

# **САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ОСТЕКЛЕНИЯ ЗДАНИЙ ВЫЗВАННОЕ ЯВЛЕНИЕМ ТЕРМОШОКА**

К.х.н. Смирнов М.И. (ООО «Главербель Восток»), к.т.н. Чесноков А.Г. (ОАО «Институт Стекла»), к.т.н. Кузнецова Е.В. (ООО «Пилкингтон Гласс»), Минаев Д.А. (ООО «ВНИИГАЗ»), Москва

Как известно, риск разрушения наружного остекления зданий по причине термошока обусловлен градиентом температур, возникающим из-за неравномерности нагрева остекления солнечным излучением и/или неравномерности теплоотдачи от остекления в окружающую среду. В данной статье проведен краткий анализ основных видов термошока и причин их возникновения.

## **Основные виды термошока**

Градиент температур может возникать между различными частями одного листа стекла в результате его неравномерного нагрева/охлаждения, например, между освещенным и затененным участками остекления (термошок 1-го рода).

Градиент температур также может возникать между внутренней поверхностью наружного стекла в стеклопакете (позиция 2) и его же наружной поверхностью (позиция 1) - термошок 2-го рода. Существуют две основные причины возникновения такого температурного градиента. Первая причина заключается в равномерном прогреве всей толщины стекла в результате инсоляции, слабой отдачей тепла в межстекольное пространство с позиции 2 и усиленной теплоотдачей с позиции 1 в окружающую среду. Вторая причина обусловлена наличием поглощающих покрытий на одной из сторон стекла, например, полимерных пленок. Термошок 2-го рода реже встречается на практике, однако его риск возрастает в весенний сезон, характеризующийся высокой инсоляцией и низкой температурой воздуха.

## **Основные факторы, влияющие на риск появления термошока**

Риск термошока зависит от собственных характеристик стекла, особенностей конструкции остекления, монтажа, географического расположения здания, ориентации фасада по сторонам света, времени года, наличия предметов, затеняющих участки остекления (выступы фасада, близко расположенные деревья и здания).

Исходя из практического опыта, факторы, влияющие на риск термошока можно перечислить приблизительно в следующем порядке убывания их значимости:

1. Коэффициента поглощения солнечной энергии наружного стекла: чем выше коэффициент поглощения солнечной энергии, тем сильнее нагревается стекло и больше вероятность появления термошока.

2. Установки на стекло декоративной ПЭТ-пленки: как правило, декоративные ПЭТ-пленки устанавливаются на стекло в позицию 2. Коэффициент поглощения солнечной энергии на границе стекло-пленка высок. Это приводит к нагреву поверхности стекла в позиции 2 и возникновению градиента температур между поверхностями стекла в позициях 1 и 2.

3. Типа остекления (стеклопакет, или одинарное остекление – например, в составе вентилируемого фасада): в стеклопакетах условия теплоотдачи с позиции 2 значительно хуже, чем в одинарном остеклении, и значительно хуже, чем с позиции 1, что способствует возникновению градиента температур между поверхностями стекла в позициях 1 и 2.

4. Наличия отражающей поверхности за наружным остеклением: низкоэмиссионного стекла в составе стеклопакета (в том числе низкоэмиссионного покрытия на наружном стекле), жалюзи или гардины в оконных проемах, стена здания (для структурного остекления): например, низкоэмиссионное стекло отражает до 95% инфракрасной части солнечного излучения, если учесть, что в составе солнечного спектра ИК-излучение составляет около 50%, поток энергии, падающий на наружное стекло возрастает в полтора раза.

5. Наличия выступов фасада, близко расположенных деревьев и зданий: на затененных участках остекления инсоляция не нагревает стекло, теплоотдача же с различных участков стеклянной панели в воздух одинакова.

6. Наклона элемента остекления: угол падения солнечных лучей для наклонных и горизонтальных элементов остекления ближе к нормали, чем для вертикальных. Поэтому, инсоляция наклонных и горизонтальных элементов больше чем вертикальных. В среднем, инсоляция наклонных и горизонтальных элементов остекления на  $250 \text{ Вт/м}^2$  больше, чем у вертикальных.

Кроме того, у наклонных и горизонтальных элементов остекления условия теплоотдачи с наружной поверхности примерно на 30% лучше, чем у вертикальных, а с внутренней – приблизительно на 20% хуже.

7. Географической широты: чем южнее расположено здание, тем выше инсоляция. Чем севернее расположено здание, тем ближе угол падения лучей на остекление к нормали.

8. Ширины дистанционной рамки стеклопакета: чем уже рамка, тем слабее конвекция внутри стеклопакета и, соответственно, хуже теплоотдача с позиции 2.

9. Ориентации фасада по сторонам света: наибольшая интенсивность и продолжительность инсоляции наблюдается на южных фасадах зданий.

10. Времени года: инсоляция и температура воздуха зависят от времени года, наиболее неблагоприятное сочетание погодных условий с точки зрения термошока наблюдается ранней весной, в результате высокой инсоляции и низкой температуры воздуха.

11. Климатических характеристик региона: температуры воздуха и скорости ветра: чем ниже температура воздуха и выше скорость ветра, тем выше теплоотдача с наружной поверхности стекла. В сочетании с высокой инсоляцией может возникнуть значительный градиент температур между поверхностями остекления в позициях 1 и 2.

12. Суточного перепада температур: остывшие за ночь до одинаковой температуры открытые и затененные зоны остекления нагреваются с разной скоростью, которая зависит, в частности, от суточного перепада температур. Различие в скоростях нагрева различных зон остекления приводит к дополнительному температурному градиенту между ними.

13. Размеров элементов остекления: чем больше размеры остекления, тем выше механические напряжения между нагретыми и холодными участками остекления. Помимо этого, значительное линейное расширение стеклянных панелей в результате нагрева инсоляцией может привести к их разрушению при отсутствии температурных зазоров между элементами остекления и профилем.

14. Качества резки стекла и качество монтажа (правильность установки прокладок между стеклопакетами и профилем, отсутствие «зажима» элементов фасада в профиле, правильность сборки профиля и т.д.): при низком качестве реза стекла, на кромках

стеклянных панелей имеются многочисленные сколы и неровности, служащие концентраторами напряжений. Ошибки при сборке фасада из профиля могут привести к короблению фасада в ходе суточных температурных колебаний и, соответственно, к поломке его стеклянных элементов.

15. Конструкции, материала и цвета фасадного или оконного профиля: эти факторы влияют на нагрев самого профиля и, соответственно, на температурные перепады между центром стеклянного элемента фасада и его периферической зоной.

16. Условий вентиляции остекления с внутренней стороны: расположение оконного блока по толщине стены, расстояние между оконным блоком и жалюзи, между структурным остеклением и стеной, подоконное расположение нагревательных приборов: плохие условия вентиляции, а также нагревательные приборы в зоне окна способствуют увеличению температуры внутреннего стекла в оконном блоке (или структурном элементе).

17. Наличие царапин на стекле: царапины, образовавшиеся в ходе хранения, транспортировки и переработки листового стекла, а также при монтаже фасада значительно снижают механическую прочность стекла. Таким образом, разрушение может происходить при меньшем перепаде температур.

18. Толщины стекла: помимо того, что у более толстых стекол выше коэффициент поглощения солнечной энергии, при одинаковом градиенте температур в более толстых стеклах возникают большие механические напряжения. Так, если для стекла толщиной до 12 мм допустимый температурный перепад составляет 30-35°C, то стекла толщиной 25 мм допускается применять без обработки кромки или термоупрочнения (закалки) при температурном перепаде не более 26°C.

### **Расчетные методы оценки риска термошока**

Имеется довольно много работ, посвященных расчетным методам оценки риска термошока, например, [1-4]. Разработан ряд методик, пригодных для инженерных расчетов. Кроме того, на рынке существует ряд программных пакетов по расчету характеристик остекления, позволяющие среди прочего оценивать риск термошока по тем или иным критериям. Можно отметить программу *Vitrage Décision* компании SEBTP SOLEN. Программа учитывает большую часть из перечисленных выше факторов тер-

мошока и позволяет рассчитать градиенты температур между центром листа стекла (максимальная инсоляция) и затененными участками (термошок 1-го рода).

На основании практического опыта установлены допустимые перепады температур для различных видов стекол. В зависимости от используемой методики расчета (полноты учета различных влияющих факторов) значения допустимых перепадов могут варьироваться в некоторых пределах:

- многослойное или узорчатое стекло допускается применять при перепаде температур не выше 26-27 °С;
- листовое незакаленное стекло с необработанной кромкой допускается применять при перепаде температур не выше 30-35 °С;
- если перепад температур находится в диапазоне 33-40 °С, незакаленное стекло допускается применять только при условии обработки кромки;
- при перепаде температур свыше 33-40 °С необходимо применять только термоупрочненное или закаленное стекло.

По показателям механической прочности термоупрочненные стекла мало отличаются от закаленных. Однако, при том, что стоимость термоупрочненных и закаленных стекол одинакова, закаленные стекла являются более безопасными при разрушении (в силу их характерной фрагментации). В силу этого в архитектурном остеклении применяются в основном закаленные стекла.

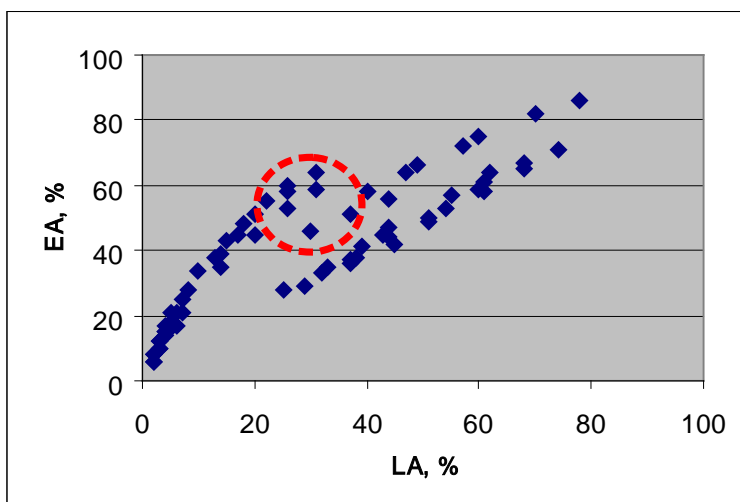
Поскольку не всегда имеется возможность выполнить расчетную оценку риска термошока, для наружного остекления, на основании опять же практического опыта (для европейских климатических условий) выработана рекомендация использовать стекла с коэффициентом поглощения энергии свыше 50 % только в закаленном виде.

### **Требования нормативных документов по минимизации риска возникновения термошока**

ГОСТ 24866 [5] устанавливает требование о применении стекол с коэффициентом поглощения света более 25 % только в упрочненном виде (пункт 4.2.7). Разумеется, риск термошока определяется не поглощением света, а поглощением солнечной энергии. Прямой корреляции между значениями коэффициентов поглощения света и солнечной энергии нет, однако для большинства окрашенных в массу стекол, 25 %-й уровень ко-

эфициента поглощения света приблизительно соответствует 50 %-му уровню коэффициента поглощения солнечной энергии (см. график).

На графике, в качестве примера, представлены значения коэффициентов поглощения света (LA) и коэффициентов поглощения солнечной энергии (EA) для различных толщин окрашенных в масле стекол производства группы Главербель следующих марок: Planibel Clear, Planibel Bronze,



Planibel Grey, Planibel Green, Planibel Azur, Planibel Dark Blue и Planibel PrivaBlue, а также стекол производства группы Пилкингтон следующих марок: Optifloat Clear, Optifloat Bronze, Optifloat Grey, Optifloat Green, Blue-Green, Arctic Blue.

В европейских стандартах отсутствует аналогичное требование. Однако, в Еврокоде EN 1991-1-5 [6] установлено требование выполнять расчет конструкций здания на устойчивость конструкций здания к тепловым нагрузкам. Кроме того, в настоящее время проходит процедуру голосования специальный Еврокод по расчету остекления на устойчивость к термическому шоку.

### **Влияние светоотражающего покрытия на характеристики стекла и риск возникновения термошока**

Отражающее покрытие изменяет оптические и энергетические характеристики стекла. Его влияние зависит от характеристик самого покрытия и от его положения по отношению к наружной среде.

Отражающее покрытие в **позиции 1** (наружная сторона наружного стекла) отражает часть падающего потока солнечной энергии, поэтому поток энергии, проходящий через стекло снижается. Это находит выражение в том, что коэффициент поглощения солнечной энергии у стекла с покрытием в **позиции 1**, как правило, **ниже**, чем у исходного стекла. Исключение представляют собой покрытия с высоким собственным коэффициентом поглощения солнечной энергии.

Отражающее покрытие в **позиции 2** (внутренняя сторона наружного стекла) так же отражает часть падающего потока солнечной энергии. Однако отраженный поток проходит снова через стекло. Математически это выражается в том, что коэффициент поглощения солнечной энергии у стекла с покрытием в **позиции 2**, всегда выше, чем у исходного стекла.

В особенности велико соответствующее повышение коэффициента поглощения солнечной энергии у стекла с **низкоэмиссионным** покрытием в позиции 2. Современные пиролитические низкоэмиссионные покрытия отражают 70-85 % ИК-излучения, а магнетронные 95-97 %. Соответственно поток энергии, проходящий через стекло возрастает в полтора раза – то есть так же, как и при установке низкоэмиссионного стекла вторым стеклом в стеклопакет (см. выше). Возрастает, соответственно, и риск возникновения термошока. По этой причине ведущие производителя низкоэмиссионных стекол поставляют их на основе бесцветных или слабоокрашенных стекол либо, если основой служит окрашенное в массе стекло с высоким поглощением солнечной энергии, на него наносится низкоэмиссионное покрытие пригодное к закалке.

В таблицах 1, 2, 3 и 4 приведены примеры световых и энергетических характеристик стекол с отражающими покрытиями производства групп Главербель и компании Пилкингтон. Прослеживается влияние современных пиролитических отражающих покрытий, применяемых на стеклах Stopsol (Главербель) и Eclipse (Пилкингтон) в позициях 1 и 2, на характеристики следующих групп стекол:

- **бесцветное** стекло;
- **слабоокрашенные** в массе стекла (значения коэффициента поглощения света лежат, в зависимости от толщины стекла, примерно в диапазоне 15-30 %);
- **среднеокрашенные** стекла (значения коэффициента поглощения света лежат, в зависимости от толщины стекла, примерно в диапазоне 30-50 %);
- **сильноокрашенные** стекла (значения коэффициента поглощения света превышают 50 %).

Данные представлены для стекол с покрытиями на основе следующих исходных окрашенных в массе стекол:

- Planibel Clear 6 мм: коэффициент поглощения света равен 3 %;
- Optifloat Clear 6 мм: коэффициент поглощения света равен 4 %;

- Planibel Green 6 мм: коэффициент поглощения света равен 20 %;
- Blue-Green 6 мм: коэффициент поглощения света равен 18 %;
- Planibel Dark Blue 6 мм: коэффициент поглощения света равен 37 %;
- Arctic Blue 6 мм: коэффициент поглощения света равен 40 %;
- Planibel PrivaBlue 6 мм: коэффициент поглощения света равен 60 %.
- Optifloat Grey 6 мм: коэффициент поглощения света равен 51 %.

Таблица 1

Влияние отражающих покрытий на характеристики бесцветного стекла

Марка стекла	Световые характеристики		Энергетические характеристики		Влияние покрытия на коэффициент поглощения солнечной энергии (EA)
	LT, %	LR, %	EA, %	SF, %	
Planibel Clear 6 мм	89	8	12	84	
Stopsol SuperSilver Clear 6 мм поз.1	63	35	9	66	-25 %
Stopsol SuperSilver Clear 6 мм поз.2	63	34	12	67	0 %
Pilkington Optifloat Clear 6 мм	88	8	14	82	
Eclipse Advantage Clear 6 мм поз.1	67	29	18	63	+28%
Eclipse Advantage Clear 6 мм поз.2	67	26	23	62	+64%

Таблица 2

Влияние отражающих покрытий на характеристики слабоокрашенного стекла

Марка стекла	Световые характеристики		Энергетические характеристики		Влияние покрытия на коэффициент поглощения солнечной энергии (EA)
	LT, %	LR, %	EA, %	SF, %	
Planibel Green 6 мм	73	7	51	57	
Stopsol SuperSilver Green 6 мм поз.1	52	34	41	43	-20 %
Stopsol SuperSilver Green 6 мм поз.2	52	25	53	47	+4 %
Optifloat Blue-Green 6 мм	75	7	43	62	
Eclipse Advantage Blue-Green 6 мм поз.1	52	30	45	59	+5%
Eclipse Advantage Blue-Green 6 мм поз.2	51	29	47	56	+9%



Таблица 3

Влияние отражающих покрытий на характеристики среднеокрашенного стекла

Марка стекла	Световые характеристики		Энергетические характеристики		Влияние покрытия на коэффициент поглощения солнечной энергии (EA)
	LT, %	LR, %	EA, %	SF, %	
Planibel Dark Blue 6 мм	57	6	51	57	
Stopsol SuperSilver Dark Blue 6 мм поз.1	42	30	42	45	-18 %
Stopsol SuperSilver Dark Blue 6 мм поз.2	42	15	55	48	+8 %
Arctic Blue 6 мм	54	6	58	52	
Eclipse Advantage Arctic Blue 6 мм поз.1	39	27	53	38	-9 %
Eclipse Advantage Arctic Blue 6 мм. поз.2	39	12	67	36	+15 %

Таблица 4

Влияние отражающих покрытий на характеристики сильноокрашенного стекла

Марка стекла	Световые характеристики		Энергетические характеристики		Влияние покрытия на коэффициент поглощения солнечной энергии (EA)
	LT, %	LR, %	EA, %	SF, %	
Planibel PrivaBlue 6 мм	35	5	75	40	
Stopsol SilverLight PrivaBlue 6 мм поз.1	27	24	64	32	-15 %
Stopsol SilverLight PrivaBlue 6 мм поз.2	27	8	77	36	+3 %
Optifloat Grey 6 мм	44	5	50	58	
Eclipse Advantage Grey 6 мм поз.1	32	27	48	41	-4 %
Eclipse Advantage Grey 6 мм поз.2	32	10	62	40	+24 %

Как видно из таблиц 1-4, современное пиролитическое светоотражающее покрытие в позиции 1, как правило, снижает коэффициент поглощения солнечной энергии на 5-20 %. Некоторые покрытия, и в позиции 1, повышают поглощение солнечной энергии

по сравнению с исходным стеклом (см. табл. 1 и 2), однако это характерно лишь для бесцветных и слабоокрашенных стекол, не подверженных термошоку. Светоотражающее покрытие, установленное в **позицию 2** всегда повышает коэффициент поглощения солнечной энергии (для средне- и сильноокрашенных стекол на 0-25 % - см. табл. 3 и 4).

Необходимо отметить, что существует ряд стекол со светоотражающими покрытиями, имеющими худшие характеристики с точки зрения риска термошока. Прежде всего, это покрытия с высоким собственным коэффициентом поглощения солнечной энергии. Однако, из всех стекол известных производителей, представленных на российском рынке, ни одно светоотражающее покрытие, будучи нанесенным на подверженные термошоку средне- и сильноокрашенные в массе стекла в **позицию 1**, не приводит к повышению коэффициента поглощения солнечной энергии стекла.

Таким образом, у проектировщика есть два способа предохранить остекление от термошока:

- простой: использовать в наружном остеклении стекла с коэффициентом поглощения солнечной энергии меньше 50 % или, если поглощение солнечной энергии выбранного стекла превышает эту величину, использовать закаленное стекло;

- более точный: производить расчет тепловых нагрузок, возникающих в остеклении под влиянием окружающей среды, оценивать риск возникновения термошока и, соответственно, использовать обычные стекла, стекла с обработанной кромкой, или же закаленные стекла.

## Литература

1. Lingnell A.W, Beason, W. L. «A Method of Evaluation for Thermal Stress in Monolithic Annealed Glass» - Glass Processing Days The 8<sup>th</sup> International Conference on Architectural and Automotive Glass Conference Proceedings Tampere, Finland June 15-18 2003;
2. Beason W. L., Lingnell A.W.: Emerging Uses for Window Glass, Emerging Materials for Civil Infrastructure - State of the Art, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, 2000, pages 190-216;
3. Beason, W.L., and Lingnell, A.W.: A Thermal Stress Evaluation Procedure for Monolithic Annealed Glass, The Use of Glass in Buildings, STP 1434, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002, pages 105-118;
4. Beason W.L., Kohutek T.L., and Bracci J.M.: Basis for ASTM E 1300 Annealed Glass Thickness Selection Charts, Journal of Structural Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 124, No. 2, 1998, pages 215-221;
5. ГОСТ 24866-99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия»;
6. EN 1991-1-5 Eurocode 1 Actions on structures - Part 1-5 General actions - Thermal actions.