабатывать**. Другими словами, деньги лучше один раз вложить в усиление тепловой изоляции окна и заставить окно экономить энергию, чем постоянно компенсировать ее потери. Хотя установка энергосберегающих стеклопакетов обойдется вам дороже, чем установка обычных стеклопакетов, но снижение нагрузки на кондиционеры позволит уменьшить их мощность, а значит и стоимость кондиционеров.

А может ли стекло защитить летом от жары, а зимой от холода?

Да, может.

Расчет тепла (P), поступающего или уходящего из помещения, производится следующим образом:

Величину прямого потока солнечного излучения (для лета принимают равной 630 Вт/м², для зимы — 95 Вт/м²) умножают на коэффициент затенения G и прибавляют результат от умножения тепловой проводимости $U = 1/R$ на разность температур снаружи (T_{нар.}) и внутри (T_{внутр.}) помещения, т. е.

$$P = (630 \times 0,87 \times G) + [1/R \times (T_{нар.} - T_{внутр.})], \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Второе слагаемое определяет количество тепла, поступающего в помещение летом за счет излучений в дальней инфракрасной области, т. е. от уже нагретого солнечным теплом воздуха, стен, земли и т. д. или уходящего из него — зимой.

Расчет для окна с обычным прозрачным стеклом показывает, что летом окно является источником тепла:

$$P = (630 \times 0,87 \times 0,99) + [5,8 \times (25 - 20)] = 600 \text{ (Вт/м}^2\text{)},$$

а зимой — источником холода:

$$P = (95 \times 0,87 \times 0,99) + [5,8 \times (-5 - 20)] = -63 \text{ (Вт/м}^2\text{)}$$

Стекло обладает уникальной особенностью — при длине электромагнитной волны выше 3 мкм, то есть в диапазоне излучения предметов, имеющих температуру, близкую к 20°C, оконное стекло непроницаемо для излучения. Это означает, что в диапазоне длин волн выше 3 мкм стекло полностью поглощает всю тепловую энергию, нагревается и уже затем начинает самостоятельно излучать тепло в обе стороны плоского листа. Направление этого, уже собственного излучения стекла, определяется тепловой ситуацией с каждой стороны листа. Стекло излучает равномерно во все стороны, когда температура воздуха с двух сторон листа одинакова. Если температура с одной из сторон листа будет меньше, то стекло будет излучать в сторону меньшей температуры.

При нанесении на одну из сторон стекла тонкого, почти незаметного для глаза, слоя серебра увеличивается отражение стекла в сторону большей температуры. В видимой части спектра, такое, теперь уже **энергосберегающее** стекло (или Low E стекло) будет вести себя, как и обычное стекло — пропускать видимый свет. В дальней инфракрасной области спектра, металлическое покрытие действует как зеркало, отражающее тепло. Поэтому, иногда Low E стекло называют **тепловыми зеркалами**.

В настоящее время эффективным и перспективным способом изготовления энергосберегающего стекла является магнетронное нанесение на стекло нескольких слоев металлических и оксидных покрытий. Такие покрытия иногда называют «селективными» из-за их способности задерживать определенную частоту электромагнитных излучений.

В чем заключается необходимость разработки «селективных» покрытий, и какие электромагнитные излучения должны пропускать или не пропускать энергосберегающие стекла?



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

В холодных климатических зонах, когда до 80% затрат уходит на обогрев помещения, необходимо применять покрытия, задерживающие уход тепла из помещения, но хорошо пропускающие в помещение солнечное тепло. В этом случае, солнечное тепло беспрепятственно попадает в помещение и дополнительно нагревает его, но уйти из помещения оно уже не сможет. Этим условиям удовлетворяет стекло с высоким сопротивлением теплопередаче и высоким значением коэффициента затенения.

В жарких климатических зонах, когда температура внутри помещения должна быть ниже температуры снаружи, энергосберегающее стекло не должно пропускать тепло прямого солнечного излучения и обеспечивать защиту от дальних инфракрасных излучений. То есть, стекло должно, также как и в холодном климате, иметь высокое значение сопротивления теплопередаче, но низкое значение коэффициента затенения.

В смешанных климатических зонах предпочтение отдают энергосберегающим стеклам, хорошо задерживающим длинноволновое инфракрасное излучение, но пропускающим меньшую долю прямого солнечного излучения.

Таким образом, в любой климатической зоне тепловой комфорт достигается использованием стекла, которое хорошо отражает длинноволновое инфракрасное излучение и имеет высокое сопротивление теплопередаче. Коэффициент затенения выбирается исходя из потребности в солнечном тепле.

Именно таким, иногда противоречивым требованиям, удовлетворяет энергосберегающее стекло, изготовленное только методом магнетронного напыления. Магнетронное напыление позволяет точно не только регулировать тепловые и световые свойства стекла, но и изменять его окраску.

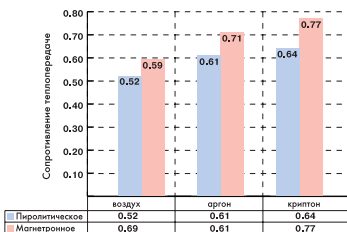


Рисунок 2. Сравнение пиролитического(твердое) и магнетронного(мягкое) напыления (4—16—4)



Какими свойствами обладают супертеплосберегающие стеклопакеты «Тепловое зеркало»?

Магнетронное напыление теплоотражающих слоев можно производить не только на стекло, но и на пленку. На рынке стран СНГ появились такие пленки, предлагаемые фирмой «Southwall Technologies». Фирма предлагает пленки с различными световыми и тепловыми характеристиками.

Например, пленка HM-88 обладает высоким коэффициентом светопрозрачности — 88%. Способность пленки отражать тепло соответствует теплоотражающему стеклу типа «K-Glass», производимому фирмой Pilkington.

Способность отражать тепло пленкой HM-77 соответствует стеклу с магнетронным напылением, но светопрозрачность ниже, чем у стекла — только 77%. Другими словами, «тепловое зеркало» имеет такие же свойства отражать тепло, как и Low E стекло, но требует более сложного оборудования для установки таких пленок в стеклопакет.

Применяя пленки, предложенные фирмой «Southwall Technologies», вы должны помнить, что пленка не стекло, и прозрачность окна зависит от натяжения пленки. И не

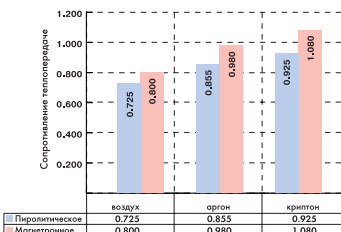


Рисунок 3. Сравнение пиролитического(твердое) и магнетронного(мягкое) напыления (4—12—4—12—4)

КАК ВЫБРАТЬ СТЕКЛО

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

верьте рекламным заявлениям фирмы «Southwall Technologies» о том, что этим пленкам «нет равных в мире», просто знайте, что в мире есть энергосберегающая пленка, которая гораздо легче стекла и если вам надо лететь в космос или ваше окно не выдерживает веса стекла, пленка — это лучшее решение.

Почему при одинаковом расстоянии между стеклами сопротивление теплопередаче стеклопакета может отличаться?

Причиной может быть только применения в стеклопакетах стекла, имеющего различную теплоотражающую способность. На графиках, представленных выше, наглядно демонстрируется разница в сопротивлении теплопередаче стеклопакета в зависимости от расстояния между стеклами, а также в зависимости от «степени черноты» стекла, которая характеризует способность стекла отражать инфракрасное излучение. Чем ниже «степень черноты» стекла, тем большее количество тепла отражает такое стекло, тем больше его сопротивление теплопередаче. Поэтому стекло с магнетронным покрытием (**I-стекло**), имеющее «степень черноты» $s = 0,04$, всегда лучше отражает тепло, чем стекло с пиролитическим покрытием (**K-стекло**), имеющее $s = 0,15$.

Но иногда, когда стеклопакеты покупают в Европе, причиной расхождения в значениях сопротивления теплопередаче может быть незнание методики оценки тепловых свойств у стеклопакета. В Германии эффективную тепловую проводимость (**Uэфф**) рассчитывают вычитанием от расчетной тепловой проводимости (**Uрасч**) произведения коэффициента затенения (**G**), умноженного на коэффициент притока тепла через окно — **S**.

$$U_{эфф} = U_{расч} - G \times S$$

Величина притока солнечного тепла зависит от расположения окна к сторонам света. **S = 0,95** — если окно расположено с северной стороны дома. **S = 1,65** — при расположении окна на восточной или западной стороне дома. **S = 2,4** — при расположении окна на южной стороне дома. Бережливые немцы учитывают, какое количество бесплатного тепла даст им солнце.

Для стеклопакета с **Uрасч = 1,8** и **G = 0,72** аккуратные немцы укажут эффективную тепловую проводимость:

$$U_{эфф} = 1,8 - 0,72 \times 0,95 = 1,1 \text{ (Вт/м}^2\text{°C)}$$

Наш, такой же аккуратный покупатель-продавец определит сопротивление теплопередаче стеклопакета по известной ему зависимости:

$$R = 1 : 1,1 = 0,91 \text{ (м}^2\text{°C/Вт)},$$

в то время, как реальное сопротивление теплопередаче, согласно методики расчета принятой на Украине, равно:

$$R = 1 : 1,8 = 0,55 \text{ (м}^2\text{°C/Вт)}.$$

Такие ошибки хорошо использовать в рекламных целях, продавая один товар по цене другого.

О чем необходимо помнить при выборе стекла для фасада?

Применение цветного или зеркального стекла для фасада предоставляет архитектору и дизайнеру широчайшие возможности для творчества.

При выборе стекла для фасада постарайтесь учитывать следующее:

1. Стекло часто выбирают по образцам формата A4 (формат обычного листа бумаги). Определить качество остекления по этому образцу весьма затруднительно. Образец такого размера ничего не говорит о том, как стекло будет выглядеть в действительности на фасаде здания. Минимум, что необходимо сделать, это взять образец, прикрепить его на стену и наблюдать его в различных погодных условиях. Цветное стекло, особенно зеркальное, по-разному выглядит в солнечную и дождливую погоду. Обратите внимание на то, что цвет стекла будет другим, если смотреть на него из помещения. Стекло, которое выглядит как зеркало снаружи, может изнутри казаться коричневым или серым.

2. После отбора образцов стекла необходимо, по мере возможности, посмотреть какое-либо здание, где применяется этот тип стекла.

3. Желательно изготовить модель единичного модуля остекления в натуральную величину. Это позволит увидеть цвет и отражение стекла в различных ситуациях и, несмотря на дополнительные расходы, избавиться от неприятных сюрпризов в будущем.

4. Вы знаете, что окружающие постройки отражаются в стеклянной поверхности фасада. Однако не следует считать, что отражение будет плоским, как в зеркале. Отражение всегда будет искаженным, и отраженные предметы не будут такими, как они есть на самом деле. Уменьшить искажение можно, используя в стеклопакете стекла разной толщины, например, внешнее 6 мм, а внутреннее — 4 мм, то есть более тонкое.

5. Обратите внимание на подбор стекла и цвета профилей.

6. Следует помнить, что зеркальное стекло в ночное время теряет свои отражающие свойства с внешней стороны фасада и приобретает их с внутренней стороны помещения. Зеркальные свойства такого стекла проявляются при разнице в освещенности с разных сторон стекла не менее чем в два-три раза.

Поэтому при выборе стекла старайтесь получить консультацию специалистов, которые помогут вам выбрать стекло исходя из его свойств и требований нормативных документов Украины по теплозащите, а также ваших финансовых возможностей. Но при этом помните, что при выборе стеклопакета всегда выгоднее приобрести энергосберегающий стеклопакет. Такой стеклопакет не только сохранит тепловой комфорт в вашем доме, но и защитит вашу мебель и портьеры от выгорания под солнцем.

КАК ПРИХОДИТ И УХОДИТ ТЕПЛО?

Из курса физики известно, что передача тепла происходит:

- посредством **излучения** — передача теплоты через электромагнитные волны;
- посредством **конвекции** — передача теплоты через движение газа;
- через **теплопроводность**, т.е. передача теплоты от одного тела к другому при их контакте или от одной, более нагретой части тела к другой, менее нагретой.

С **тепловыми излучениями** мы сталкиваемся летом, загорая под лучами солнца или зимой, у костра. Сидя у костра, мы чувствуем, что нагревается только та часть тела, которая обращена к огню. Это объясняется тем, что тепловое или световое излучение распространяются прямолинейно и, поставив преграду на его пути можно защититься от его воздействия.

Конвекция или движение воздуха в быту имеет другое название — сквозняк, ветер. Мы не говорим «конвекция», а говорим: «Закройте дверь, дует». Причина движения воздуха заложена в стремлении природы к равновесию. И если где-то тепло, а где-то холодно, то теплый и холодный воздух начнут двигаться навстречу друг к другу, так, что бы уравнять образовавшуюся разницу в температуре.

Так же часто человек сталкивается и с **теплопроводностью**. Мы точно знаем, что не надо дотрагиваться до раскаленной печки или утюга, и надеваем теплые вещи, когда выходим на мороз.

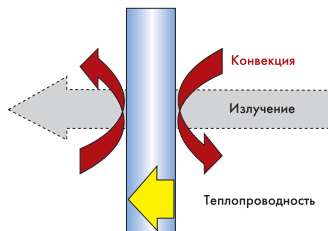


Рисунок 4. Способы теплопередачи

Ярким примером использования знаний механизма передачи тепла является **термос**.

Если вы попытаете надолго сохранить воду горячей в стеклянной колбе, то у вас ничего не выйдет. Замотав колбу в толстое полотенце или поставив её в ещё одну колбу, так, чтобы боковые поверхности не соприкасались, вы сохраните воду горячей гораздо дольше. Внешняя колба затрудняет доступ холодного воздуха к внутренней колбе и уменьшает передачу тепла за счет конвекции. Если поверхность внутренней колбы сделать зеркальной, то зеркало будет отражать тепло, уходящее из колбы посредством излучения, и такие две колбы образуют термос, в котором горячая вода сохраняется очень долго.



СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

КАК ПРИХОДИТ И УХОДИТ ТЕПЛО?

Какая может быть аналогия между термосом и окном?

Окно с одним стеклом будет лучше отдавать тепло комнаты, чем окно с двумя стеклами. Сделав внутреннее стекло, как в термосе, «зеркальным», мы получим **«окно — термос»**, которое не будет выпускать тепло из комнаты. Разница между термосом и окном состоит лишь в том, что окно, в отличие от термоса, должно оставаться прозрачным и пропускать свет, не пропуская при этом тепло.

Решая эту задачу, ученые и инженеры разработали покрытия — прозрачные и почти невидимые для человеческого глаза. Через стекло с таким «зеркалом» проходит в достаточном количестве свет, но не проходит тепло и такое стекло называют **«тепловым зеркалом»**, **селективным, низкоэмиссионным** (английское название — Low E) или **энергоберегающим стеклом**.

Если принять за 100% тепло, уходящее через окно с одним стеклом, то через окно с двумя стеклами тепла уйдет в два раза меньше. Окно с энергоберегающим стеклом пропускает через себя тепла в 3 – 9 раз меньше, чем окно с одним стеклом.

В окне с обычными стеклами передача тепла происходит следующим образом — **70%** тепла уходит посредством излучения и **30%** — путём конвекции и теплопроводности.

Численное выражение количества тепла, уходящего или приходящего через окно, характеризуется величиной **R**, называемой **«сопротивление теплопередаче»**, и измеряется в $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Величина $k = 1/R$, называемая коэффициентом теплопередачи, показывает, какое количество тепла проходит через один квадратный метр окна при разности температур между внутренней и внешней его поверхностью, равной одному градусу Цельсия.

Например, $R=0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$. Это означает, что при разнице температур с двух сторон стеклопакета равной одному градусу через один квадратный метр уходит 2 Вт тепла. Если разница температур достигает 10 °C , то че-

рез стеклопакет уходит 20 Вт. Если площадь окна равна 2 м^2 , то через него уходит 40 Вт.

Чем больше R, тем меньше тепла проходит через окно

Практика показывает, что установка энергоберегающего стеклопакета в окно сокращает затраты на отопление и кондиционирование (если, конечно, Вам это необходимо) в **три-пять** раз в сравнении с обычным остеклением.

Существует мнение, что, увеличивая расстояние между стеклами в раме можно достичь высокого сопротивления теплопередаче окна.

Действительно, увеличение ширины газового пространства между стеклами в окне или стеклопакете увеличивает величину **R** до определенной максимальной величины.

Затем сопротивление стабилизируется, приближаясь к предельному значению, и начинает понижаться по мере того, как увеличивается ширина газового пространства. Когда внутренняя полость стеклопакета заполняется газом с более низкой удельной теплопроводностью, например, аргоном или криптоном, то естественная конвекция уменьшается, увеличивая общую величину **R**. Причиной ограничения роста величины теплопроводности с увеличением размера газового пространства является естественная конвекция, вызванная в стеклопакете разностью температур между «теплым» и «холодным» стеклом.

Если бы естественная конвекция отсутствовала, то величина **R** стеклопакета продолжала бы увеличиваться по мере увеличения газового пространства.

Однако, в связи с тем, что газовое пространство увеличивается, повышается температура «теплого» стекла. Газ, граничащий с «теплым» стеклом, нагревается и поднимается вверх. Его место занимает более холодный газ. В результате происходит непрерывное круговое движение газа. Такое движение газа — естественная конвекция — способствует теплообмену между «теплым» и «холодным» стеклом.

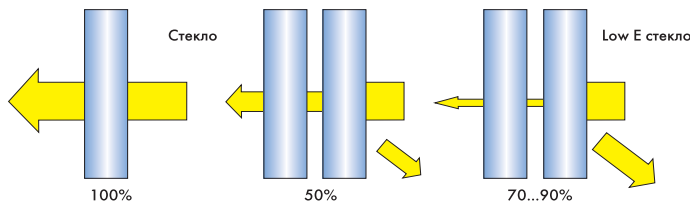


Рисунок 5. Преимущества окон с энергоберегающим стеклом

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕПЛОЗАЩИТЕ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Зимой в помещении обычно теплее, чем на улице. И чем теплее дом, тем уютнее мы себя чувствуем. Почему?

Температура тела человека выше температуры воздуха в помещении, поэтому мы постоянно теряем какое-то количество тепла в процессе теплообмена. Температура воздуха **18...20 °С, наиболее благоприятна для человека**. Если воздух нагревается выше **20 °С**, то организм человека охлаждается себя благодаря интенсивному испарению воды, выделяя пот. При более низкой температуре потери тепла человеком увеличиваются за счет излучения, и чем ниже температура, тем интенсивнее человек отдает внутреннее тепло.

В помещении теплообмен человека происходит, в первую очередь, благодаря более холодным предметам — стенам и окнам, и чем ниже их температура, тем быстрее теплоизлучение может привести к переохлаждению.

Для того, чтобы исключить переохлаждение, необходимо, чтобы температура на поверхности стены и окна не опускалась ниже оптимальной величины. Оптимальной считается температура, которая отличается от температуры воздуха внутри помещения не более чем на **6 °С**. При таком перепаде температур отсутствует «**эффект сквозняка**», обусловленный конвективными потоками. Это означает, что при температуре воздуха в помещении **20 °С**, оптимальной, т.е. «комфортной», будет температура стены или окна не **ниже 14 °С**.

Кроме требований к температуре поверхности стекла, нужно помнить, что в воздухе всегда содержится некоторое количество влаги. Она выделяется во время приготовления пищи и мытья посуды — около **2,5 кг** в сутки, при мытье полов — **0,15 кг/м²**, а также комнатными растениями и цветами — **0,83 кг** в сутки каждым растением. Во время сна у человека испаряется **45 г** влаги каждый час, а при физической нагрузке — **250 г/час**.

Влага в воздухе находится в виде пара, и её количество определяет влажность воздуха. Чем больше влаги находится в **1 м³** воздуха, тем больше его влажность. Однако воздух не может насыщаться влагой беспречно, а только до определенной степени.

Из таблицы 6 следует, что чем теплее воздух, тем больше в нем содержится влаги.

Но при охлаждении воздуха избыточная влага выпадает из него в виде мелких капель. Например, если воздух, имеющий температуру **16 °С** и содержащий **9,48 г/м³** влаги начать охлаждать, то при температуре **10 °С** он будет насыщен влагой максимально, т.е. его относительная влажность достигнет **100%**, и при дальнейшем понижении температуры из него начнет выпадать влага — конденсат.

Температура, при которой начинает образовываться конденсат, называется **точкой росы**. Если воздух охлаждать ниже температуры точки росы, то лишнее количество влаги конденсируется на различных предметах.

Обычно воздух внутри помещения содержит влаги меньше максимально возможного значения, т.е. его относительная влажность ниже **100%**.

При температуре **20 °С** и относительной влажности **55%** в воздухе содержится **9,48 г/м³** влаги. Если температура на поверхности стекла будет меньше **10 °С**, то относительная влажность воздуха вблизи поверхности стекла повысится до **100%** и на стекло начнет выпадать конденсат.

Количество оседающей на стекле влаги зависит от температуры стекла и относительной влажности воздуха.

При температуре воздуха **20 °С** и его относительной влажности **90%** осаджение влаги на поверхности стекла начинается уже при температуре её поверхности **18,3 °С**.

Наиболее благоприятной для человека является относительная влажность воздуха, равная 55%.

Если относительная влажность воздуха будет выше **55%**, то это затрудняет выделение пота, и мы начинаем испытывать дискомфорт. Слишком сухой воздух также нежелателен, он вызывает пересыхание слизистой оболочки горла и носа.

Все эти требования диктуются санитарно-гигиеническими нормами, которые определяют параметры воздушной среды — температуру и относительную влажность внутри помещения.

Но существуют и экономические требования к теплозащитным свойствам стены и окна, т.к. известно, что для повышения температуры в помещении зимой на **1 °С** требуется дополнительно **6%** тепловой энергии.

Таким образом, чем выше температура поверхности стекла, тем меньше потребуются дополнительного тепла, а значит и затрат.

При проектировании окна и определении площади остекления архитектуры (до появления энергоэффективного стекла) выбирали оптимальный вариант, при

Таблица 6. Влагосодержание воздуха

Температура воздуха, °С	-10	0	+10	+12	+16	+20	+30
Максимально возможное количество влаги в м³ воздуха, г/м³	2,14	4,84	9,48	10,7	13,6	17,23	30,3

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

котором обеспечивается достаточная естественная освещенность помещения, а тепловые потери не приводят к тепловому дискомфорту из-за переохлаждения части тела, обращенной к окну. Считалось, что соотношение между площадью остекленных поверхностей и площадью пола помещения должно быть не более 1 : 4,5 и не менее 1 : 8. Данные пропорции обусловлены тем, что сопротивление теплопередаче обычного окна в несколько раз меньше сопротивления теплопередаче глухой стены. Поэтому окна, если они большие, являются основным источником потерь тепла в помещении.

Какое же сопротивление теплопередаче окна достаточно для создания теплового комфорта?

Рассмотрим приведенную ниже диаграмму (рисунок 6). Анализ данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Оптимальное сопротивление теплопередаче окна, с точки зрения теплового комфорта — это $R = 0,9 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$. Окно с таким сопротивлением теплопередаче позволяет экономить **44%** тепловой энергии в сравнении с уже принятыми нормами [$R = 0,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$]. Для Киева, в денежном выражении, это составит около **200 миллионов долларов США** в год. С учетом того, что дополнительный подогрев помещения осуществляется электронагревателями, то экономия может достигать **250-300 миллионов долларов США** в год.

2. Если принять, что зимой температура воздуха снаружи не будет опускаться ниже пяти градусов мороза, то можно устанавливать окна с сопротивлением теплопередаче $R = 0,6 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (Минимальные нормативные требования к окнам в России и Белоруссии). В этом случае потери тепла сократятся на **17%**, что позволит, например, Киеву экономить **77-100 миллионов долларов США** в год.

3. Снижение тепловых потерь уменьшает выбросы в атмосферу углекислого газа, а это, в свою очередь, уменьшает «парниковый эффект».

«Парниковый эффект» — накопление углекислого газа в верхних слоях атмосферы — приводит к повышению средней температуры воздуха на земле. Даже незначительное увеличение средней температуры воздуха планеты приводит к таким нежелательным последствиям, как, например, осенние паводки в Карпатах.

Повышение средней температуры планеты на **2 °C** означает подъем уровня мирового океана на **0,5 м**. Как результат, произойдет активизация гидрологического цикла, что приведет к более частым засухам и наводнениям, а также к верхушечному засыханию деревьев и изменению их поглотительной способности. Изменение климата и деградация окружающей среды создадут идеальные условия для распространения инфекционных заболеваний, а некоторые формы болезнетворных микробов при повышении температуры Земли станут более опасными.

На следующем графике (рисунок 7) представлена температура точки росы в зависимости от сопротивления теплопередаче стеклопакета, когда температура снаружи опускается до минус **20 °C**.

Из представленного графика видно, что у окна с сопротивлением теплопередаче $R = 0,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ (уже при снижении температуры ниже минус **5 °C**) будет «плачущий вид». Т.е. при обычной влажности помещения — **55%** на стекле будет оседать влага, которая потом стекает на подоконник или на пол. При сопротивлении теплопередаче $R = 0,9 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ влага на стекле может появиться только при влажности помещения **68,4%**. При обычной влажности (**55%**) остается «сухим» и окно с $R = 0,6 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$.

Таким образом, существующие нормы сопротивления теплопередаче окна не удовлетворяют санитарно-гигиениче-

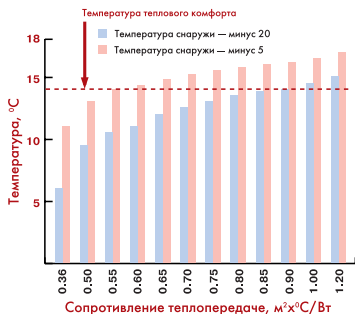


Рис. 6. Сопротивление теплопередаче, с точки зрения теплового комфорта

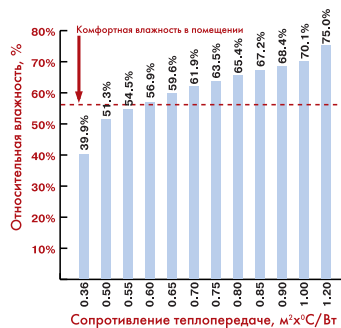


Рис. 7. Сопротивление теплопередаче с точки зрения комфортной влажности

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ским нормам, а при снижении температуры воздуха снаружи до минус 10 °C стеклопакет будет источником сырости в помещении.

Остается открытым вопрос — почему нормы к сопротивлению теплопередаче окна, принятые в Украине, такие низкие?

Пять лет назад это можно было объяснить отсутствием в Украине технологий изготовления энергосберегающих стеклопакетов. Сегодня, когда, в Украине есть предприятия, способные изготавливать стеклопакеты с сопротивлением теплопередаче до 1,5 м²·°C/Вт, производство окон с **R = {0,36...0,5} м²·°C/Вт** невыгодно экономически и не оправдано с точки зрения санитарно-гигиенических норм.

Что же может препятствовать изготовлению окон с высоким сопротивлением теплопередаче? Может быть цена?

Мировая практика строительства показывает, что стоимость одного квадратного метра жилья с применением энергосберегающих стеклопакетов увеличивается не более чем на 1%. В то время как потребление тепла сокращается более чем в два раза, т.е. на 50%.

Поэтому, на наш взгляд, сегодня существуют все условия для пересмотра норм к сопротивлению теплопередаче окна в сторону их увеличения.

Тем более, что существует явный дисбаланс между требованиями к сопротивлению теплопередаче стены **R = 2,5 м²·°C/Вт** и окна — **R = {от 0,39 до 0,5} м²·°C/Вт**. Напомним, что до последнего пересмотра норм требования к сопротивлению теплопередаче стены и окна отличались друг от друга не более чем в два — три раза. Сегодня эта разница значительно выше.

Из чего нам строить дом?

Когда мы строим дом, то основное внимание уделяем стенам. Может быть, нам так запомнилась сказка о трёх поросятах и их приключениях. А может быть мысль о том, что «мой дом — моя крепость», а крепость — это, прежде всего стены.

Но время меняется, а вместе с ним и представления о современном доме. Архитекторы и строители все больше внимания уделяют стеклу, как перспективному материалу,

из которого можно делать не только окна, но и стены. Из стекла уже смело строят зимние сады, павильоны, фасады.

Есть ли этому технические или экономические причины?

Сравните стоимость и технические показатели стены из кирпича и стеклопакета.

Анализ приведенных данных не радует.

Во-первых, вес. Максимальный вес квадратного метра двухкамерного стеклопакета из стекла толщиной 6 мм не превышает 36 кг.

Во-вторых, толщина и сопротивление теплопередаче. Если сравнивать сопротивления теплопередаче стены и стекла, то однокамерный стеклопакет с энергосберегающим стеклом весит 24 кг, его толщина не превышает 24 мм, а сопротивление теплопередаче на 15% больше, чем у кирпичной стены в полтора кирпича. Стеклопакет с двумя энергосберегающими стеклами толщиной 32 мм весит 30 кг, а сопротивление теплопередаче у него такое же, как и у стены в три кирпича. Если такой стеклопакет заполнить газом, то это не изменит его вес, но увеличит сопротивление теплопередаче до уровня кирпичной стены в четыре кирпича — 1,7 м²·°C/Вт.

Вывод напрашивается сам собой: из энергосберегающих стеклопакетов можно делать очень легкие и тонкие стены, которые будут такие же теплые, как и стены из кирпича.

У стеклянных стен есть ещё одна особенность — они прозрачны для солнечного тепла. Например, теплица из энергосберегающих стеклопакетов позволит на 90% снизить потребление газа, так как Low E стекло обладает удивительной способностью легко пропускать тепловую энергию солнца в помещение и не выпускать её обратно.

Очень удачным решением являются **вентилируемые фасады из стекла**, которые защищают стены здания от пагубного воздействия ветра, дождя и снега. Стеклянный фасад позволяет продлить жизнь стены, которую он защищает, более чем в три раза, и, в зависимости от «формулы стеклопакета», увеличивает общее сопротивление теплопередаче здания почти в два раза.

Таблица 7. Преимущества окон с энергосберегающим стеклом

Характеристики	Стена в 1,5 кирпича + штукатурка + покраска	Стена в 2 кирпича + штукатурка + покраска	Стена в 3 кирпича + + штукатурка + покраска
Стоимость материалов, USD	9 + 12 + 1	12 + 12 + 1	18 + 18 + 1
Стоимость монтажных работ, USD	6 + 5 + 2	12 + 5 + 2	15 + 5 + 2
Стоимость 1 м ² , USD	35	44	62
Толщина стены, мм	380	550	780
Сопротивление теплопередаче, м ² ·°C/Вт	0,61	0,79	1,2
Вес кирпичной стены, кг	780	1 040	1 560
Вес стеклопакета, кг	36	36	36

СОВРЕМЕННОЕ ОКНО — ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

Если вы хотите много солнца в квартире, тогда окно должно быть максимально большого размера. Но чем больше окно, тем холоднее в доме зимой и жарче летом. Поэтому площадь окон обычно в 6-8 раз меньше площади дома. Это позволяет обеспечить достаточную освещенность в помещении и сохранение тепла зимой.

Если вы установите "энергосберегающее стекло", то окно может быть любой величины. В «теплом окне» обязательно установлен стеклопакет с энергосберегающим стеклом, которое зимой не выпускает тепло наружу. Летом такое окно защищает дом от горячего воздуха, нагретого асфальта и стен, но не спасает от прямых солнечных лучей.

Как защитить себя от летней жары?

В этом случае поможет установленное в стеклопакет энергосберегающее стекло, отражающее прямое солнечное излучение. Самый простой и дешёвый тип такого стекла вам знаком — это цветное в своей массе стекло. Цветное стекло уменьшает проникновение солнечного тепла в дом на 10...15 % за счёт его поглощения внутри стекла. Но лучшая защита от солнца — это «зеркальные» стекла, которые не поглощают, а отражают солнечное тепло. «Зеркальное» стекло отражает до 80% солнечного тепла и украшает внешний вид дома.

В чём преимущества «евроокна»?

Деревянные, пластиковые, металлопластиковые или алюминиевые «евроокна» отличает от обычного остекления высокая герметичность конструкции. Другими словами, если в доме установлено «евроокно», то вы уже защищены от сквозняков. Способность окна сохранять тепло характеризует его сопротивление теплопередаче. В этом случае, «евроокно» и окна «хрущёвки» мало отличаются друг от друга, если в них установлены обычные стекла.

Как определить какими свойствами обладает ваше окно?

Если в окно будет установлен однокамерный стеклопакет с двумя обычными стеклами, то вы должны знать, что сопротивление теплопередаче (R_0) такого окна очень низкое — $0,32 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ и не соответствует современным строительным нормам. Для выполнения строительных требований в окно должен быть установлен или двухкамерный стеклопакет с тремя обычными стеклами, но его толщина должна быть не менее 30 мм, или однокамерный стеклопакет с энергосберегающим стеклом. Энергосберегающие свойства таких стекло-

пакетов одинаковы, отличаются они только весом. Двухкамерный стеклопакет тяжелее и нагрузка на фурнитуру окна у него выше и это может приводить к более быстрому изнашиванию окна.

Существует два типа энергосберегающего стекла:

- Low E стекло, отражающее тепло в дальней инфракрасной области излучения;
- Low E стекло, отражающее тепло в ближней инфракрасной области.

Другими словами, первый тип стекла отражает тепло излучаемое телами с температурой до 100°C — его можно назвать теплоотражающим, а второй — излучение от солнца, температура которого равна 6000°C — солнцезащитное стекло. Первый тип Low E стекла — это прозрачное стекло, не отличающееся по внешнему виду от обычного стекла. Второй тип Low E стекла имеет цвет и зеркальный оттенок.

Первое устанавливается в стеклопакет для сохранения тепла в доме зимой, а второе — для прохлады летом. Вы выбираете то, что вам более всего необходимо. Установите в стеклопакет теплоотражающее и солнцезащитное стекло, и вы сохраните зимой тепло, а летом — прохладу.

Какие преимущества у энергосберегающих стеклопакетов?

- Установив, энергосберегающие стеклопакеты, вы:
- создаете комфортные условия в помещении, а это хорошее настроение и долгая здоровая жизнь;
 - защищаете мебель, портьеры и обои от выгорания, сохраняя для себя их яркие краски;

Сократив потребление энергии на никому ненужный обогрев атмосферы, не сжигая нефтепродукты и уголь на тепловых станциях, не тратя энергию на охлаждение вы, дополнительно:

- уменьшили количество углекислого газа в атмосфере;
- очистили воду и землю от загрязняющих нефтяных пятен.

Всё это вместе взятое означает, что вы оставите после себя чистую и пригодную для жизни планету.

Можно ли использовать энергосберегающее стекло (Low E) вместо прозрачного одинарного оконного стекла?

Да, Low E может быть использовано как одинарное оконное стекло, если оно установлено покрытием внутри помещения или здания.

На всё же стекло Low E является более эффективным в закрытой среде, такой, которая создана в герметичном стеклопакете. Такое замкнутое пространство исключает движение воздуха по поверхности Low E, по-

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

звояля стеклу Low E в полном объеме выполнять свои функции.

Все ли стекла Low E похожи?

Нет, основными причинами различия всех имеющихся в наличии продуктов Low E являются различия производственных процессов, доступ к закрытым патентам, внедрение научных разработок, внутренний контроль качества и т. д.

Основное отличие заключается в степени черноты стекла, а именно, способности отражать тепло. Чем ниже степень черноты стекла, тем больше тепла оно отражает. Разные фирмы выпускают стекло с разной степенью черноты и, хотя цена на них может быть одинакова, но способность отражать тепло у них различна.

Кроме этого, стекло может иметь различные оттенки и светопропускание. Другими словами, стекла пропускают и отражают солнечный свет неодинаково.

Применяется ли стекло Low E только в северных климатических зонах?

Нет! Стекло Low E эффективно и в южных климатических зонах, где расход на отопление минимальный. Стекло Low E уменьшает количества тепла, проходящего через стекло. По существу они помогают задерживать тепловую энергию там, где это нужно.

Должен ли домовладелец каким-то образом ухаживать за стеклом Low E?

Нет! Покрытие обычно изолируется и находится внутри стеклопакета, поэтому специального ухода не требует.

Какое стекло подходит для солнечных регионов страны?

Соответствующий дизайн окон на юге рассчитан более на снижение поступления солнечной энергии внутрь помещения, чем на защиту от ухода тепла из помещения в зимнее время. «Наилучшими» продуктами являются зеркально отражающие стекла. Если они вам недоступны, то применяйте цветные стекла. Однако многие домовладельцы воздерживаются от использования подобных продуктов из-за высокой степени отражения или внешнего вида окон на фасаде дома. В жаркое летнее время стеклопакет с зеркально отражающим Low E стеклом имеет явное преимущество по сравнению с прозрачным стеклом без покрытия.

Выполняют ли свою функцию покрытия Low E вечером, когда не светит солнце?

Покрытия Low E выполняют свои функции 24 часа в сутки. Зимой они отражают тепло (длинноволновое инфракрасное излучение) внутрь помещения, и днем и ночью.

В чем разница между длинноволновым и коротковолновым инфракрасным излучением?

1. Коротковолновое инфракрасное излучение поступает непосредственно от солнца, при этом тепло не

чувствуется, но происходит его превращение в тепло, когда излучение контактирует с предметом.

2. Длинноволновое инфракрасное излучение образуется, например, как результат контакта солнечного коротковолнового излучения с любым телом, которое нагревается и начинает излучать уже длинноволновое инфракрасное излучение.

3. В этом можно убедиться, когда смотришь на мостовую или тротуар летом, где можно увидеть волны теплого воздуха, поднимающиеся от земли (солнечная энергия превращается в тепло).

Как покрытие Low E выполняет свою функцию летом и зимой?

1. Зимой стекло Low E сохраняет больше тепла внутри помещения, уменьшая выход тепла через стекло и, следовательно, уменьшает расходы на отопление.

2. Коротковолновая часть инфракрасного излучения может поступать в помещение и превращаться в тепло.

3. Летом, стекло Low E уменьшает количество поступающего тепла, при этом снижаются затраты на охлаждение.

4. Главное сводится к тому, откуда поступает большая часть тепла, летом — с улицы, зимой — изнутри помещения. Покрытие оставляет тепло там, где его больше.

Поступает ли длинноволновое инфракрасное излучение от солнца?

Источниками длинноволнового инфракрасного излучения являются печи, камины, а также человеческое тело и вместе с тем объекты, расположенные непосредственно под солнцем и нагретые солнцем — это тротуары, скалы и т.п.

Насколько покрытие Low E уменьшает ультрафиолетовое излучение?

В сравнении с обычным одинарным остеклением окна с покрытием Low E уменьшают ультрафиолетовое излучение на 75% и исключают выгорание пухля и драпировки на мебели. Здесь хочется напомнить, что биологически полезные ультрафиолетовые лучи не пропускают уже обычные стекла, а наша атмосфера настолько загрязнена, что полезные ультрафиолетовые лучи можно найти только высоко в горах или ранним утром на море, когда солнце встает из-за моря. Ультрафиолетовое излучение, достигающее поверхности земли, в большей своей части несет не пользу, а вред.

Как быстро реализуется выгода от окон с Low E?

Количество времени, которое требуется для того, чтобы возместить расходы на отопление и охлаждение от использования покрытия Low E на окнах разное, но уже через год вы возвращаете свои затраты.

Для жилого помещения годовая экономия на отоплении обычно составляет \$1 на каждый квадратный метр жилой площади, на кондиционирование — \$2.

СТЕКЛО: ТЕХНОЛУЧ. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

СОВРЕМЕННОЕ ОКНО — ВОПРОСЫ И ОТВЕТЫ

Годовая экономия для офисного помещения составляет на отопление — \$2,5 на каждый квадратный метр помещения, на кондиционирование — \$5.

Отличается ли окно с Low E от обычного окна?

Отмечается небольшая разница во внешнем виде, но её очень трудно заметить между окнами в разных частях дома. Правда, Low E стекла изготавливаются на основе стекла более высокого качества, чем те, что установлены в наших домах. Это различие в качестве стекла выделяет Low E стекло на фасаде дома.

Можно ли заметить разницу в количестве солнечного света, поступающего через окна с покрытием Low E?

1. Окна Low E созданы для выборочной фильтрации излучения, проникающего в дом, вместе с тем слегка уменьшая передачу видимого света.
2. Окно с прозрачным Low E пропускает до 75% солнечного света, как и обычное окно.
3. Солнцезащитное Low E пропускает от 20% до 60% солнечного света.

Воздействуют ли жалюзи, шторы, деревья и навесы (тенты) на выполняемую окнами функцию?

1. Они ограничивают количество поступающего солнечного тепла и света в помещение через окна, а это означает меньшее поступление солнечной энергии.
2. Они не воздействуют на функции, выполняемые Low E.

Насколько эффективным является зеркальное стекло с Low E?

Зеркальное стекло очень эффективно, когда используется в сочетании с теплоотражающим стеклом Low E. Эта комбинация уменьшит поступление чрезмерного количества тепла и затраты на охлаждение.

Как мне узнать, что в мое окно действительно вставлено стекло Low E?

Для проверки стеклопакета на наличие покрытия Low E используйте спичку или зажигалку.

1. Зажгите спичку или зажигалку перед стеклопакетом, например, однокамерным.
2. Появится отражение с четырьмя изображениями на стекле (иными словами, появится четыре огонька или четыре светлых кружка).
3. У стеклопакета с Low E одно из этих отражений будет другого цвета по сравнению с остальными отражениями.
4. По расположению изображения другого цвета можно определить расположение Low E покрытия.
5. Окно без Low E будет иметь четыре отражения одного цвета.

Сколько может держаться покрытие Low E?

Покрытие Low E изготовлено с расчетом, что оно может держаться гораздо дольше, чем изоляция в стеклопакете.

Можно ли выбрать тип энергосберегающего стекла самостоятельно?

Да, если определились какое окно вам нужно. Для «теплого» окна выбирайте теплоотражающее Low E стекло, для защиты от летнего перегрева — зеркальное, солнцезащитное Low E стекло, приятного для вас тона.

Какими должны быть окна на Украине?

Согласно СНиП II-3-79** на большей части территории Украины (кроме южного берега Крыма) допускалось применение окон и балконных дверей с сопротивлением теплопередаче не менее 0,39 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$) для жилых зданий и 0,31 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$) для общественных зданий. Согласно новым нормативам вся территория Украины разбита на четыре температурные зоны по количеству градусо-суток отопительного периода. Новые нормативные значения сопротивления теплопередаче для окон и балконных дверей (причем, как для нового строительства, так и для реконструкции и капремонта) составляют:

- 1-ая зона — 0,50 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$;
- 2-ая зона — 0,42 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$;
- 3-ая зона — 0,42 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$;
- 4-ая зона — 0,39 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$),

что выше старых нормативных значений в 1,3-1,5 раза.

Поскольку в настоящее время промышленность Украины выпускает в основном деревянные двухстворчатые окна, имеющие сопротивление теплопередаче в спаренном исполнении 0,39 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$) и в раздельном исполнении 0,42 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$), для всей первой температурной зоны Украины (северные, восточные и центральные районы) необходимо переходить на новые конструктивные решения, которые обеспечат сопротивление теплопередаче 0,50 ($\text{м}^2\text{х}^\circ\text{C}/\text{Вт}$).

Какими мероприятиями сегодня достигается выполнение указанных нормативов?

Первое — двухстворчатые окна заменяются трехстворчатыми.

Второе — двухстворчатые окна заменяются стеклопакетами с Low E стеклом.

Где можно приобрести энергосберегающие стеклопакеты?

На предприятии «ТЕХНОЛУЧ» вы всегда можете получить любую консультацию об энергетических свойствах различного типа остекления и выбрать то, что вам нужно для дома, офиса или зимнего сада.

ТЕХНОЛУЧ