

## **Явление радужности в архитектурном остеклении**

К.х.н. Смирнов М.И. (ООО «Главербель Восток»), к.т.н. Гладушко О.А., к.т.н. Чесноков А.Г. (ОАО «Институт Стекла»), Минаев Д.А. (ООО «ВНИИГАЗ»), Москва

Достижения в последние десятилетия в области технологии производства листового стекла привели к появлению на рынке существенно более высококачественной продукции (как в смысле геометрических параметров – плоскопараллельности поверхностей стекла, так и в смысле качественных характеристик – отсутствия дефектов). Разнообразие архитектурной стекольной продукции также необычайно возросло. Получили широкое распространение солнцезащитные, энергосберегающие, самоочищающиеся и другие специальные стекла.

Все это сильно расширило области архитектурного применения стекла, начиная от традиционного оконного остекления и заканчивая фасадным и декоративным. Получили широкое распространение новые технологии остекления – стеклопакеты, структурное фасадное остекление, стеклянные фасады с точечным креплением и т.д. Вместе с тем, новые достижения приносят не только преимущества, но и создают новые проблемы, реальные или кажущиеся.

В частности, в последнее время ряд оконных и фасадных компаний, а также производители стеклопакетов сталкиваются с появлением радужной окраски в остеклении зданий и сооружений. Явление это обусловлено различными причинами: как объективными и неизбежными, так и, в ряде случаев, элементарными нарушениями технологического процесса изготовления элементов остекления. Между потребителями и изготовителями возникают споры о причинах данного явления, о том, можно ли его считать браком с точки зрения действующей нормативной документации и, следовательно, явлением, устранимым при соблюдении технологических требований. Чтобы прояснить ситуацию и помочь решать эти споры, авторы подготовили данный краткий обзор причин появления радужности в остеклении.

Итак, основные причины появления различных видов радужной окраски перечислены ниже.

### **1. Радужные разводы, возникающие вследствие загрязнения стекол.**

При изготовлении стеклопакета поверхность стекол в результате нарушений технологического процесса может загрязняться, например, минеральным маслом или расклинивающей жидкостью, которые не были удалены при мойке стекол. За счет явления интерференции в тонких пленках на стеклопакете в данном случае могут наблюдаться радужные разводы неправильной формы, подобные тем, которые часто можно увидеть на поверхности воды, загрязненной тем же маслом или бензином. Эти разводы хорошо просматриваются как в проходящем, так и отраженном свете. Их можно увидеть как на отдельных листах стекла, так и в стеклопакетах. В соответствии с требованиями ГОСТ 24866 [1], такие радужные пятна рассматриваются как дефект стеклопакета.

### **2. Коррозионная радужность поверхности стекла.**

Поверхность стекла может подвергаться коррозии, в результате поверхность стекла приобретает радужный отлив (радужное выщелачивание). Такая радужность наблюдается на отдельных листах стекла.

Коррозионный процесс развивается в результате нарушений правил хранения и транспортировки стекла, указанных в ГОСТ 111-2001 [2] (подмоченное стекло). Коррозии может подвергаться только стекло в пачках (блоках), поступающее с заводов. Готовое остекление и стеклопакеты в нормальных условиях эксплуатации, как известно, коррозии не подвержены.

Наиболее подвержена коррозии верхняя (воздушная) сторона ленты листового стекла. Ведущие мировые производители листового стекла принимают меры, предохраняющие стекло от коррозии (пассивация верхней поверхности ленты стекла). Стекла с покрытиями (пиролитическими или магнетронными) как правило, не подвержены стеклянной коррозии, поскольку покрытия наносятся именно на верхнюю сторону листового стекла.

### **3. Радужные пятна на нижней поверхности флоат стекла, образующиеся в результате налипания на поверхность стекла частиц оксидов олова (дросс).**

Наблюдаются на отдельных листах стекла, и хорошо видны в отраженном свете. Представляют собой производственный дефект стекла, регламентированный, в частности, ГОСТ 111-2001.

#### **4. Радужные полосы, наблюдаемые под определенным углом на стеклопакетах с использованием закаленных стекол с отражающими покрытиями.**

Этот эффект может возникать в результате дефекта плоскостности стекла с отражающими покрытиями, возникающего в результате закалки («волна») и заметен на остеклении в отраженном свете. Если отклонение от плоскостности превышает установленные ГОСТ 30698-2001 [3] значения, стекло считается дефектным, если нет, данное явление не рассматривается как дефект стекла или стеклопакета.

#### **5. Небольшие радужные пятна, наблюдаемые под острым углом на стеклопакетах с закаленными стеклами («шкура леопарда»).**

Если свет падает на стекло под углом, близким к углу Брюстера (для стекла  $56,6^\circ$ ), то свет, отраженный от внутренней поверхности стекла, имеет высокую степень поляризации. Таким образом, за счет эффекта двойного лучепреломления, зоны напряжений в закаленных стеклах становятся видимыми. Это явление не рассматривается как дефект стекла или стеклопакета. В частности, в европейских стандартах на стеклопакеты (EN 1279), закаленное (EN 12150) и термоупрочненное (EN 1863) стекло имеются прямые указания на то, что данное явление не считается дефектом: EN 1279-1, приложение С [4], п. С1.3; EN 12150-, п. 9.2 [5]; EN 1863-1, п. 10.2 [6]. Как уже было отмечено выше, эти радужные пятна можно увидеть только под определенным (острым) углом обзора.

#### **6. Радужные кольца, наблюдаемые на стеклопакетах.**

В стеклопакетах может возникать прогиб стекол (как правило, в результате изменения температуры или давления окружающей среды, нарушений технологического процесса изготовления стеклопакета, использования слишком тонких стекол при больших размерах стеклопакета, при слишком малом воздушном зазоре между стеклами и т.д.). В этом случае возникает классическая интерференционная картина в виде цветных концентрических колец (носящих название колец Ньютона), четко наблюдаемая при определенных условиях освещения и обзора. Такой стеклопакет рассматривается как дефектный по ГОСТ 24866, поскольку прогиб резко ухудшает его теплофизические свойства.

## 7. Параллельные радужные полосы (полосы Брюстера), наблюдаемые на стеклопакете.

Классическая интерференционная картина в виде параллельных радужных разводов (параллельных радужных линий), проявляющаяся только при определенных условиях наблюдения (под определенным углом и при определенном освещении), и которая редко встречается в архитектурном остеклении. Она может возникать при установке в один стеклопакет стекол с высокой плоскостностью (плоскопараллельностью) и гладкостью поверхности, при условии высокой параллельности и равнотолщинности стекол в стеклопакете, что и создает условия для возникновения явления интерференции. Это явление рассматривается мировыми производителями стекла как естественное следствие из законов оптики и высокого качества современного флоат-стекла и НЕ считается дефектом стеклопакета [7].

Брюстеровские интерференционные полосы имеют слабую интенсивность [8], поэтому их практически невозможно увидеть при искусственном освещении. Для обнаружения полос Брюстера требуется прямое солнечное освещение или рассеянный дневной свет и специальные условия наблюдения: под углом, а не перпендикулярно стеклу, и с затененным пространством за стеклом, при этом, надо смотреть скорее **на** стекло, а не **сквозь** него, что неестественно для нетренированного глаза..

Полной математической модели возникновения данного явления в стеклопакетах пока не существует, однако известно, что при замене в стеклопакете одного стекла любым стеклом из другой партии, эффект интерференции пропадает.

Все мировые и российские нормы и стандарты по остеклению также не рассматривают данное явление как дефект остекления, тем более, что оно не является сильно выраженным, постоянным и неизменным его атрибутом. В частности, в европейском стандарте на стеклопакеты имеется прямое указание на то, что данное явление не считается дефектом: **EN 1279-1**, приложение С, п. **С1.1**.

Таким образом, существуют разные причины появления радужности в остеклении, и, как видно из представленного обзора, большинство из них обусловлено дефектом продукции, и могут быть устранены. Тем не менее, имеют место и объективно неустраняемые причины возникновения интерференционных явлений (но, как правило, вы-

раженных менее отчетливо). Поэтому в каждом конкретном случае необходим анализ природы указанного явления и причин, его вызывающих.

### Литература

1. ГОСТ 111-2001. Стекло листовое. Технические условия.
2. ГОСТ 24866-99. Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия.
3. ГОСТ 30698-2000. Стекло закаленное строительное. Технические условия.
4. EN 1279-1:2004. Стекло в строительстве – Стеклопакеты – Часть 1:Общие положения, допуски на размеры и правила описания системы.
5. EN 12150-1:2000. Стекло в строительстве – Закаленное натрий-кальций-силикатное стекло – Часть 1:Определение и описание
6. EN 1863-1:2000. Стекло в строительстве – Термоупрочненное натрий-кальций-силикатное стекло – Часть 1:Определение и описание.
7. Nakert K. Optische Interferenzen bei Mehrscheiben-Isolierglas// Glaswelt. 1977, 4. P.191-192.
8. Глудушко О.А., Чесноков А.Г. К вопросу о явлении интерференционного окрашивания в стеклопакетах. Светопрозрачные конструкции // 2003. - №2. – с.63-65