«Пою в восторге похвалу не камням дорогим, не злату, но Стеклу...» В своей оде «Письмо о пользе стекла» М. В. Ломоносов не только восторгался поразительными качествами стекла, но и предсказывал ему блестящее будущее. Через два столетия реальные достижения стекольной индустрии превзошли самые смелые прогнозы гениального ученого.

СТРЕМЛЕНИЕ К СОВЕРШЕНСТВУ

РАЗВИТИЕ АРХИТЕКТУРНОГО СТЕКЛА. СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ. НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ СТЕКЛА

текст: Татьяна ГАГАРИНА

«Аврора Бизнес Парк». Москва. Проект ЗАО «Попов и архитекторы». Стекло StopSol SuperSilver Clear, Glaverbel (Бельгия)

Виталий Нефедов

[историческая справка]

■ История умалчивает точную дату рождения стекла. Самые древние на сегодняшний день стеклянные изделия, найденные при археологических раскопках в Египте, относятся к IV тысячелетию до н. э. Изобретение материала приписывается счастливому стечению обстоятельств, приведших к спеканию в огне кварцевого песка. Однако история стекольного производства заставляет усомниться в неоспоримости роли случая. В своем развитии отрасль с завидным постоянством выполняла общественные и научно-технические заказы. За тысячелетия стекло прошло тернистый путь от атрибута высшего света (украшения, зеркала, вазы, оконные пластины) до достояния широких масс, важнейшего материала в различных сферах человеческой деятельности.

Офисное здание Tooley Street, Plot 6. Лондон. Проект: Foster & Partners. Стекло Stopray cancelled Quartz 33/22, Glaverbel (Бельгия)

©Glaverbel

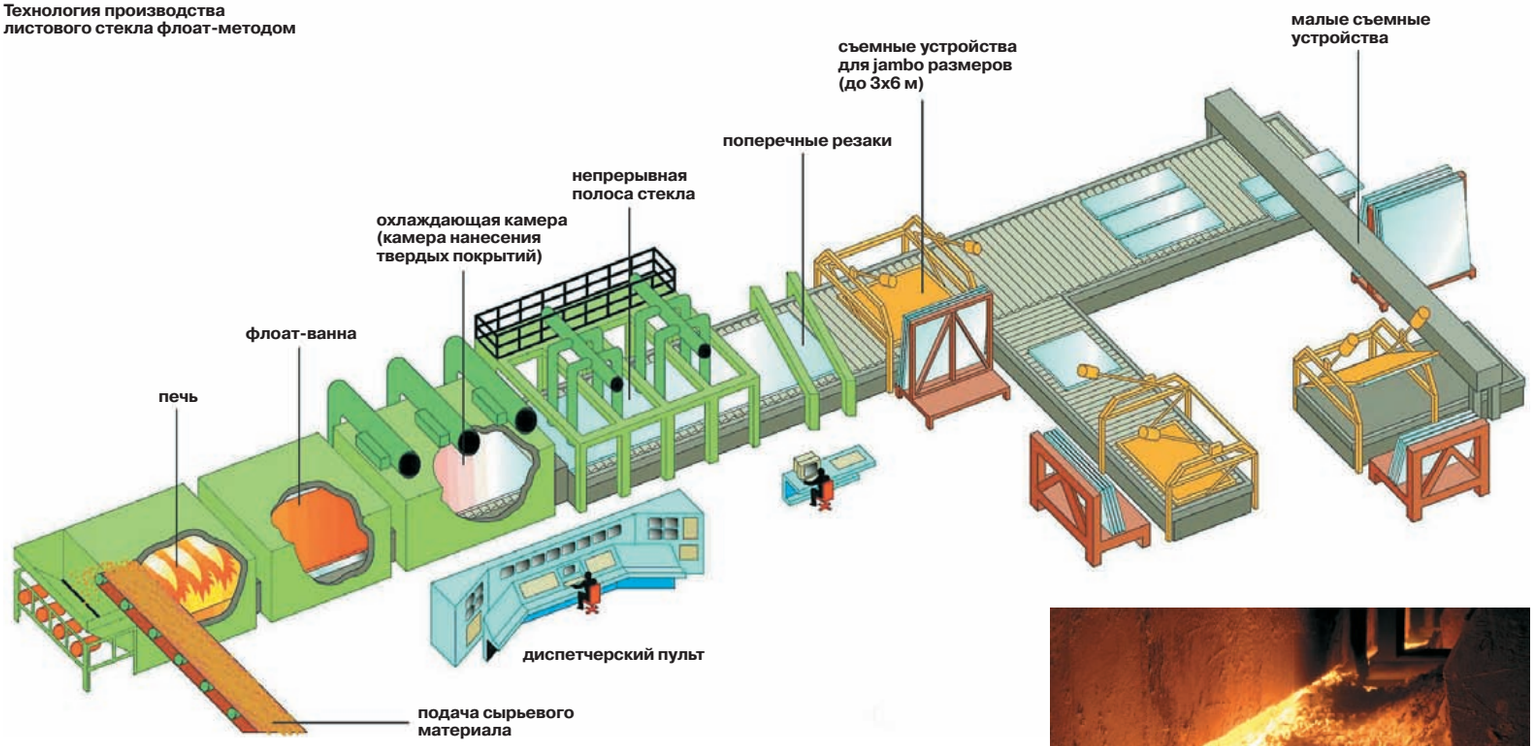
СТЕКЛЯННЫЙ, ОЛОВЯННЫЙ

Сырьем для производства обычного стекла служит главным образом оксид кремния (71–73%), или, иначе говоря, обычный песок. В качестве флюссирующих (понижающих температуру плавления) материалов используется двуокись натрия, то есть сода (13–16%), и оксид калия (5–10%). Карбонат кальция придает веществу твердость (если не включить этот компонент, то получится жидкое силикатное стекло). Оксиды магния и алюминия выполняют стабилизирующую функцию, повышая прочность стекла. Другие добавки обеспечивают материалу специфические технологические, эксплуатационные, физико-механические и декоративные свойства.

В древности стеклянные изделия изготавливались методом отливки (литья) или прессования. На рубеже новой эры (между 27 г. до н. э. и 14 г. н. э.) была изобретена технология выдувания стекла, которая продержалась без малого 2000 лет. С помощью особой трубки мастер-стеклодув выдувал болванку, которая затем подвергалась дальнейшей обработке. Оконное стекло производилось так называемым холявным методом. Сначала выдувалась «холява» – колба цилиндрической формы длиной до 3 м, диаметром до 100 см и весом до 6 пудов (96 кг). Затем у полуфабриката обрезали концы, полый цилиндр разрезали и раскатывали в лист. Начавшаяся в XIX веке научно-техническая революция и последовавшие за ней всеобщая индустриализация, небывалые ранее масштабы строительства, бурное развитие новых отраслей промышленности (автомобильной, авиационной и др.) требовали колоссальных объемов высококачественного стекла. Очевидно, что производство, основанное на полукустарном выдувании, не могло справиться с подобной задачей.

В 1902 году в Бельгии был предложен метод непрерывного вертикального вытягивания листового стекла. Из ванны с расплавленной

Технология производства листового стекла флоат-методом



[комментарий специалиста]

Александр Скворцов, специалист группы спецпроектов и ключевых клиентов компании Glaverbel Russia

■ Одно из перспективных направлений развития стекольной индустрии – создание многофункциональных стекол. Например, концерн Glaverbel многие годы выпускает продукт Sunergy с «твердым» напылением, сочетающий в себе солярный контроль с повышенными энергосберегающими характеристиками. К тому же этот продукт отличается низким отражением и нейтральностью, что отвечает требованиям современной архитектуры. Однако для достижения высоких показателей по энергосбережению специалисты группы Glaverbel рекомендуют применение стекла Sunergy в составе однокамерных стеклопакетов вместе с внутренним низкоэмиссионным стеклом марки Planibel Top N, обладающим «мягким» магнетронным напылением. При такой композиции стеклопакета плюс дистанционная рамка шириной не менее 15 мм приведенное сопротивление теплопередаче (Ro) оконного остекления достигает 0,62 кв. м С/Вт, а при заполнении стеклопакета аргоном – 0,68 кв. м С/Вт.

Вместе с тем мы предлагаем многофункциональные высокоселективные стекла марки Stopray с «мягким» магнетронным покрытием. Пропуская большую часть видимого солнечного спектра, они отсекают длинноволновое тепловое излучение. Таким образом, исключается перегрев помещений и, как следствие, сокращаются расходы на вентиляцию и кондиционирование. В то же время Stopray – полноценный энергосберегающий продукт. Стеклопакеты с такими стеклами имеют высокие теплотехнические показатели, в частности сопротивление теплопередачи 0,62 кв. м С/Вт. Добавлю, что линия Stopray включает целый ряд стекол различных оттенков. Кроме того, такие стекла входят в состав многослойных комплексов (триплекса и других), обеспечивающих высокий уровень безопасности светопрозрачных конструкций.

©Glaverbel

Подача шихты в печь

©Glaverbel

Компьютерный контроль технологического процесса

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ПАКЕТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ СТЕКОЛ

Тип остекления	Ориентация	Потери энергии Вт/ч/кв. м	Потери за отопительный сезон, кВт/кв. м	Срок окупаемости	Минимальный срок службы стеклопакета	Экономический эффект применения, руб./кв. м (при средней стоимости электроэнергии 1,9 руб. за 1 кВт/ч)
Стандартное	юг	3,37	170		20	
Стандартное	север	5,79	290		20	
Стандартное	запад/восток	4,87	245		20	
Стеклопакет 4М-4К	юг	1,11	5,6	4	20	310
Стеклопакет 4М-4К	север	3,22	16,2	4,1	20	550
Стеклопакет 4М-4К	запад/восток	2,26	11,4	4	20	465
Стеклопакет 4М-4И	юг	0,76	3,8	5,5	20	330
Стеклопакет 4М-4И	север	2,76	13,9	4,1	20	560
Стеклопакет 4М-4И	запад/восток	2,12	10,7	4,6	20	470

По материалам независимых исследований

Технологическая линия по производству стекла флоат-методом. Завод Glaverbel-Klin (Россия)

массой стекло протягивают в «щель» между прокатных вальцов. При этом за счет высокой вязкости вещества и сил поверхностного натяжения образуется лента, которая, застывая, становится листовым стеклом. Метод вертикального вытягивания очень скоро получил широкое распространение и применяется до наших дней (правда, в весьма скромных объемах). Между тем поиски более совершенной технологии начались уже в двадцатых годах прошлого столетия. Вертикальное вытягивание не устраивало стекольщиков по трем основным причинам. Во-первых, качество «вытянутого» стекла напрямую зависит от состояния вальцов, другими словами, дефекты оборудования отражаются на конечном продукте. Во-вторых, для получения заданных оптических характеристик материал нуждается в дорогостоящей полировке, оказывающейся зачастую недостаточно эффективной. В-третьих, производительность оборудования вертикального вытягивания весьма ограниченна, что не позволяет увеличивать производственные мощности и, как следствие, снижать себестоимость продукции.

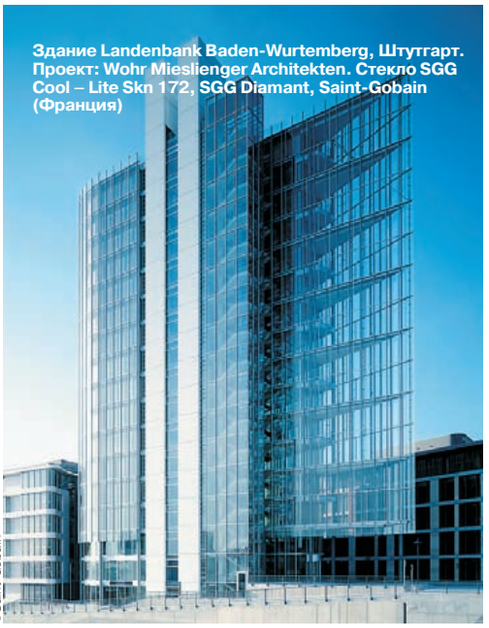
Чтобы получить идеально ровное стеклянное полотно, нужно было вытянуть ленту на поверхность жидкости. Забавно, что решение этой задачи оказалось мистическим образом зашифровано в русском грамматическом правиле, объединившем в одном исключении три слова с нестандартными суффиксами: стеклянный, оловянный, деревянный. С деревом разобрались еще средневековые мастера, которые заменили соду поташем (древесной золой), покончив тем самым с импортом соды из стран Востока и улучшив некоторые свойства стеклянных изделий (цвет, тугоплавкость).

Олово заявило о себе в новой прогрессивной технологии производства стекла. В 1959 году специалистам компании Pilkington Brothers Ltd. (Великобритания) удалось создать ванну, наполненную расплавом этого металла. Емкость с оловянной «жидкостью» была окружена специальной атмосферой, поскольку расплавленное олово быстро окислялось на воздухе. Сооружение получилось громоздким и весьма опасным. Однако цель была достигнута. Лента формировалась на поверхности оптимальной жидкости, что позволило производить высококачественное стекло со светопропусканием более 90%. В патенте инновационная продукция получила название «флоат» («плавающего») стекла. Справедливости ради отметим, что второй независимый патент на производство стекла с применением расплава олова получили советские стекольщики. Причем англичане безоговорочно признали патентную чистоту нашего метода.

Сегодня основные объемы листового стекла производятся по «флоат»-технологии. Мощные установки способны выдавать 1000–1200 тонн продукции в сутки (для сравнения: печи вертикального вытягивания – не более 400 тонн). Себестоимость «плавающей» продукции существенно ниже, чем у материала, полученного вертикальным вытягиванием.

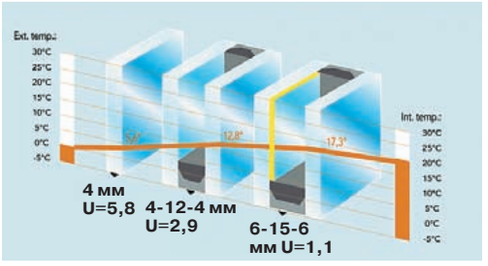
Здание Neven Dumont, Кёльн. Проект: HPP (Hentrich Petschnigg und Partner). Стекло SGG Securipoint, Saint-Gobain (Франция)

©Saint-Gobain



Здание Landenbank Baden-Wurtemberg, Штутгарт. Проект: Wohr Mieslienger Architekten. Стекло SGG Cool – Lite Skn 172, SGG Diamant, Saint-Gobain (Франция)

©Saint-Gobain



©Glaverbel

Изменение коэффициента теплопередачи

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОКАМЕРНЫХ СТЕКЛОПАКЕТОВ

Вид стекла	Производитель	Формула стеклопакета	Марка энергосберегающего стекла	Световые характеристики		Энергетические характеристики				
				Пропускание, %	Отражение, %	Поглощение, %	Отражение тепла, %	Общее пропускание, %	Коэффициент теплопередачи, U (Вт/кв. м К)	
									воздух	аргон
Тонированное и float-стекло	Pilkington	6-16-6	Arctic Blue™ (внутреннее стекло Optifloat™)	48	8	63	6	40	2,7	2,6
Тонированное и низкоэмиссионное (low-E)	Pilkington	6-16-6	Arctic Blue™ (внутреннее стекло Optiterm SN)	47	7	67	7	67	1,4	1,2
Тонированное и низкоэмиссионное (K)	Pilkington	6-16-6	Arctic Blue™ (внутреннее стекло K-class)	44	7	66	9	36	1,7	1,5
Солнцезащитное и float-стекло	Glaverbel	6-15-6	Stopsol Classic Clear	33	35	34	39	27	1,4	1,1
Солнцезащитное и float-стекло	Guardian	6-16-4	Sun-Gard Solar Extra Clear	59	19	39	21	40	1,4	1,2
Низкоэмиссионное float-стекло	Glaverbel	6-15-6	Planibel Top N low-E	33	35	34	39	27	1,4	1,1
Низкоэмиссионное float-стекло	Guardian		Guardian low-E 1,4D	72	12	32	29	40	1,4	1,1
Многофункциональное (K) и float-стекло	Glaverbel	6-15-16	Sunergy Clear	61	16	43	12	45	2	1,8
Многофункциональное (E-low) и float-стекло		6-12-6	Stopray	61	18	46	20	34	1,4	1,2
Солнцеотражающее и низкоэмиссионное	Saint-Gobain	6-16-6	Antelio и Planitherm Futur N	59	33	14	34	39	1,6	1,1
Рефлективное и float-стекло	Saint-Gobain	6-15-6	Cool-Lite ST	44	19	46	20	28	1,4	1,1
Рефлективное и низкоэмиссионное	Saint-Gobain	6-15-6	Reflectasol и Planitherm Futur N	28	46	27	42	23	1,7	1,1
Многофункциональное и float-стекло	Saint-Gobain	4-16-4	Planistar	71	12	27	32	39	1,4	1,1
Низкоэмиссионное и солнцеотражающее	Guardian	6-16-4	Sun-Guard High Performance Clear и ClimaGuard N	59	14	41	19	40	1,4	1,1

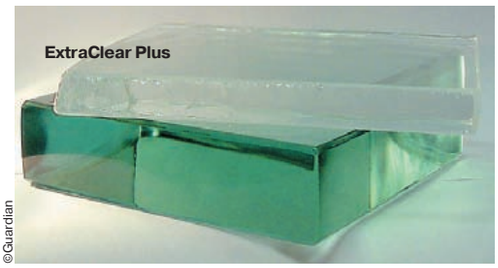
По материалам компаний Pilkington, Glaverbel, Saint-Gobain, Guardian

Фрагмент интерьера. Здание Post Tower. Бонн. Проект: Murphy/ Jahn, Werner Sobek Ingeneure. Стекло Optiwhite, Pilkington Glass (Великобритания)

Andreas Keller

[информационная справка]

■ Закон Планка гласит, что всякая материя испускает излучение. Для температурного диапазона 20–100°С область длины волны излучения, испускаемого эталонным (так называемым черным) телом, варьируется в пределах 5–50 мкм. Солнечный спектр занимает участок от 0,15 до 2,5 мкм, при этом его видимая часть находится в границах 0,38–0,78 мкм. Другими словами, чтобы одновременно наслаждаться прохладой и дневным светом, необходимо отсечь диапазон 0,78–2,5 мкм.
Таким образом, солнечное тепло не «пересекается» с бытовым (участок излучения от 5 до 50 мкм). Вот почему для отражения тепловой энергии изнутри и снаружи используются разные по своему химическому составу металлизированные покрытия. Правда, создание «чистых» фильтров (то есть покрытий, отсекающих строго определенный участок спектра) – дело дорогостоящее и технологически весьма сложное. Как правило, специализированные напыления частично перекрывают соседние участки спектра. Таким образом, солнцезащитные стекла имеют небольшой низкоэмиссионный эффект, и наоборот, теплосберегающие изделия способны слегка отражать солнечное излучение.



©Guardian

Обычное и просветленное стекло , Guardian (США)

«Флоат»-стекло – Optifloat™ (Pilkington), Planibel Clear (Glaverbel) – используется не только в архитектурных целях, но и служит в качестве основы для производства стеклоизделий со специальными свойствами: солнцезащитных, энергосберегающих, ударопрочных, самоочищающихся, пожаробезопасных, с регулируемой прозрачностью.

ПРОЗРАЧНАЯ «СТЕНА»

Как известно, окна представляют собой своеобразные бреши в тепловом контуре здания. И дело не только в низком сопротивлении теплопередачи стеклянного заполнения оконных проемов. В ходе научных исследований доказано, что основной объем теплопотерь происходит за счет радиационной (излучательной) составляющей тепловой энергии, направленной во внешнюю среду. Следовательно, чтобы сократить утечку тепла, необходимо обеспечить отражение инфракрасного излучения внутрь здания.
В 1960-х годах проводились активные экспериментальные работы в области металлизации поверхности стекла. Энергетический кризис 1970-х подстегнул этот процесс. В результате было налажено промышленное производство низкоэмиссионного теплосберегающего стекла с «твердым» К-покрытием. Позднее появились стеклоизделия с «мягким» И(I)-напылением.
К-стекло производится пиролитическим методом. Лента на выходе из печи плавления атакуется молекулами оксидов металлов. В результате на стекле образуется металлизированная пленка. Поскольку процесс происходит непосредственно на линии, «твердые» покрытия еще называют on-line-напылением.
К-стекла хорошо противостоят механическому воздействию, не подвержены окислению при контакте с окружающей средой (можно использовать при одинарном остеклении), отлично переносят высокие температуры, что позволяет упрочнять такую продукцию методом термического закаливания. Однако энергосберегающие характеристики стекол с «твердым» напылением, увы, «не дотягивают» до современных теплотехнических требований.
В наши дни все большую популярность приобретает инновационное стекло с И-покрытием. Низкоэмиссионную пленку наносят методом магнетронного напыления в режиме off-line. Готовые листы помещают в специальное оборудование – магнетрон, где в условиях глубокого вакуума на стеклянную поверхность напыляют несколько слоев редкоземельных металлов. «Мягкое» покрытие весьма чувствительно к различным воздействиям. Стекло с таким напылением можно использовать только в составе стеклопакета, причем обработанная сторона должна быть обращена внутрь изделия. «Ранимый» характер «мягкого» напыления не препятствует участию стекол с таким покрытием в безопасных многослойных комплексах (триплексах и т.д.). Кстати, в последние годы появилась закаленная продукция с И-покрытием. Закалка стекол осуществляется в высокотехнологичных печах, имеющих специальные опции.
Вместе с тем энергосберегающие способности И-стекол выше всех похвал. Достаточно сказать, что сопротивление теплопередачи однокамерных стеклопакетов, укомплектованных листами с «мягким» напылением, составляет 0,62 кв. м С/Вт (при заполнении межстекольного пространства инертными газами – 0,68–0,7 кв. м С/Вт). Для сравнения: согласно московским территориальным нормам, данный показатель (для окон и балконных дверей) должен быть не менее 0,55 кв. м С/Вт. Таким образом, применение низкоэмиссионных стекол позволяет сократить потери тепла за счет излучения в пять раз, а общие теплопотери – в два-три раза.
Справедливости ради отметим, что задача эффективного теплосбережения не решается только за счет термических достоинств стеклянного заполнения. Улучшить теплотехнику окна или другого светопрозрачного элемента позволяют прогрессивные технологии и современные материалы, обеспечивающие конструкции такие качества, как герметичность и геометрическая стабильность, а также продолжительный срок безремонтной службы. В наши дни при необходимости создаются оконные системы, сопротивление теплопередачи которых превышает 2,0 кв. м С/Вт, то есть по теплотехническим характеристикам близкие к стеновой ограждающей конструкции (для московского региона приведенное сопротивление теплопередачи наружной стены должно быть не менее 3,0–3,2 кв. м С/Вт).

ПОГЛОЩАТЬ ИЛИ ОТРАЖАТЬ

Решение задачи теплосбережения обострило другую проблему – перегрев внутреннего пространства зданий в солнечную погоду. Внешнее тепло, проникнув в здание, не может вернуться обратно: путь ему преграждает низкоэмиссион-

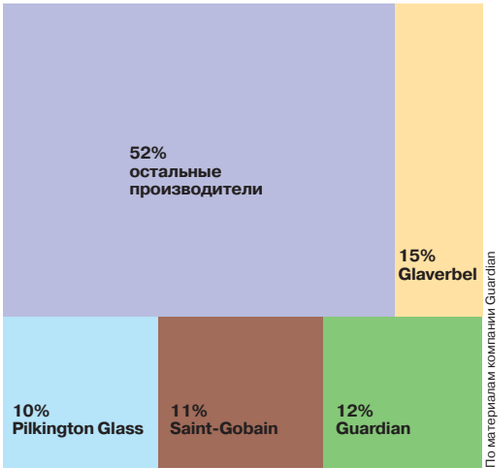
Здание College Saint-Servais. Льеж.
Проект: Bureau Arteau.
Стекло Stratobel-Design-Color, Glaverbel (Бельгия)

©Glaverbel

[комментарий специалиста]

Андрей Стольный, глава российского представительства компании Guardian Glass S. A.

■ Идея мультифункциональных стекол заключается в том, чтобы в одном продукте объединить две характеристики: теплоизоляционную и солнцезащитную. Магнетронная технология дает такую возможность. Наша компания в 1996 году разработала технологию Silacoat®, позволяющую последовательно наносить различные слои на белое прозрачное стекло. Таким образом удается решить одновременно несколько задач и создать действительно многофункциональные стекла. Линейка продуктов Sun-Guard® Solar и High Performance включает 14 видов Solar и 10 видов HP стекол в серых, серо-голубых, синих и зеленых тонах толщиной 3–15 мм. Суть технологии заключается в чередовании функциональных и защитных слоев. Верхний и нижний слои из оксидов и нитридов влияют на зеркальность, светопропускание и цвет. Основной функциональный слой из различных металлов (серебро, хром) обеспечивает отражение коротковолнового и длинноволнового теплового излучения. Для защиты функциональных слоев от механических и химических повреждений, а также отражения и поглощения коротковолнового теплового излучения между этими слоями делается защитное напыление. Защитный слой из нитрида кремния позволяет подвергать многофункциональные стекла Guardian закаливанию по стандартной технологии: с нагревом до 600°С и быстрым охлаждением. До последнего времени эта возможность была прерогативой компании Guardian. Наше стекло с магнетронным напылением обеспечивает более высокое светопропускание (до 67%) и гораздо более низкое пропускание тепла от солнца (солнечный фактор менее 41%). За таким стеклом комфортнее находиться, потому что оно более прозрачное, более светлое, но при этом защищает помещение от перегрева летом. И самое главное – покрытия нанесены на полупросветленное стекло. Что гарантирует естественность освещения.



По материалам компании Guardian

Объемы производства стекла на мировом рынке

ное покрытие. Это приводит к возникновению парникового эффекта и повышению температуры в помещениях до 60–80°С.

Ослабить воздействие солнца можно посредством поглощения или отражения.

В первом случае применяются специальные виды окрашенных в массе стекол: Arctic Blue™ (Pilkington), Planibel Coloured (Glaverbel), Parsol (Saint-Gobain Glass). Тонирование достигается за счет добавления в расплав оксидов металлов. При этом конечный продукт приобретает не только цвет (насыщенный голубой, серый, зеленый, бронзовый, розовый), но и особые энергетические и оптические качества. Окрашенное в массе остекление частично поглощает радиационное тепло, снижая тем самым интенсивность воздействия солнечного излучения. В зависимости от толщины листа и цвета тонированное стекло поглощает от 23 до 51% тепловой энергии. На теплопоглощающем стекле почти не образуется бликов, что благотворно сказывается на визуальной экологии городской среды. Тонированная продукция (Arctic Blue™) также характеризуется низким уровнем пропускания ультрафиолетового излучения.

Добавим, что эффект поглощения тепла используется в солнечных коллекторах, изготовленных на базе специальных стекол. Такие изделия являются продуктом нанотехнологий. На поверхность стекла наносится тончайшая пленка кремниевых наночастиц, которая в сочетании с кремниевой основой (т.е. со стеклом) образует нанокремниевый фотоэлектрический элемент. Благодаря последнему поглощаемое солнечное излучение преобразуется в электричество.

Тонированное остекление далеко не всегда устраивает архитекторов и дизайнеров. В современной архитектуре сильны тенденции, ориентированные на стирание границ между внутренним пространством и окружающей средой. Для достижения визуальной интеграции интерьеров и внешнего мира используются нейтраль-

Детский сад. Манлью (Manlleu). Испания. Проект: RCR arquitectes. Стекло Stratobel-Design-Rainbow, Glaverbel (Бельгия)

©Glaverbel

ные стекла со светоотражающим напылением либо абсолютно бесцветные стекла, обладающие повышенным коэффициентом светопропускания: Pilkington Optiwhite™, Eurowhite (Euroglas, Германия) – с пониженным содержанием оксида железа, который придает нейтральному стеклу легкий зеленоватый оттенок.

Следует упомянуть и о рефлективных стеклах: Reflectasol, Cool-Lite (Saint-Gobain) и других. На их поверхность нанесен особый зеркальный слой, не только превосходно отражающий солнечное излучение, но и обладающий впечатляющим визуальным эффектом. При этом обеспечивается одностороннее наблюдение, т.е. изнутри нет ограничения видимости, а снаружи стекло практически непроницаемо для взгляда прохожих. Такое стекло ограждает внутреннюю жизнь здания от постороннего глаза в условиях тесной городской застройки.

Все большую актуальность приобретают антибликовые стекла, т.е. продукция, полностью лишенная отражающего эффекта. До недавнего времени такие изделия были востребованы лишь в музейном деле, в художественных салонах и галереях. Однако в наши дни остро встал вопрос визуальной экологии городской среды, а также обеспечения транспортной безопасности. Выяснилось, что зеркальные фасады оказывают негативное влияние на физиологию человека. Кроме того, отражение света фар может ослепить водителя, особенно если мощный световой поток возникает внезапно, из-за угла. Чтобы исключить возникновение аварий, Государственная инспекция по обеспечению безопасности дорожного движения предписывает использовать для остекления первых этажей стекла с низким уровнем отражения (не более 8%).

БЕЗ УГРОЗЫ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Стекло считается едва ли не эталоном хрупкости. При разрушении стеклянного полотна

Башня Torre Gas Naturel. Барселона. Стекло StopSol Classic Clear и StopSol SuperSilver Grey, Glaverbel (Бельгия)

©Glaverbel

[комментарий специалиста]

Вячеслав Коломиец, генеральный директор компании TGE

■ Философская идея изменения характеристик остекления в зависимости от состояния окружающей среды стара, как стекольный мир. В наши дни выпускается множество специальных стекол: тонированные, солнцеотражающие, низкоэмиссионные и так далее. Однако все они обладают заданными при производстве абсолютно статичными свойствами. Между тем условия внутри и снаружи здания постоянно меняются. Скажем, естественное освещение зависит от времени суток, сезона, погоды. Обитателям застекольного пространства подчас требуется приватная и комфортная атмосфера.

Наша компания предлагает электрохромные стекла, прозрачность которых можно регулировать одним нажатием кнопки переносного пульта. Под воздействием электрического тока (напряжение 2 В) активная полимерная прослойка триплекса приобретает насыщенную окраску. При отключении электричества полимерная композиция возвращается в исходное прозрачное состояние. Наша технология позволяет производить электрохромное стекло различного цвета (синее, бронзовое, серое).

Продукт официально признан в России и в мире (имеет российский и международный патенты). Технология полностью подготовлена для внедрения в промышленное производство. На нашем опытном предприятии пока выпускается несколько сотен квадратных метров стекла в месяц (различных оттенков синего цвета). Вопрос дальнейшего наращивания объемов находится на стадии проработки.

©TGE

Электрохромное стекло TGE в неактивном состоянии

образуются крупные и очень опасные осколки. Высокой хрупкостью стекло обязано своему самому твердому компоненту – оксиду кремния, который не способен воспринимать пластическую деформацию изгиба. Попытки повысить ударную прочность стеклянных изделий предпринимались с древности. Так, методом проб и ошибок было обнаружено, что некоторого упрочнения стекла можно достичь благодаря введению в состав шихты специальных компонентов, в частности оксида магния.

В начале прошлого века стекольщики взяли на вооружение металлургический опыт. Был разработан метод термического предварительного напряжения (аналог закалки металла), который используется и в наши дни. Для повышения прочностных характеристик стекло помещают в печь, нагревают до температуры около 600°С и затем быстро охлаждают. В результате внутренние растянутые слои стеклянного полотна оказываются заключенными в сжатой наружной оболочке. Позднее выяснилось, что такого же эффекта можно достичь и химическим способом. Верхние слои стекла подвергаются сжатию за счет ионного обмена. В процессе закаливания (термического или химического) оптические и другие показатели стеклянных изделий остаются в норме.

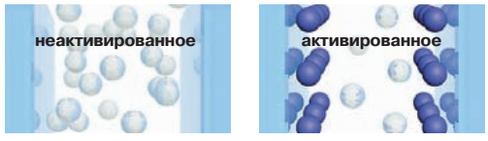
Термическая и ударная прочность закаленного стекла соответственно в три и шесть раз выше, чем у обычного стекла. При разрушении упрочненные листы рассыпаются на мелкие и вполне безобидные кусочки.

Подчеркнем, что тонированные стекла, характеризующиеся высоким коэффициентом поглощения солнечного света (более 25%), нуждаются в упрочнении посредством закалки. В процессе эксплуатации окрашенное остекление подвергается неравномерному нагреву, что приводит к возникновению значительных внутренних напряжений и, как следствие, разрушению стекла.

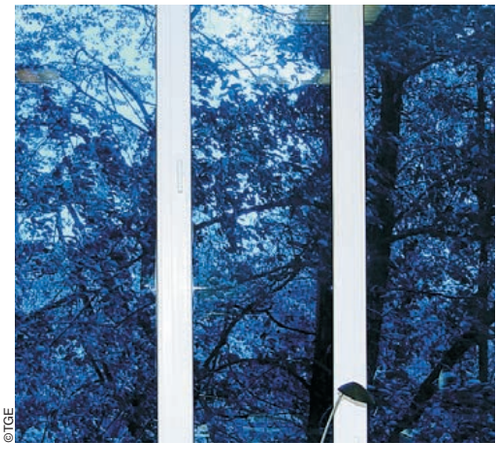
Villa Bakke, г. Сандвика, Норвегия. Проект: MMW Arkitekter. Стекло SGG Priva-Lite, Saint-Gobain (Франция)

©Saint-Gobain

©Saint-Gobain

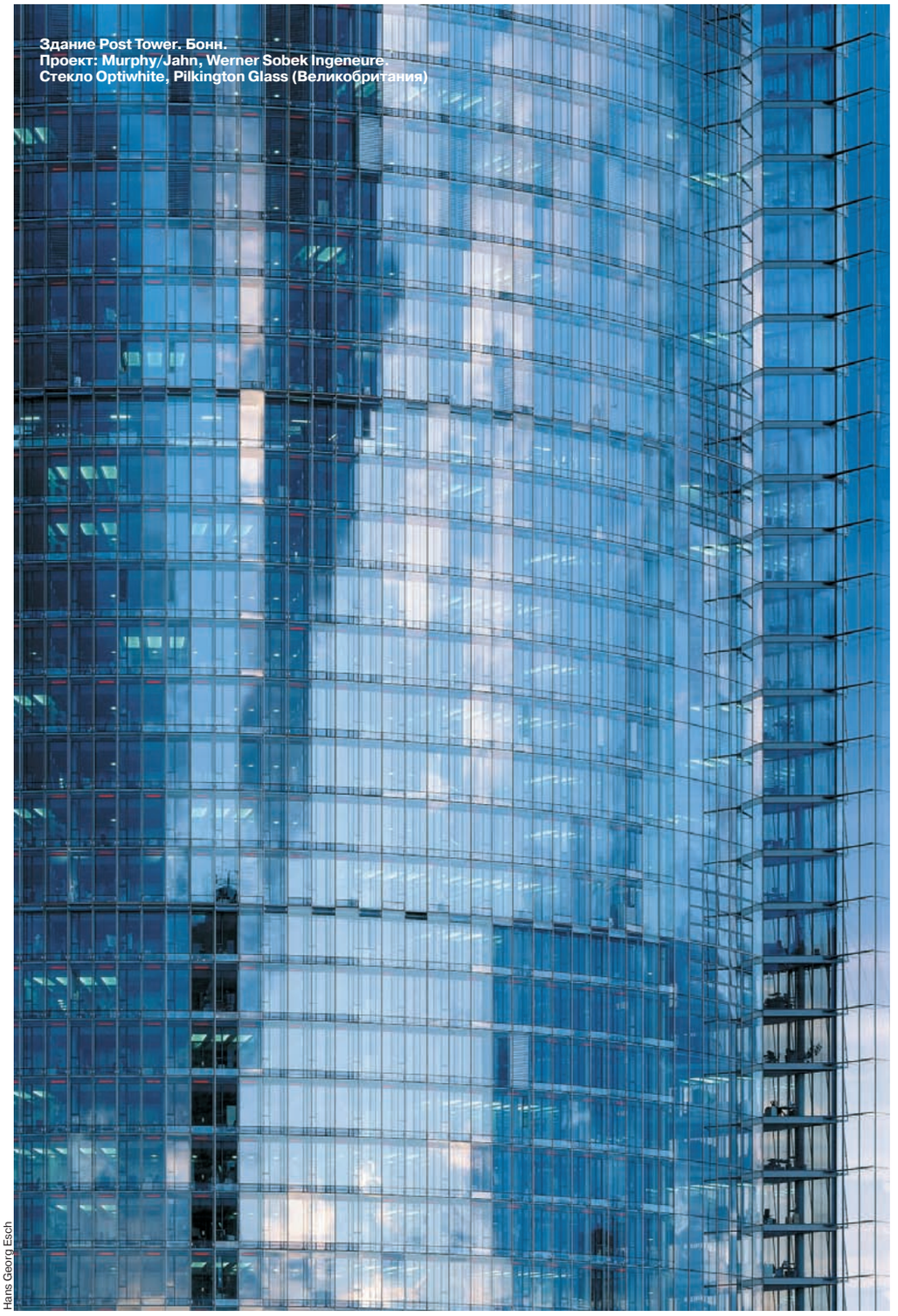


Принцип функционирования. Стекло TGE (Россия)



©TGE

Электрохромное стекло TGE в активном состоянии



Здание Post Tower. Бонн.
Проект: Murphy/Jahn, Werner Sobek Ingeneure.
Стекло Optiwhite, Pilkington Glass (Великобритания)

Hans Georg Esch

Вместе с тем закаленному стеклу присущ один существенный недостаток – табу на механическую обработку. Его нельзя резать, сверлить, шлифовать (эти операции следует производить до закалки стекла). Еще один минус – спонтанное саморазрушение, которое происходит по вине остаточных напряжений.

Важно, чтобы разбитое стекло не разлеталось во все стороны, а удерживалось некой стабильной основой. С этой задачей хорошо справляются стекла, упрочненные стальной сеткой. К тому же такая продукция обладает повышенной огнестойкостью. Однако применение армированных стекол ограничено прежде всего из-за низких оптических свойств.

В 1910 году был изобретен способ производства многослойного высокопрочного стекла, которое даже назвали пуленепробиваемым. Продукт представлял собой композитный материал, в котором между стеклами (двумя и более) помещалась целлулоидная пленка. Подобное стекло получило широкое применение в авиационной и автомобильной промышленности, особенно в их военных отраслях.

Метод получил дальнейшее развитие. В компании Pilkington была разработана технология производства безопасного трехслойного стекла (триплекс). Стекла в таких изделиях соединяются посредством поливинилбутиральной пленки. Собранный комплекс подвергают автоклавной обработке при температуре 140–160°С и давлении 12 атм. Слоеная структура не только придает триплексу высокую ударопрочность, но и обеспечивает безосколочный характер разрушения. При сильном ударе мелкие осколки не разлетаются, а удерживаются пленкой. Многослойное стекло производится также методом заливки, при котором зазор между стеклами заполняется специальной полимерной смолой. Под действием ультрафиолетового излучения смола отверждается и прочно

Станция метрополитена.
Ден Хааг (Den Haag), Нидерланды.
Стекло Pyrobel-Pyrobelite-EI 30/16,
Glaverbel (Бельгия)

©Glaverbel

Испытание, проведенное компанией «Планета Ал». Профиль Schueco. Стекло Pyrobel-Pyrobelite-EI 30, Glaverbel

[комментарий специалиста]

Виктор Франк, руководитель отдела продаж огнестойких стекол компании Pilkington

■ Огнестойкость – способность изделия, конструкции или элемента сооружения препятствовать распространению огня, обеспечивая при пожаре безопасность путей эвакуации. Огнестойкость разделительной конструкции как комплексной системы, состоящей из стекла и профильных элементов, обеспечивается соответствием этих элементов, а также способов крепления стекла и конструкции в целом.

Существует два типа разделительных конструкций: E и EI(W). От стеклянных конструкций класса E требуется герметичность по отношению к пламени и горячим газам в течение определенного времени. Для класса E не установлены ограничения роста температуры поверхности стекла на противоположной по отношению к огню стороне. Стекло пропускает тепловое излучение (жар). Поэтому при использовании конструкции класса E необходимо обращать внимание на то, чтобы эвакуационные проходы и легковоспламеняющиеся материалы находились на достаточном расстоянии от стекла. От разделительных стеклянных конструкций класса EI требуется герметичность (E) по отношению к пламени и горячим газам, а также способность в значительной степени препятствовать (I) прохождению теплового излучения, образующегося при пожаре, на противоположную по отношению к огню сторону в течение установленного времени. Максимальный разрешенный подъем температуры не может превышать 3,5 кВт/кв. м. Огнестойкие стекла класса EI предотвращают нагрев и вызываемое им воспламенение материалов, находящихся в непосредственной близости к стеклу, и гарантируют людям безопасность вблизи стекла при выходе из здания. Наиболее типичными местами, где применяются стекла класса EI, служат остекления лестниц эвакуационных проходов.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СТЕКОЛ

Вид стекла	Производитель	Толщина изделия, мм	Марка	Световые характеристики		Энергетические характеристики				Стоимость, руб./кв. м
				Пропускание, %	Отражение, %	Поглощение, %	Отражение тепла, %	Общее пропускание (суммарная теплопередача), %	Коэффициент теплопередачи, K (Вт/кв. м K)	
Стандартное	Glaverbel	6	Planibel Clear	90	8	11	7	82	5,8	400
	Pilkington	6	Optifloat	90	8	14	7	82	5,7	440
	Guardian	6	Design Glass	90	8	12	7	82	5,7	нет данных
	Saint-Gobain	6	Diamant	90	8	14	7	79	5,7	нет данных
Безбликовое	Glas Trosch	6	Luxar	97	0,5	12	7	82	5,7	нет данных
Тонированное	Glaverbel	6	Planibel Coloured, бронза	50	5	45	7	61	5,7	285
	Pilkington	6	Arctic Blue	56	6	58	5	52	5,7	430
	Saint-Gobain	6	Parsol	47	32	23	26	51	5,7	310
Солнцеотражающее	Glaverbel	6	Stopsol Classic Clear	38	61	33	21	46	5,7	430
	Guardian	6	Sun-Guard 67 Clear	67	16	26	12	69	5,7	360
	Saint-Gobain	6	Antelio	47	32	23	26	51	5,7	540
Низкоэмиссионное	Glaverbel	6	Planibel Top N	78	12	26	30	65	4,2	425
	Pilkington	6	K-Glass	89	8	21	10	69	5,7	645
	Pilkington	6	Optiterm	79	11	25	23	63	4,1	нет данных
	Guardian	6	Guardian Low-E 1,4D	72	12	32	29	40	5,2	нет данных
Многофункциональное	Glaverbel	6	Sunergy Clear	68	18	37	9	54	4,2	нет данных
	Glaverbel	6	Stopray	67	29	34	30	31	4,2	нет данных
	Pilkington	6	Suncool HP Brilliant	66	14	38	31	36	4,1	нет данных
	Saint-Gobain	6	Cool-Lite KN	50	16	33	24	38	4,4	нет данных
	Guardian	6	Sun-Guard High Performance Clear	62	16	60	19	20	4,2	нет данных

По материалам компаний Pilkington, Glaverbel, Saint-Gobain, Guardian

Здание городского суда. Антверпен. Проект: Richard Rogers Partnership. Стекло Pyrobel-Pyrobelite-EI 60/21, Glaverbel (Бельгия)

скрепляет стекла. Такая технология не требует предварительной подготовки листов. В состав полимерной смеси можно вводить пигменты, что позволяет получать тонированные изделия. Правда, заливной триплекс более подвержен расслоению и, следовательно, менее долговечен, нежели его пленочный «собрат».

В триплекс объединяют ударопрочные (закаленные и химически упрочненные методом травления), низкоэмиссионные, художественные (рельефные, узорчатые) и другие стекла. Кроме того, на рынке представлены ламинированные изделия, в состав которых входит особая акустическая пленка: Pilkington Optilam™ Phon, Stratophone (Glaverbel), SGG Stadip Silence® (Saint-Gobain). Благодаря высокой звукоизоляционной способности такие стекла отлично защищают здание от низкочастотного уличного шума. К тому же в отличие от монолитного стекла большой толщины (или сочетания стекол разной толщины), традиционно используемого в звукоизоляционных целях, акустическая ламинированная продукция не имеет критической частоты (т.е. частоты, при которой резко снижается уровень звукоизоляции).

Помимо триплексов производят и комплексы из пяти (пентаплексы) и более (полиплексы) слоев. Последние обладают исключительной прочностью. Достаточно сказать, что материал толщиной 6 см является пуленепробиваемым и способен отразить выстрел в упор из боевой винтовки. В многослойную композицию включают даже высокопрочный поликарбонат.

Особая тема – безопасный стеклопакет. Долгие годы в таких изделиях с наружной стороны устанавливались закаленные стекла, а с внутренней – триплекс. Появление закаленных продуктов с селективным покрытием изменило ситуацию. Специалисты компании Glaverbel предложили «перевернуть» стеклопакет. Очевидно, что триплекс более уместен снаружи. Во-первых, многослойное стекло не осыпается при разрушении, что особенно важно для высотных зданий. Осколки закаленного стекла при падении с высоты представляют реальную опасность для прохожих. Во-вторых, высококачественный триплекс не имеет оптических искажений, свойственных закаленному стеклу (угловое смещение вторичного изображения, возникающее в силу напряжения поверхностных слоев). Между тем самые незначительные дефекты (до 1%) стеклоизделий могут нарушить визуальную плоскостность прозрачных или зеркальных фасадов.

ОГНЕБОРЧЕСКАЯ МИССИЯ

Термическая стойкость – не самое сильное свойство листового стекла. При резком повышении температуры материал покрывается трещинами, мутнеет, оплавляется и, наконец, полностью разрушается. Словом, при обеспечении пожарной безопасности зданий на «помощь» остекления рассчитывать не приходится.

Между тем современная архитектура крайне нуждается в стекле, способном выполнять огнезащитную функцию. Огнестойкие стеклянные системы жизненно необходимы зданиям с большой площадью остекления, а также строениям, эксплуатируемым в условиях плотной застройки.

Пожароустойчивые стекла последнего поколения Pyrobel (Glaverbel), Pilkington Pyrodur™, Pilkington Pyrostop™, Fireswiss (Euroglas) имеют многослойную структуру. Зазоры между стеклами заполнены особым гелевым составом. При критическом повышении температуры промежуточные слои расширяются и переходят в твердое и пористое состояние. В результате элемент остекления превращается в жесткую непрозрачную огнезащитную конструкцию.

ТЕХНОЛОГИЯ ЧИСТОТЫ

Плачевное состояние городской атмосферы, насыщенной выхлопными газами и копотью, негативно сказывается на состоянии светопрозрачных фасадов. Стеклянная поверхность быстро покрывается слоем трудно смываемой «жирной» грязи. В результате здание приобретает неопрятный и отталкивающий вид. Между тем отмыть небоскреб – дело непростое и недешевое ($1,5–3/кв. м и более в зависимости от высоты здания). К тому же работа на высоте небезопасна, трудоемка и, по сути, малоэффективна. Через некоторое время «умытые» фасады утрачивают обретенную чистоту.

Не так давно компания Pilkington выпустила на рынок уникальный материал – самоочищающееся стекло Pilkington Activ™. Эффект самоочищения достигается за счет специального пиролитического покрытия двойного действия (в основе химического состава – диоксид кремния). Во-первых, активная пленка (толщиной всего 15 нанометров) выступает в роли катализатора реакции разложения «органической» грязи под воздействием ультрафиолетового излучения. Во-вторых, покрытие придает поверхности стекла гидрофильные свойства. Продукты распада, а также неорганические загрязнения (дорожная пыль и т.д.) легко смываются дождевой водой. После высыхания на стекле не остается разводов, подтеков и пятен.

Pilkington Activ™ работает в дневное время при любой погоде. Гидрофильные качества задействованы круглосуточно. В засушливый период самоочищающееся стекло можно мыть традиционным способом с помощью теплой мыльной воды и мягкой ткани.

Материал отлично сосуществует с другими стеклоизделиями, например низкоэмиссионными, светоотражающими и другими стеклами

Шумозащитный барьер на высокоскоростном шоссе. Франция. Стекло Planibel Linea Azzura, Glaverbel (Бельгия)

©Glaverbel/Jean-Michel Byl

Международный Дом музыки. Москва. Проект «Товарищество театральных архитекторов». Стекло Guardian, Saint-Gobain, Glaverbel

©Guardian

[комментарий специалиста]

Александр Чесноков, руководитель отдела испытаний и сертификации НИИ стекла

■ Сегодня заказчикам и проектировщикам для реализации их творческих замыслов предоставляется богатый выбор стекол, различающихся как по цвету, так и по функциональному назначению и техническим характеристикам. За последние годы через испытательный центр «Стекло» нашего института прошло более 700 видов стекол. Количество их сочетаний в реальном остеклении просто безгранично. Однако внедрение инновационных стекол и их сочетаний в зданиях требует взвешенного и профессионального подхода. Необходимо убедиться, что новый продукт способен работать в местных климатических условиях и сможет адаптироваться к специфическим эксплуатационным требованиям. Чтобы уже сегодня использовать в строительной практике последние достижения отечественных и зарубежных производителей, нужно иметь научно обоснованные методики испытаний стекла. Более того, требуется разработка строгих технических регламентов, позволяющих комплексно (на основании действующих законов, законодательных и нормативных актов) регулировать качество стекольной продукции и правила ее применения в строительстве. Такие документы должны учитывать климатические условия и другие особенности нашей страны, традиции потребления, возможности и запросы заказчиков и многое другое.

Хотелось бы особо подчеркнуть, что заказчики специальных видов остекления должны четко представлять себе, какие свойства им реально необходимы. Зачастую они требуют изготовить продукцию со взаимоисключающими характеристиками. В каждом конкретном случае необходимо находить разумный баланс между специфическими пожеланиями и нормативными требованиями по светопропусканию, теплотехнике, безопасности, прочности, долговечности (климатической стойкости), огнестойкости и т.д.

Сказанное вовсе не означает, что в производстве изделий из стекла есть непреодолимые ограничения. Выполнение уникальных заказов – мощнейший импульс для развития отрасли. Однако следует помнить о финансовых затратах на подобные разработки. Приведу такой пример. Заказ на создание композиции стеклянных полов для смотровой площадки Останкинской башни, который выполнял наш институт, сопровождался увесистым томом технических требований (30 страниц). Все они были полностью удовлетворены. Однако полная стоимость конечного продукта составила более $5000 за 1 кв. м.

(в составе триплекса, стеклопакета). Активное пиролитическое покрытие сохраняет свой удивительный «талант» на протяжении срока службы стекла, то есть, по сути, неограниченный период времени.

«ПРИРУЧЕННАЯ» ПРОЗРАЧНОСТЬ

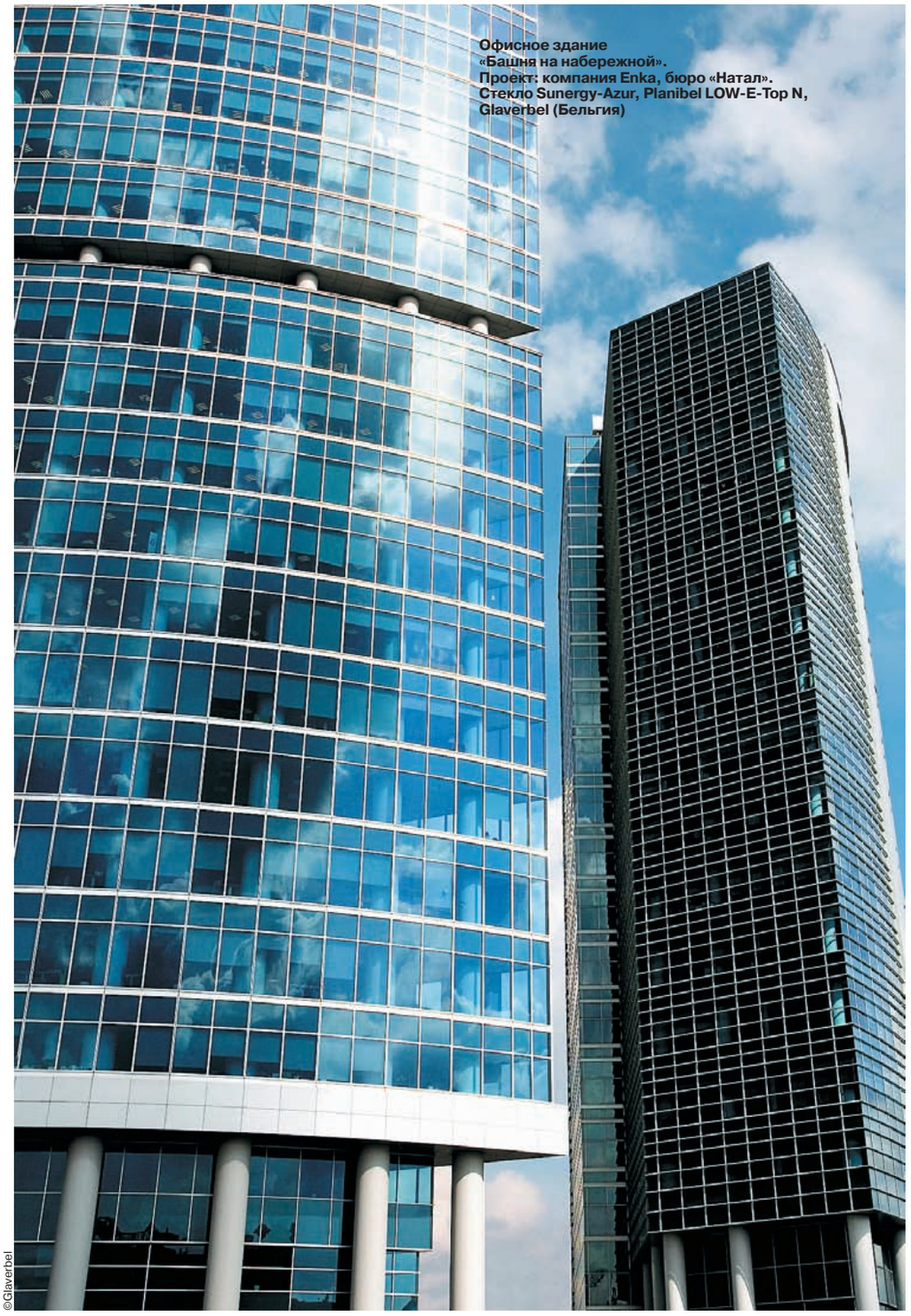
Мысль о создании стекол с регулируемой прозрачностью давно занимает умы стекольщиков. Исследования в этой области основаны на двух природных явлениях: фотохромизм (изменение цвета под действием солнечного излучения) и электрохромизм (изменение цвета под действием электрического тока). Впрочем, фотохромные стекла регулируемыми можно назвать лишь условно, поскольку их поведением «руководит» небесное светило.

Автоматическое или полуавтоматическое регулирование прозрачности обеспечивают электрохромные материалы, которые по своей природе бывают как органическими, так и неорганическими. Большинство зарубежных исследователей отдают предпочтение «неорганике» (соединения на основе вольфрама). Достижения пока более чем скромные (учитывая масштабы инвестиций). Наилучшие результаты получены в США. Однако американское регулируемое стекло стоит дорого ($2500–3000/кв. м) и выпускается в небольших объемах только для национального рынка.

Концерн Saint-Gobain (Франция) выпускает композитный продукт, в котором функцию электрохромного включения выполняют жидкие кристаллы. Под действием электрического тока они начинают двигаться, что приводит к тонировке стекла. У жидкокристаллического регулирования есть два крупных недостатка. Во-первых, такие стекла ограничены в применении – их можно использовать только внутри зданий (например, для остекления перегородок). Во-вторых, при непрямом угле зрения на стекле появляются оптические искажения. Отрадно, что отечественные специалисты оказались на передовом рубеже разработки электрохромного стекла. В российской компа-

Офисный центр «Капитал Плаза». Проект: бюро «Остоженка». Стекло Planibel Coloured Grey, Glaverbel (Бельгия)

Здание Ellipse. Брюссель. Проект: Montois & Partners. Стекло Thermobel-Warm E, Energy N, Sunergy-Clear, Glaverbel (Бельгия)



Офисное здание «Башня на набережной». Проект: компания Enka, бюро «Натал». Стекло Sunergy-Azur, Planibel LOW-E-Top N, Glaverbel (Бельгия)

нии TGE разработана уникальная технология производства стекла с регулируемой светопропускающей способностью. Материал представляет собой триплекс, состоящий из двух стекол с прозрачными электропроводящими покрытиями и активной полимерной композиции, склеивающей эти стекла и обеспечивающей регулируемое светопропускание.
Полимерная электрохромная композиция находится в твердотельном состоянии, что позволяет производить стекло больших размеров.

СТЕКЛЯННЫЙ ДОМ: МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Какие метаморфозы ожидают стекло в будущем? Очевидно, что материал постепенно приобретает конструкционный статус. Давно перестали быть диковинкой стеклянные полы, лестницы, демонстрационные площадки. В новом здании аэропорта в Риге светопрозрачная крыша опирается на стеклянные несущие балки. Комбинируя стекла разного типа и разной толщины, можно создавать небывалые строительные конструкции. В развитии стекла все явственнее проявляют себя нанотехнологии, позволяющие придать ему специфические эксплуатационные и технические характеристики, а также экстраординарные эстетические качества. Известно, что стекло – аморфный материал, не имеющий жесткой кристаллической решетки. Молекулы оксида кремния расположены в случайном порядке, а соединения натрия и калия объединены в комплексы. Один из способов упрочнения стекла – изменение структуры за счет введения высокопрочных синтетических фибр (нанотрубок), способных создать стабильные связи между элементами.
От листового стекла также требуются прочностные «подвиги». На системы остекления воздействуют большие статические и динамические нагрузки. В современных условиях остро стоит вопрос о производстве стекла со стабильными, заведомо известными прочностными характеристиками, которые можно включать в нормативные документы, использовать в расчетах. Встанет ли стекло в один ряд со сталью и железобетоном, покажет время. ARX