

**ФГБОУ ВПО «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

*На правах рукописи*



**Дайнеко Виктория Владимировна**

**ДИЗАЙН ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА В ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГА**

**Специальность: 17.00.06 – Техническая эстетика и дизайн**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –

доктор физ.-мат. наук, профессор

Калихман Аркадий Давидович

Иркутск - 2015

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....  | 4  |
| <b>ГЛАВА 1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА В ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГА</b> .....                                    | 10 |
| <b>1.1. Область применения декоративных изделий из стекла, выполненных в технологии фьюзинга</b> .....                     | 10 |
| <b>1.2. Виды художественной обработки стекла</b> .....   | 12 |
| <b>1.3. Оборудование для изготовления изделий из стекла в технологии фьюзинга. Приборы учета и измерения изделий</b> ..... | 19 |
| <b>1.4. Этапы обработки стекла в технологии фьюзинг</b> .....  | 25 |
| <b>ГЛАВА 2. ТИПОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА В ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГА И ДЕФЕКТЫ СПЕКАНИЯ</b> .....                  | 31 |
| <b>2.1. Образцы декоративных изделий из стекла</b> .....   | 31 |
| <b>2.2. Стекло. Виды стекла</b> .....  | 36 |
| <b>2.3. Декоративные изделия из стекла. Режимы спекания образцов</b> .....   | 49 |
| <b>2.4. Дефекты изделий из стекла</b> .....  | 55 |
| <b>2.5. Экспериментальное исследование дефектов</b> .....  | 60 |
| <b>ГЛАВА 3. КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕТЛЕОБРАЗНЫХ ПОДВЕСОВ</b> ....               | 68 |
| <b>3.1. Формы и размеры образцов</b> .....   | 68 |
| <b>3.2. Предлагаемая методика испытаний креплений</b> .....  | 75 |
| <b>3.3. Анализ проведенных испытаний и изготовление изделий по полученным результатам</b> .....                            | 77 |
| <b>3.4. Влияние температуры при спекании на размеры технологических отверстий</b> .....                                    | 84 |
| <b>ГЛАВА 4. ЦВЕТНОЕ СТЕКЛО. МЕТОДИКА ПОДБОРА ЦВЕТНОГО СТЕКЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕКОРАТИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ</b> .....                | 94 |
| <b>4.1. Состав цветного стекла</b> .....   | 94 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>4.2. Способы подбора цвета стекла с использованием современных<br/>цветовых систем .....</b> | <b>96</b>  |
| <b>4.3. Изменение цвета стекла после обработки при высоких<br/>температурах .....</b>           | <b>111</b> |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>   | <b>114</b> |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>   | <b>116</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

Процесс изготовления художественных изделий из стекла в настоящее время реализуется преимущественно в следующих технологиях обработки стекла: в горячем состоянии теплом и в холодном. Относящаяся к обработке стекла в теплом состоянии технология спекания или фьюзинга допускает получение сложных и оригинальных форм, рисунков, цветовых решений. Достаточная гибкость в управлении технологическими режимами изготовления изделий обеспечивает необходимое качество изделия и способствует достижению важных эстетических свойств.

Изготовление художественных изделий из стекла в технологии спекания является достаточно распространенным. Спеканием получают как готовые для дизайна интерьеров предметы, так и полуфабрикаты, например в виде унифицированных декоративных элементов, фактурных составляющих и вставок. Они встречаются в деталях мебели, остеклении дверей, межкомнатных перегородках, витринах, панно, подвесных потолках, оформлении зеркал и являются одним из наиболее распространенных средств декорирования интерьеров и формирования его художественной выразительности.

Отдельную группу составляют находящие все более широкое применение несущие конструкции из стекла, образующие архитектурную среду в виде ступеней лестниц, ограждений лестничных пролетов, ниш, перегородок, подиумов, ограждений балконов и лоджий. Реализация средовых проектов с применением стекла в различных формах предполагает учет функциональных требований к интерьеру, существующих отделочных и декоративных материалов. Однако традиционным остается художественное остекление, которое не всегда связано с конструкцией здания.

Наибольшее распространение в современной художественной обработке стекла получило его спекание в специальной печи – фьюзинг, при котором на прямоугольный или фигурный лист прозрачного или цветного стекла кладутся цветные стеклянные детали, крошка, нити, и из них создается тематический сюжет.

В целом процесс сводится к трем основным фазам, от вариации которых и зависит результат: это нагрев, поддержание нужной температуры в течение некоторого времени и постепенное охлаждение стекла. Все стекла различаются по своему химическому составу и физическим свойствам, таким как коэффициент температурного расширения ТКЛР. Эти различия не позволяют спекать друг с другом стекла с разными значениями ТКЛР, поэтому при работе в технике спекания в первую очередь важно учесть совместимость стекол. Стекла с различными свойствами при застывании образуют внутренние напряжения, приводящие к появлению трещин в готовом изделии, созданном без учета технических особенностей материала.

**Актуальность исследования.** Использование относительно невысоких температур на короткое время позволяет спекать стекла, сохранив их четкие очертания и рельеф. Техника фьюзинга также позволяет внедрять между слоями стекла различные материалы, такие как фольга или проволока. Это дает простор для фантазии, возможность художникам и дизайнерам по стеклу делать творческие работы в большом диапазоне сочетаний материалов, пластики, цвета.

Возросший интерес к использованию художественного стекла в дизайне и декорировании интерьера подразумевает совершенствование технологий фьюзинга или спекания при температурах в пределах 740–850 °С, что позволяет выполнять работы в единичных экземплярах на сравнительно простом оборудовании, проводить эффективный поиск новых решений для художественных изделий из стекла. Это способствует расширению возможностей получения заданных форм фактуры и рельефа поверхности изделий, цветовых характеристик тона и насыщенности, включения в тело изделия металлических деталей, увеличения масштаба деталей декорирования.

Актуальными задачами исследования процесса спекания художественных изделий из листового стекла в настоящее время можно считать получение обоснованных рекомендаций по точности передачи цветовых соотношений, по влиянию режимов термической обработки и ряда других факторов на

эстетические свойства изделий, разнообразию видов крепления изделий, а также повышение надежности крепления петлевых подвесов из металла, внедряемых в стекло.

**Степень научной разработанности проблемы.** Проблемы технологии художественной обработки стекла рассматривались в работах многих исследователей. В их числе Алексеенко М. П., Бессмертный В. С., Галимов Э. Р., Гулоян Ю. А., Дворникова О. К., Ермоленко Н. Н., Зимин В. С., Зубехин А. П., Казакова Л. В., Клиндт Л. В., Кудряков О. В., Лазарева Е. А., Литвиненко С. В., Легошин А. Я., Матосян Л. С., Мотовилова М. В., Панкова Н. А., Рашин Г. А., Саркисов П. Д., Сергеев Ю. П., Солинов В. Ф., Солнцев С. С., Морозов Е. М., Соловьев С. П., Сильвестровича С. И. Существенный вклад в исследования обработки листового стекла методом спекания и остаточного напряжения внесли работы Сурниной Н. А., Цумпе К. А., Шелби Дж., Шпачека Я., Шульца М. М. Энтелиса Ф. С.

Однако в публикациях нет системного исследования, устанавливающего связь между режимами термической обработки стекла и точности передачи цветовых соотношений. Кроме того, отсутствует информация о важном для хрупких изделий из стекла вопросе их фиксации и крепления с сохранением эстетических качеств этих изделий. Недостаточно изучены и возможности получения заданных форм фактуры и рельефа поверхности изделий, цветовых характеристик тона и насыщенности, включения в тело изделия металлических деталей.

Исходя из вышесказанного, актуальность исследования технологии фьюзинга в настоящее время определена, во-первых, необходимостью получения обоснованных рекомендаций по точности передачи цветовых соотношений при спекании листового стекла и других элементов композиции, во-вторых, в выявлении влияния режимов термической обработки и ряда других факторов на эстетические свойства изделий и, в-третьих, в решении проблемы надежности крепления петлевых подвесов из металла, внедряемых в стекло.

**Цель работы** – совершенствование дизайна изделий из стекла, выполняемых в технологии фьюзинга, на основе оптимизации конструкции и прочностных характеристик креплений типа петлеобразных подвесов и сквозных отверстий, использования системы натуральных цветов для формирования колористических характеристик изделий.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Изучение типологии художественных изделий из стекла в технологии фьюзинга и их классификация по видам и формам.

2. Анализ режимов спекания и условий появления дефектов прозрачности и деформаций формы изделий при внедрении креплений.

3. Разработка конструктивных решений петлевых металлических подвесов и экспериментальная проверка надежности креплений подвесов художественных изделий из стекла, сохранение при спекании положения исходных технологических отверстий для крепления изделий.

4. Разработка методики подбора цветного стекла для создания декоративной композиции с применением современных цветовых систем и технологий поиска гармонических сочетаний.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Дана типология художественных изделий из стекла в технологии фьюзинга в зависимости от средовых факторов.

2. Определены условия совместимости спекаемого стекла для различных образцов и причины появления дефектов прозрачности и формы при внедрении креплений.

3. По результатам испытаний на образцах с различными длинами подвесов из металла в стеклянном теле и вне стекла получены оптимальные параметры конструкции креплений, условия перехода металла от упругой к пластической деформации. Определены условия сохранения при спекании положения технологических отверстий для крепления изделий.

4. Определены условия сохранения цветовых характеристик стекла после спекания в различных цветовых системах, дано обоснование метода подбора цветного стекла для создания декоративной композиции.

**Практическая значимость работы:**

1. Даны рекомендации по использованию цветовых систем при подборе цветного стекла для создания художественных изделий.

2. Практические рекомендации по предупреждению и выявлению дефектов при спекании даны в виде таблиц с основными технологическими показателями, важными для контроля процесса изготовления.

Материалы исследования используются на кафедре архитектурного проектирования ИрГТУ при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплинам «Основы дизайнерского проектирования и композиционного моделирования», «Предметное наполнение архитектурной среды».

**Методология и методы исследования.** Исследование дизайна изделий из стекла в технологии фьюзинга основывается на анализе технических данных стекла и его цветовых характеристик, использовании технологии и методики экспериментальной проверки надежности крепления изделий на электромеханической испытательной машине INSTRON 5989, подборе цвета посредством современных сетевых графических программ цветовых систем и приложений.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Типология художественных изделий из стекла в технологии фьюзинга и их классификация по видам и формам.

2. Условия совместимости спекаемого стекла для различных образцов и причины появления дефектов прозрачности и формы при внедрении креплений.

3. Результаты испытания креплений на образцах с различными длинами подвесов из металла в стеклянном теле и вне стекла и определение оптимальных параметров конструкций крепления, условия перехода металла от

упругой к пластической деформации, условия сохранения при спекании положения технологических отверстий для крепления изделий.

4. Обоснование метода подбора цветного стекла для создания декоративной композиции и условий сохранения цветовых характеристик стекла до и после спекания с применением современных цветовых систем и технологий поиска гармонических сочетаний.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационного исследования обсуждались на международных научно-практических конференциях: III Международной научно-практической конференции «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия», (г. Новосибирск, 2014 г.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы технических наук» (г. Уфа, 2014 г.); Международной научно-практической конференции «Технические науки в мире: от теории к практике» (г. Ростов-на-Дону, 2014 г.); VII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы развития инновационной деятельности в новом тысячелетии», а также частично опубликованы в международном научно-популярном вестнике «Европа-Азия» (г. Москва, 2014 г.).

Теоретические положения и практические материалы диссертационного исследования используются на кафедре архитектурного проектирования в Институте архитектуры и строительства ИрГТУ на лекциях и практических занятиях по таким дисциплинам, как «Современные пространственные и пластические искусства», «Основы архитектурно-дизайнерского проектирования и композиционного моделирования». Основные результаты диссертационного исследования изложены в печатных работах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 125 страниц машинописного текста. Работа содержит 14 таблиц, 70 рисунков. Список использованной литературы включает в себя 105 наименования.

# ГЛАВА 1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕКОРАТИВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА В ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГА

## 1.1. Область применения декоративных изделий из стекла, выполненных в технологии фьюзинга

Декоративные изделия из стекла являются одним из наиболее распространенных средств декорирования интерьера. Но, являясь элементами декора, они выполняют и функции несущих конструкций в интерьере [30].

Многие известные архитекторы и дизайнеры считали применение стекла наиболее выгодным. Можно выделить несколько групп художественных изделий, выполненных из стекла. Одной из них являются несущие конструкции, образующие архитектурную среду и являющиеся ее неотъемлемой частью (рисунок 1) [99]. В современном зонировании интерьера такие конструкции получили широкое распространение: в интерьере применяются стеклянные перекрытия, вставки в конструкции стен, ступени, лифты. Распространено сегодня и художественное декорирование стеклом окон и дверей. Очень часто стекло сочетают с металлом, наиболее красивыми и интересным являются кованые перила, ворота со вставками из цветного стекла, показанные на рисунке 2 [98]. Также стекло в качестве несущей конструкции стали применять в последнее время и при изготовлении мебели: стеклянные столешницы, полки, декоративные «фартуки» в оформлении кухонной мебели можно встретить практически в каждой квартире (рисунок 3) [98].

На рисунке 4 [98, 100] показаны декоративные изделия из стекла, не имеющие конструктивной функции в интерьере, – это светильники, подсвечники, посуда, сувениры, панно, картины.



*а)*

*б)*

*в)*



*г)*



*д)*

Рисунок 1 – Стекланные конструкции, образующие архитектурную среду:  
*а* – стеклянный пол; *б* – стеклянный подиум; *в* – декоративная  
 витражная вставка в межкомнатный проем; *г* – стеклянная межкомнатная  
 стена; *д* – стеклянная декоративная стена



*а)*

*б)*

*в)*

Рисунок 2 – Сочетание металла и стекла:  
*а* – стеклянная вставка в кованое лестничное ограждение; *б* – декоративная  
 рыба с кованой подставкой; *в* – заслонка для камина «Павлин» (кованый  
 каркас со вставкой из цветного стекла)



*а)*

*б)*

*в)*

Рисунок 3 – Стекланная мебель:  
*а* – стеклянные столешницы; *б* – кухонный фартук; *в* – мебель со  
 стеклянными вставками



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Декоративные изделия из стекла:  
а – часы; б – стеклянный сосуд; в – стеклянная люстра, стеклянный  
фейерверк (автор Дэйл Чихули)

Таким образом, стекло, подвергнутое художественной обработке, широко применяется для создания и оформления интерьеров в качестве декоративно-конструкционного и отделочного материала.

## 1.2. Виды художественной обработки стекла

По способу изготовления изделия из стекла делятся на несколько групп. Выделим следующие:

- прессованные (розетки, салатники, стеклоблоки);
- выдувные (вазы, штофы, бутылки);
- прессовыдувные (стеклоблоки, стаканы);
- изделия, изготовленные способом вытягивания (листовое, профилированное стекло, облицовочная плитка);
  - изделия, изготовленные центробежным способом (бытовая посуда, конусы, кинескопы).
- изделия, изготовленные механизированными (машинными) способами (массовые изделия из стекла: бытовая посуда, листовое стекло);
- изделия, изготовленные ручными способами (художественно-декоративные).

Изделия из стекла бывают цветными и бесцветными. По назначению стеклянные изделия можно разделить на бытовые, технические, промышленные, архитектурно-строительные и специальные.

На сегодняшний день существуют различные способы и виды декорирования стеклянных изделий. Наиболее распространенными являются покрытие поталью (латунная фольга – сплав меди и цинка, реже золота, меди и алюминия), имитация сусального золота (нанесение на специальный клей для потали тонких листов металлов или сплавов до 0,003 мм, после нанесения изделие покрывают лаком). Роспись уже готовых изделий осуществляется специальными красками, которые высыхают на открытом воздухе или обрабатываются в печи для фиксации. В процессе изготовления изделия могут декорировать: гравировать, обрабатывать химическим травлением, наносить на стекло и зеркала фотоизображения – делать фотопечать (рисунок 5) [97]. В отдельную группу выделяют уникальные высокохудожественные изделия [4, 28, 33].



*a)*



*б)*



*в)*

Рисунок 5 – Декорированные изделия из стекла:  
*a* – сосуды для духов; *б* – журнальный столик с гравировкой;  
*в* – фотопечать на стекле

Для получения художественных изделий, обладающих различными эстетическими, эргономическими и механическими характеристиками, существуют технологии, позволяющие обрабатывать стекло при различных температурах [8, 16, 57]. Можно условно разделить эти технологии на несколько групп: технология обработки стекла в горячем (рисунок 6, а), теплом (рисунок 6, б) и холодном состоянии (рисунок 6, в) [97, 99].

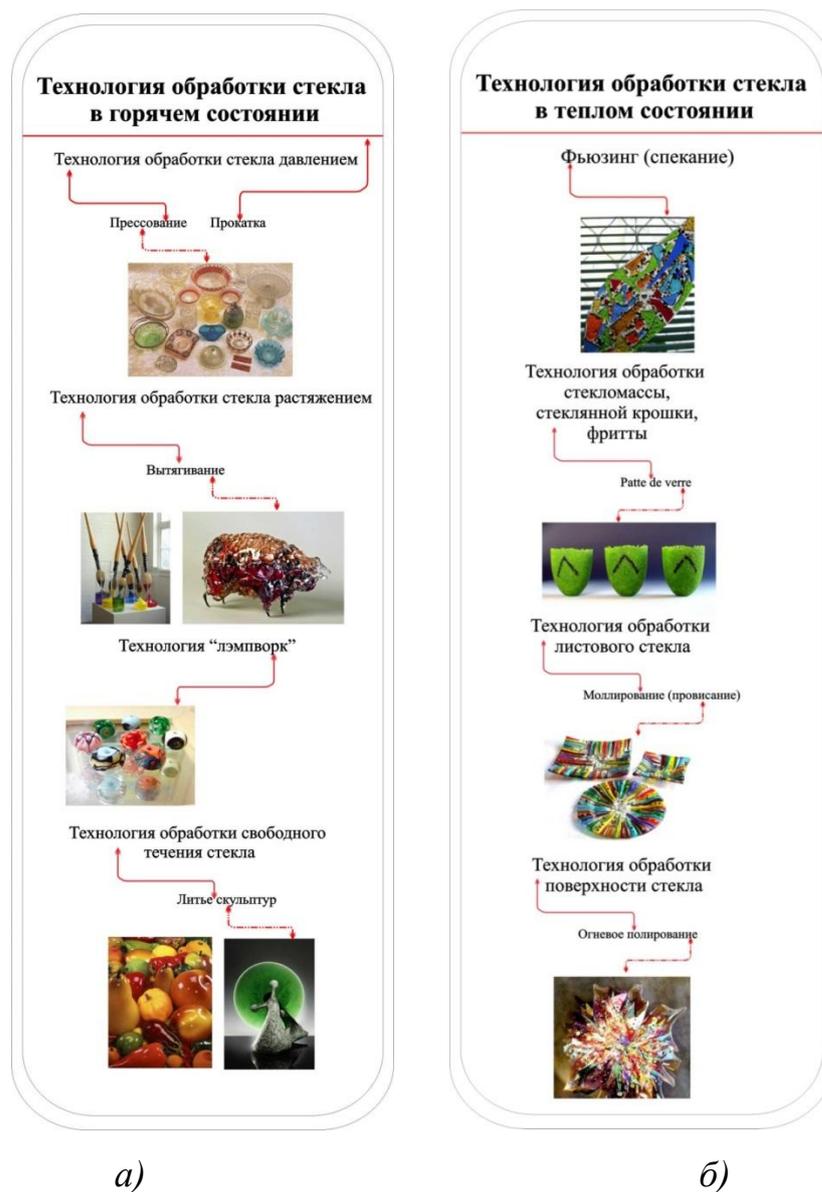


Рисунок 6 – Технология обработки стекла в горячем (а), теплом (б) и холодном (в) состояниях (начало, см. также с. 15)

## Технология обработки стекла в холодном состоянии

Механическая обработка  
поверхности стекла

Обработка скалыванием, резанием



Электрическая  
обработка  
поверхности стекла

Электродное гравирование



Химическая  
обработка  
поверхности стекла

Химическое матирование



Физическая  
обработка  
поверхности стекла

Гравирование лазером



в)

Рисунок 6 – Технология обработки стекла в горячем (а), теплом (б) и холодном (в) состояниях (окончание, см. также с. 14)

Технология обработки стекла в горячем состоянии – это стекло, приобретающее форму при остывании после его предварительного расплавления свыше 1000 °С; Технология обработки стекла в теплом состоянии формируется при температурах от 600 до 900 °С; Технология обработки стекла в холодном состоянии обрабатывается механическим или химическим способом при комнатной температуре (гравировка, пескоструйная обработка, травление и т.д.).

Каждая из этих технологий подразумевает различные способы и приемы декорирования стекла. При технологии обработки стекла в горячем состоянии можно получать изделия разных форм и размеров: от самых простых до сложных. Существуют способы обработки горячего стекла как при помощи машин, так и вручную. Можно выделить несколько подгрупп: гута – это изготовления из горячего стекла выполненных вручную декоративных предметов; стеклодувный способ обработки подразумевает создание изделий путем обработки горячей стекломассы, обработку давлением, растяжением, свободным течением и комбинированную обработку (рисунок 7) [23, 26, 34, 44, 98, 99].



*a)*

*б)*

*в)*

Рисунок 7 – Изделия из горячего стекла:  
*a* – декоративное изделие из стекла, выполненное вручную;  
*б* – декоративное изделие «Шар», выполненное методом выдувания;  
*в* – выставочный декор

Обработку стекла в теплом состоянии можно также подразделить на несколько групп:

1. Обработка верхнего слоя стекла: огневое полирование, прочесывание, обжиговая живопись, «пулогезо» (особый вид обработки стекла, при котором внутри изделия создаются пузырьки, в основном ее применяют для изготовления украшений).

2. Обработка стекла для получения объемных изделий: *patte de verre* – древняя технология, придуманная еще в Египте и получившая новую жизнь уже в современной обработке стекла (печную отливку, стекольную отливку), отекание (свободное формование), моллирование (провисание) – технология для получения объемных изделий из листового материала;

3. Спекание – объединение отдельных стеклянных элементов в одно в плоскости.

4. Комбинированная обработка – отдельная группа, которая включает в себя несколько видов обработки стекла [8, 44, 46, 63, 73, 75, 93].

Обработку изделий из стекла в холодном состоянии осуществляют при комнатной температуре. В рамках этой технологии можно выделить пять подгрупп [4, 7, 8, 10, 23, 28, 58,]: механическая, физическая, химическая, электрическая, комбинированная. Технологии обработки стекла в холодном состоянии обладают значительно меньшей способностью к формообразованию самого изделия по сравнению с технологиями изготовления изделий в горячем и теплом состоянии.

Технологиями холодной обработки стекла можно создать небольшой рельеф, поэтому такую обработку применяют для создания сложного уникального декора на уже готовом изделии. Такая обработка позволяет получить на поверхности стеклянных изделий шероховатую, матовую, блестящую фактуру, а также создать неповторимый рисунок с применением тонких прямых линий и острых граней. Технологи обработки стекла в холодном состоянии получили широкое распространение при изготовлении небольшого количества художественных изделий, так как они не требуют сложного дорогостоящего оборудования. Также к холодной обработке стекла относится

нанесение на изделие специальных пленок и декоративных элементов [3, 49, 60, 91, 101]. На рисунке 8 [96, 97] изображены изделия из стекла, выполненные различными методами в технологии фьюзинга.



*а)*



*б)*



*в)*



*г)*

Рисунок 8 – Изделия из стекла, выполненные методом фьюзинга с использованием различных технологий:

*а* – отекание; *б* – моллирование;  
*в* – спекание; *г* – спекание в стеклоформах и гравировка

### **1.3. Оборудование для изготовления изделий из стекла в технологии фьюзинга. Приборы учета и измерения изделий**

Основным оборудованием, необходимым для изготовления изделий из стекла в технологии фьюзинга, является печь. Печь для фьюзинга представляет собой прибор для спекания и формования стекла. Процесс спекания осуществляется при температуре от 600 до 850 °С.

*Виды печей для фьюзинга.* По типу питания печи делятся на два типа: газовые и электрические. Для фьюзинга лучше использовать электрические печи: они идеально подходят для работы с теплым стеклом. Для работы со стеклом можно использовать и печи, которые предназначены для обработки керамики, но в таких печах велика вероятность получения дефектов изделия, особенно это связано с расположением нагревательных элементов: в таких печах они расположены по бокам рабочей камеры, и это часто приводит к неоднородному нагреву [3, 31, 33, 57]. К тому же рабочая камера в печах для керамики располагается достаточно высоко.

По способу загрузки печи можно разделить на два вида: с фронтальной и верхней загрузкой. Печи с фронтальной загрузкой очень удобны, особенно для прочесывания и печной отливки. Крайне важно, что такие печи оснащены дополнительным оборудованием – это позволяет мастеру безопасно открыть печь при принудительном формовании [57].

Важными характеристиками печи являются размер рабочей камеры и максимальная температура нагрева. От размера печи зависит скорость достижения плавления стекла. Высота рабочей камеры в печи варьируется от 200 до 600 мм. [3, 57]. Виды печей для фьюзинга приведены на рисунке 9.

*Конструкции печей для фьюзинга.* Для основания печи служит П-образная рама из труб с опорами. Рабочая камера помещается в сварном или сборном каркасе, в который монтируется многослойная теплоизоляция и нагревательные элементы.



*а)*

*б)*

*в)*

Рисунок 9 – Виды печей для фьюзинга:

*а* – печь чемоданного типа с боковым термоконтроллером и готовыми изделиями; *б* – настольная печь со встроенным в дно термоконтроллером; *в* – настольная печь со встроенным в крышку термоконтроллером

Для облегчения открывания крышки и удержания ее в открытом положении конструкцию печи снабжают пневматическими или гидравлическими амортизаторами. В печах используются два вида нагревателей – это нихромные спиральные элементы в кварцевых или керамических трубах. Управления печами преимущественно ручное, но некоторые оборудованы встроенным микропроцессором и могут управляться через компьютер. Контроллеры для печи позволяют задавать нужную температуру и временной режим. Внутренняя часть печи – подложка – изготавливается из минерала класса силикатов и имеет температуру плавления 1810 °С.

Печная подложка представляет из себя плоскую пластину, которая немного меньше рабочей камеры. Для наиболее длительного использования подложки и для того, чтобы избежать прилепания к ней расплавленной стекломассы, подложку смазывают глазурью, специальным химическим составом или покрывают термостойкой бумагой из керамического волокна. [17, 66, 57]. Схема печи для фьюзинга изображена на рисунке 10.

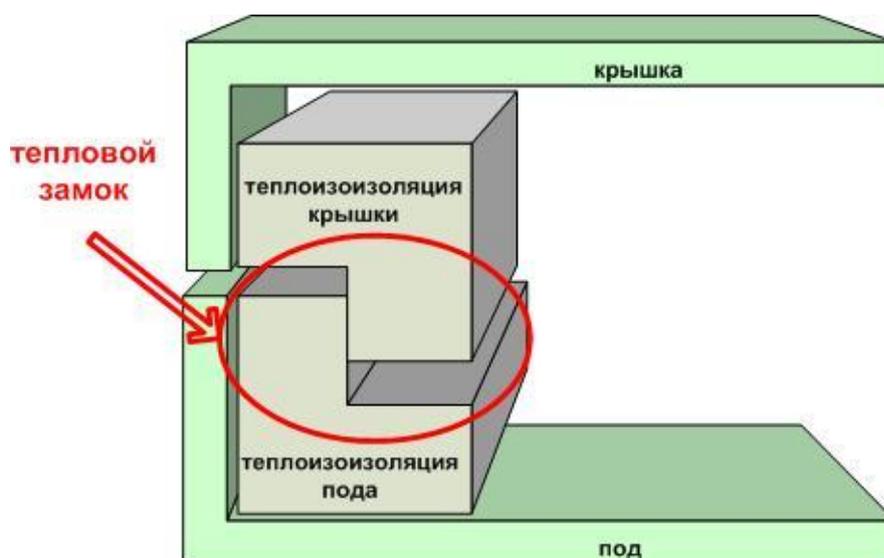


Рисунок 10 – Схема печи для фьюзинга

В таблице 1 представлены конструктивные особенности печи для фьюзинга и моллирования. Все печи имеют один конструктивный принцип как внутренней, так и внешней части за исключением расположения рабочей зоны и термоконтроллера.

Таблица 1 – Особенности конструкции печи для фьюзинга, обеспечивающие качественное изготовление изделий

| Конструкция<br>1     | Конструктивные особенности<br>2   |
|----------------------|---|
| Жесткая рама станины | Легкая сварная рама из профилей прямоугольного сечения обеспечивает высокую жесткость конструкции станины, а также долговечность эксплуатации печи  |
| Двойной корпус печи  | Корпус печи состоит из двух частей. Нижняя часть корпуса предназначена для укладки спекаемых элементов стекла. Верхняя откидывающаяся часть корпуса печи предназначена для установки нагревательных элементов и обеспечивает процесс спекания. Подъем и опускание верхней части камеры производится вручную |

| 1  | 2   |
|--|---|
| Жаропрочное покрытие внутренней части                | Внутренняя часть корпуса печи выполнена из специальных жаропрочных материалов, обеспечивающих сохранение и поддержание в течение определенного времени заданного программатором температурного режима при работе. Сокращается потеря тепла и предотвращается нагрев наружных поверхностей корпуса печи  |
| Герметичное соединение двух частей корпуса           | Плотное герметичное соединение двух частей корпуса печи обеспечивается ручными зажимами. Предотвращается потеря тепла при нагреве и работе печи   |
| Сменные керамические трубки нагревательных элементов | В качестве нагревательных элементов используются керамические трубки, обеспечивающие достаточно большую температуру нагрева внутренней камеры печи до 1100 °С. Осуществляется удобный и быстрый съем нагревательных элементов при их замене.  |
| Криволинейные шаблоны                                | Возможна установка в нижней рабочей части камеры печи криволинейных шаблонов для спекания изделий сложной формы   |
| Контроллер-программатор                              | Управление работой печи осуществляется с помощью контроллера-программатора. Гифрановый датчик обеспечивает контроль фактической температуры и температуры, задаваемой программатором. Обеспечивается установка и поддержание различной температуры нагрева до 1100 °С в зависимости от структуры и состава стекла.<br>С помощью программатора задаются наиболее оптимальные режимы работы печи (время нагрева – выдержка при заданной температуре – отключение печи). Позволяет получать высокую эффективность спекания при низких затратах энергии. В базе данных программатора имеется возможность сохранения нескольких режимов работы |
| Комплектующие изделия                                | Комплектующие изделия, используемые в системе управления работой печи, ведущих европейских производителей. Обеспечивается надежность работы печи и долговечность эксплуатации   |

Вспомогательными инструментами для изготовления изделий из стекла являются инструменты для резки и ломки стекла, представленные на рисунке 11.



Рисунок 11 – Вспомогательные инструменты для резки стекла

В данном исследовании применялась печь для фьюзинга и моллирования стекла толщиной до 10 мм KFM-800E. Общий вид такой печи дан на рисунке 12. В печи имеется верхняя поднимаемая крышка, в которой смонтированы нагреватели. Нижняя часть печи предназначена для установки обрабатываемого стекла. Печь, используемая нами для создания образцов, оснащена термоконтроллером TCS-300, который управляет всем технологическим процессом (рисунок 13) [24,57, 79,86].



Рисунок 12 – Общий вид печи для фьюзинга и моллирования стекла KFM-800E



Рисунок 13 – Общий вид печи для фьюзинга и моллирования стекла KFM-800E с термоконтроллером

*Конструкция печи для фьюзинга и моллирования стекла KFM-800E.* Основанием прямоугольных печей с верхней нагрузкой обычно служит П-образная рама из труб прямоугольного сечения с опорными площадками. Рабочая камера помещается в сварном или сборном каркасе из металлического профиля, в котором монтируется многослойная теплоизоляция – футеровка и нагревательные элементы. Для удерживания крышки печи в открытом состоянии ее часто снабжают пневматическими или гидравлическими амортизаторами (демпфирующими механизмами) [57, 84]. Технические параметры печи для фьюзинга и моллирования KFM-800E описаны в таблице 2.

Таблица 2 – Технические параметры печи для фьюзинга и моллирования KFM-800E

|  |                |
|--|----------------|
| Размер рабочей зоны, мм                  | 800×600×230    |
| Потребляемая электрическая мощность, кВт | 5              |
| Режим обработки                          | автоматический |
| Максимальная температура в печи, °С      | 950            |
| Количество независимых зон нагрева       | 1              |
| Внешние габариты, мм                     | 950×1100×1500  |
| Масса, кг                                | 180            |

Для проведения планируемых в работе экспериментов выполнялись серии образцов, размеры которых контролировались с помощью специальных инструментов до и после запекания.

Измеряли размеры пластин, размеры между отверстиями и их диаметр до спекания и после, а также толщину образцов при помощи электронного штангенциркуля с пределом измерения 0–150 мм и точностью 0,01 мм, электронной рулетки DISTO D2, а также цифрового микрометра с точностью до 0,001 мм. Предел измерения микрометра – 25 мм.

При работе в технике фьюзинга использовалось устройство, позволяющее отследить стресс в изделии (стрессометр). Стресс в стекле отображается в виде светлого пятна (исправить его уже нельзя). Модель стрессометра Hot Line 4813 работает на просвет, т. е. снизу расположена подсветка, а сверху с помощью пластинки-анализатора можно рассматривать поляризационную картинку, на которой видны белые и темные области. Белыми являются области напряжений в стекле, в которых возможны потом трещины [15, 57, 68].

В процессе фьюзинга между несовместимыми стеклами возникает напряжение, которое может привести к растрескиванию изделия. Чтобы избежать растрескивания, с помощью пластины Hotline стекла проверяются на совместимость.

#### **1.4. Этапы обработки стекла в технологии фьюзинг**

Как и любой технологический процесс, фьюзинг имеет свои этапы. Различают этап ручной работы над эскизом изделия, вырезания подложки и цветных элементов, изготовления изделия непосредственно в печи. Обработка стекла в процессе изготовления и декорирования художественных изделий предусматривает использование технологий спекания в состояниях так называемого теплого стекла с температурами в пределах 600–900 °С, поскольку при спекании происходит термическое соединение в целое отдель-

ных элементов. При этом необходимо учитывать требования сохранения или незначительного изменения формы элементов и их взаимного расположения [2, 57, 37].

Реализация проектных разработок предваряется испытаниями совместимости планируемых к использованию стекол, которая подразумевает их равенство или близость по степени расширения (сжатия) при нагреве (охлаждении). Основным параметром является температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) – относительное удлинение образца стекла при нагреве на один градус с учетом диапазона температур, в котором он измеряется. ТКЛР практически единственный технологический показатель, указываемый производителем стекла, по которому определяется совместимость разных стекол. Различия ТКЛР (даже незначительные) могут приводить к возникновению внутренних напряжений в спекаемых образцах, риску образования трещин или полному разрушению изделия после охлаждения. Диапазон изменений показателя ТКЛР находится в большинстве случаев в интервале от  $10^{-6}$  до  $50 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ . В технологиях обработки стекла принято использовать множитель  $10^{-7} \text{ К}^{-1}$ , который обычно опускается в маркировке стекла, и сохраняются только значимые цифры перед множителем [40].

Существует четыре больших группы пригодных для фьюзинга стекол: группа «флоат» с ТКЛР (СОЕ) 82–84, группа стекол с ТКЛР (СОЕ) 90, система 96, группа стекол с ТКЛР (СОЕ) 104, где цифры соответствуют показателю расширения без множителя. Распространенной является маркировка с обозначением СОЕ (Coefficient of Expansion – коэффициент расширения).

В рассматриваемых ниже изделиях использовалось листовое стекло (прозрачное и матовое), цветное листовое стекло (узорчатое), цветное стекло (мелкая фритта, средняя фритта, осколки, мозаика, миллефиори). Основные характеристики стекла, и температурные показатели приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Температура обработки стекла для фьюзинга

| Наименование стекла                          | ТКЛР (COE) | Температура отжига, °С | Температура обработки, °С | Температура для создания изделий (программа TCS), °С |
|--|------------|------------------------|---------------------------|--|
| Стеклоподложка Spectrum (цветное)            | 96         | 490–520                | 850–950                   | 650–750  |
| Стеклоподложка Spectrum 100 SFS              | 96         | 480                    | 1000                      | 650–750  |
| Стеклоподложка Spectrum 100 RFS (текстурная) | 96         | 480                    | 1000                      | 650–750  |
| Стекланные полоски Uroboros 111              | 96         | 420                    | 850                       | 650–750  |
| Стекланные камушки Yellow                    | 96         | 420–480                | 750                       | 650–750  |
| Стекланные камушки Pebbles                   | 96         | 420–480                | 750                       | 650–750  |
| Стекланные камушки ХРЕВ-MIX                  | 96         | 420–480                | 850                       | 650–750  |

Необходимо учитывать перечисленные выше особенности материала при обработке его в технике фьюзинга.

Обработка изделия в технологии фьюзинга состоит из нескольких технологических этапов, имеющих разные температурно-временные характеристики.

*Фаза нагрева стекла.* Стекло нагревается до температуры, при которой протекают процессы фьюзинга.

Нагрев ведется от комнатной температуры до 650–920 °С в зависимости от типа процедуры. На этом этапе стекло переходит из твердого состояния в мягкое, приобретает ярко-красный цвет. Края соприкасающихся стекол начинают прилипать друг к другу.

Полный фьюзинг, т. е. слияние двух стекол в одно, происходит, когда температура достигает 800 °С.

В этой фазе мы можем выделить два вида спекания: приметочное, при котором происходит процесс отекания, и полное спекание, при котором все детали сливаются в одно. Если необходимо сделать почесывание, то температуру необходимо повысить до 950 °С и специальным инструментом – гребенкой – делать прочесы, при этом получаются необычные смешивания цветного стекла, и изделие становится неповторимым.

С увеличением толщины спекаемых объектов необходимо уменьшать скорость нагрева, а продолжительность выдержки увеличивать [37, 57].

*Фаза томления стекла.* Во время томильной стадии (или стадии выдержки) некоторое время температура поддерживается на определенном уровне. Начинается эта фаза при достижении максимальной температуры заданного цикла в фазе нагрева, то 850 °С до 650 °С. Длительность томления может быть разной.

Выдержка при максимальной температуре необходима для того, чтобы сформировать изделие быстрее, поскольку с повышением температуры вязкость стекломассы снижается, а скорость деформации растет. Максимальная температура выдержки позволяет сократить продолжительность термообработки изделия и избежать кристаллизации стекла.

Продолжительность выдержки зависит от множества факторов: типа стекла, его толщины, желаемой формы, которая задумывалась по эскизу, от того, обрабатывалось ли оно ранее, от технических характеристик печи.

Фаза томления длится от нескольких минут до нескольких часов. Для фьюзинга это залог достижения максимально плоского и гладкого состояния изделия [42, 57].

*Фаза быстрого отжига стекла.* Стадия отжига – этап снятия напряжения в стекле. Когда стекло остывает до температуры 580 °С, оно постепенно приобретает свой цвет, и начинается фаза отжига. «Отжигом» называют процесс, при котором снимается напряжение на стекле. В этой фазе мы можем выделить верхнюю точку отжига, на которой стекло начинает переходить в твердое состояние и его вязкость составляет  $10^{13}$  Пуаз (единица системы сантиметр-грамм-секунда для измерения динамической вязкости) и нижнюю точку отжига, на которой его вязкость составляет  $10^{15}$  Пуаз. Каждый

сорт стекла имеет свою зону отжига. Определить ее можно только экспериментально.

Если процесс прошел правильно и коэффициент расширения стекла был подобран верно, стекло остывает, принимая нужную форму и сохраняя свою прочность [1, 64].

*Фаза охлаждения стекла.* На стадии охлаждения до комнатной температуры стекло постепенно остывает до температуры воздуха в помещении.

Обычно печь остывает естественным путем. Но иногда, если тепло уходит слишком быстро, необходимо притормозить процесс, чтобы избежать раскола изделия при остывании [57].

Температурные режимы, сохраняющиеся при различных видах обработки теплого стекла, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Температурные режимы при различных видах обработки теплого стекла

| Вид обработки теплого стекла | Описание   | Температура, °С |
|------------------------------|--|-----------------|
| Примечное спекание           | Соединение двух или более стеклянных элементов с сохранением формы каждого                 | 730–790         |
| Полное спекание              | Соединение двух и более стеклянных элементов до полного впаивания верхних в нижний элемент | 790–840         |
| Отекание                     | Свободное формование стекла под воздействием собственного веса                             | 650–700         |
| Огневая полировка            | Нагревание стекла для округления кромок и придания блеска                                  | 700–760         |
| Печная отливка               | Формование стекла путем спекания фритты или мелких фрагментов стекла внутри формы          | 820–870         |
| Стеклоотливка                | Формование стекла путем выливания расплавленной стекломассы в форму                        | 930–980         |
| Прочесывание                 | Механическое воздействие на форму стекла при помощи ручного инструмента                    | 900–950         |

Каждая фаза в процессе фьюзинга имеет свою степень оплавления стекла. На рисунке 14 показаны степени спекания образцов при разных температурах и времени выдержки. В зависимости от того, какой требуется эффект, можно подобрать время и режим спекания изделия в печи. Если печь оснащена окном для просмотра, есть возможность просмотра степени спекания и по необходимости более раннего завершения процесса выдержки и отжига.

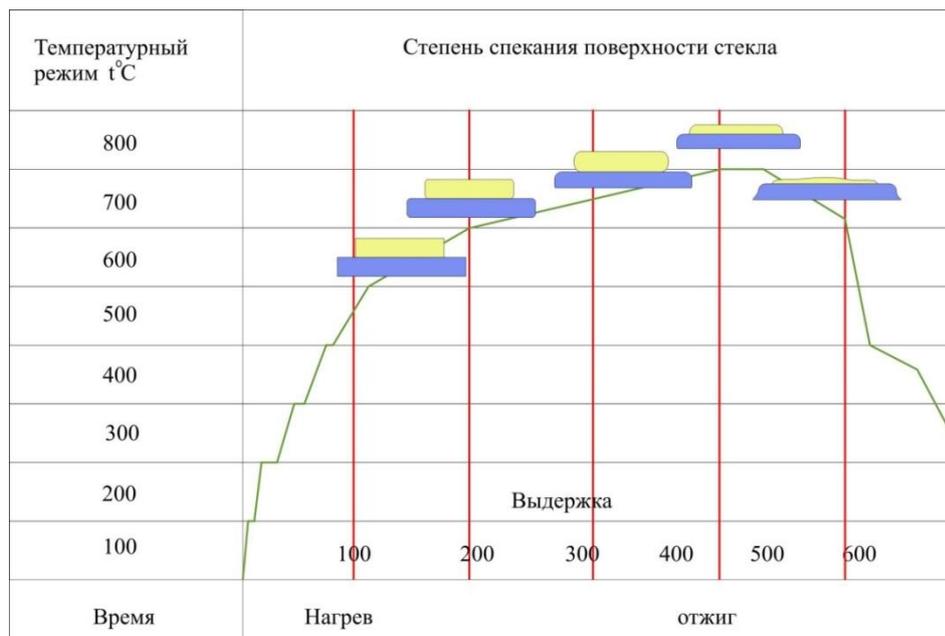


Рисунок 14 – Температурно-временные режимы и степень спекания образца

## ГЛАВА 2. ТИПОЛОГИЯ ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА В ТЕХНОЛОГИИ ФЬЮЗИНГА И ДЕФЕКТЫ СПЕКАНИЯ

### 2.1. Образцы декоративных изделий из стекла

В декоративном оформлении интерьеров часто используются художественные изделия из стекла. Процесс их изготовления связан с технологиями обработки стекла в теплом состоянии и с обработкой стекла в холодном состоянии. Относящаяся к теплой обработке стекла технология фьюзинга допускает получение сложных и оригинальных форм, рисунков, цветовых решений (рисунок 15). Достаточная гибкость в управлении технологическими режимами изготовления изделий обеспечивает необходимое качество и способствует достижению важных эстетических свойств [50, 57].



Рисунок 15 – Образец изделия, выполненного в технологии фьюзинга

Спеканием получают как готовые для дизайна интерьеров предметы, так и полуфабрикаты, например, в виде унифицированных декоративных элементов, фактурных составляющих и вставок (рисунок 16) [67, 99, 102]. В дизайне архитектурных сред подразумевается разностороннее применение

изделий из стекла, учитывающее эстетические, функциональные, утилитарные качества. Такие изделия встречаются в деталях мебели, остеклении дверей, межкомнатных перегородках, витринах, панно, подвесных потолках, оформлении зеркал, являясь одним из наиболее распространенных средств декорирования интерьеров и формирования его художественной выразительности [22, 23, 26, 57, 72].



Рисунок 16 – Стекланные часы, выполненные в технологии фьюзинга

Отдельную группу составляют находящие все более широкое применение несущие конструкции из стекла, образующие архитектурную среду: ступени лестниц, ограждения лестничных пролетов, ниши, перегородки, подиумы, ограждения балконов и лоджий. Реализация средовых проектов с применением стекла в различных формах предполагает учет функциональных требований к интерьеру, существующих отделочных и декоративных материалов. Однако традиционным остается художественное остекление, не всегда связанное с конструкцией здания (рисунок 17) [57, 77, 99, 102].

Изделия, выполненные в технологии фьюзинга, можно разделить на две группы: с подложкой и без подложки.

Для изделия с подложкой необходимо заранее вырезать основу (она может быть любой формы), на которую затем выложить рисунок. В изделиях же без подложки цветные стекла накладываются друг на друга по кругу

или сеткой [57]. Типология изделий, получаемых методом фьюзинга, приведена на рисунке 18 [99, 102].



Рисунок 17 – Декоративные изделия в технологии фьюзинга в интерьере

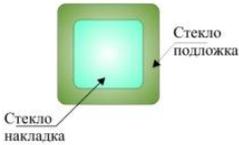
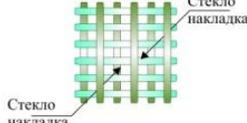
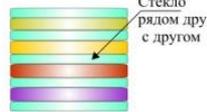
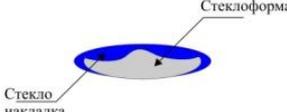
| Типология изделий получаемых методом фьюзинга                                       |   |   |   |
|---|---|---|---|
| Изделия   | Изделия имеющие основу  | Изделия не имеющие основу   | Изделия   |
|   |  <p>Стекло подложка</p> <p>Стекло накладка</p>                            |  <p>Стекло накладка</p> <p>Стекло накладка</p> |   |
|  |  <p>Стекло подложка на рисунке</p> <p>Стекло накладка</p>                |  <p>Стекло рядом друг с другом</p>            |  |
| Изделия   | Изделия имеющие инкрустацию красками  | Технология обработки стекломассы, стеклянной крошки, фритты   | Изделия   |
|  |  <p>Рисунок</p> <p>Стекло подложка на рисунке</p> <p>Стекло накладка</p> |  <p>Стеклянная крошка</p>                     |  |
| Изделия   | Моллирование  | Прочесывание  | Изделия   |
|  |  <p>Стеклоформа</p> <p>Стекло накладка</p>                               |  <p>Стекло подложка</p>                       |  |

Рисунок 18 – Типология изделий, получаемых методом фьюзинга

Изделия из стекла можно классифицировать по технологическому признаку:

- а) на получаемые в технологии фьюзинга;
- б) на комбинированные, получаемые сочетанием с другими технологиями обработки стекла (теплой, холодной, тепло-холодной).

Спекание редко сочетают с технологиями горячей обработки стекла, так как эта группа технологий дает очень широкие возможности для формирования изделий, а их выработку производят из расплавленной стекломассы, а не из разогретой заготовки [13, 56, 58].

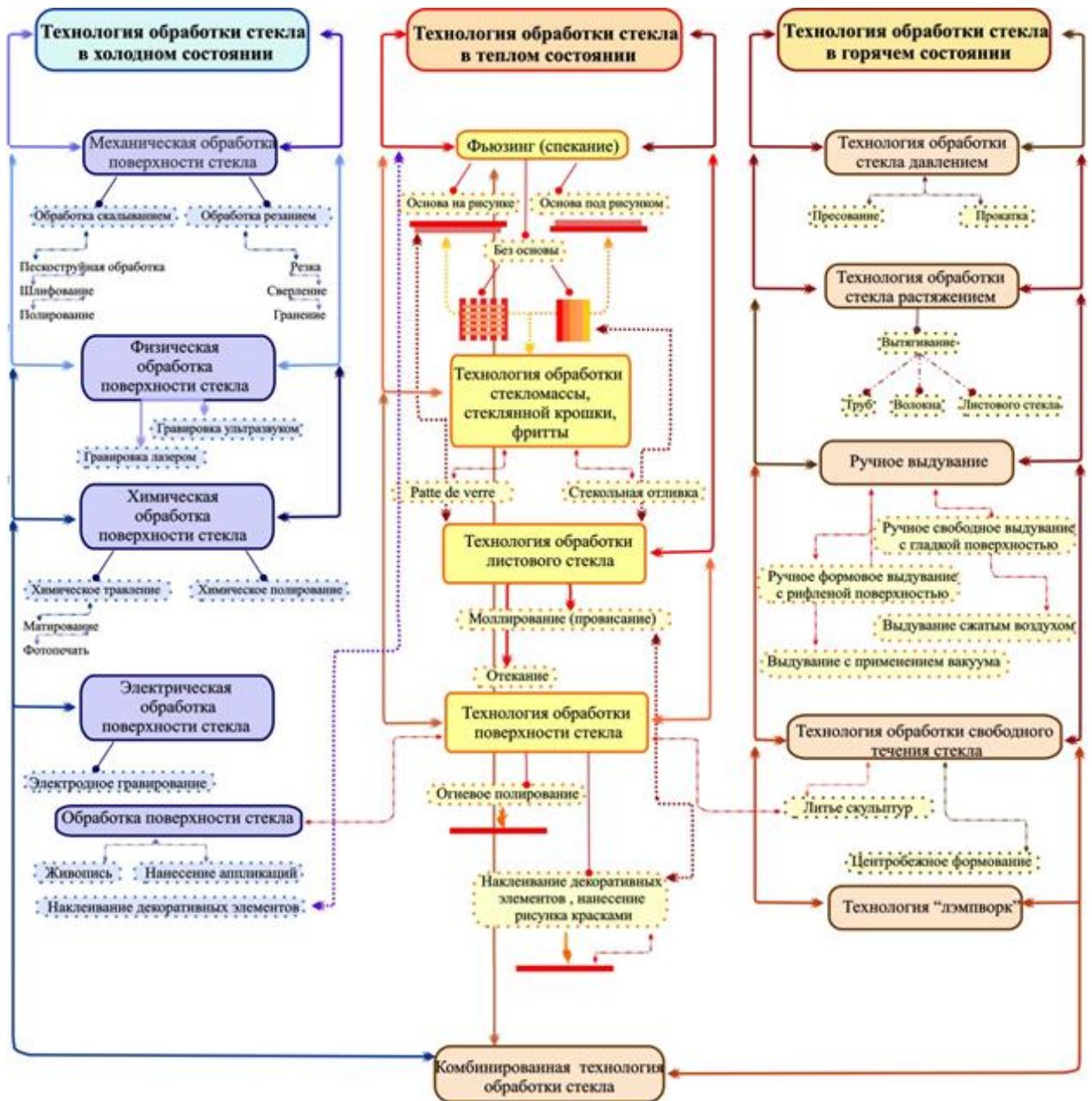
Очень часто с технологией фьюзинга сочетают моллирование, при этом можно получать объемные изделия: посуду, вазы, бижутерию, светильники, подсвечники, панно, скульптуру, раковины умывальников, витражи.

Использование технологии фьюзинга обычно комбинируется с росписью специальными красками, так как это позволяет создать тонкий рисунок и обогатить изделие. Сочетанием этих технологий получают панно, картины, абстрактные скульптуры, витражи.

В настоящем исследовании дается детальное рассмотрение изделий из стекла, выполненные в технологии фьюзинга. В технологии фьюзинга получают художественные изделия, имеющие неповторимый рисунок, так как результат после спекания изделия в целом ряде аспектов является непредсказуемым [39]. Очевидно, что большое разнообразие художественной обработки стекла позволяет комбинировать технологию фьюзинг с другими технологиями обработки стекла, что способствует значительному расширению ассортимента изделий, а также дает возможность применения новых выразительных средств, для улучшения эстетических качеств изделия.

Схема типологий существующих технологий декоративной обработки стекла приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Схема типологий существующих технологий декоративной обработки стекла



На рисунке 19 [70, 99, 102] представлены изделия в виде украшений, светильника и скульптур, выполненные в технологии фьюзинга для разных температур в диапазоне от 670 °С до 800 °С.



*a)*



*б)*



*в)*

Рисунок 19 – Художественные изделия, выполненные в технологии фьюзинга при разных температурах:

*a* – украшения; *б* – светильник; *в* – скульптуры

## 2.2. Стекло. Виды стекла

*История стекла.* История стекла насчитывает пять с половиной тысяч лет. В настоящее время считается, что родиной стекла является Месопотамия, хотя до недавнего времени основным центром возникновения стеклоделия считался исключительно Древний Египет. С древнейших времен в различных местах земного шара археологами были найдены предметы обихода, различные украшения, амулеты из природного вулканического стекла. Производство стекла в Древнем Египте началось 3000 лет до н. э.

В Китае в V–III вв. до н. э. стеклянные изделия появились в большом количестве, в том числе бусы с «глазовидным» узором и специфическим химическим составом. Первые письменные свидетельства об изготовлении стекла пяти цветов в Китае относятся к концу III в. Примерно за 1200 лет до н. э. уже была известна техника прессования стекла в открытых формах. Этим способом изготавливались вазы, чаши, кубки, цветные мозаичные украшения. Особенно распространенным было голубое и бирюзовое стекло, окрашенное медью. Зеленое стекло получали окрашиванием медью и железом. Синее стекло, окрашенное кобальтом, появилось в Египте в начале н. э. При некоторых достижениях древнего стеклоделия техника его была примитивна: высоких температур достигать не умели, стекло получалось непрозрачным и в очень малых количествах. Изделия изготавливали приемами ручной лепки – при помощи плоских камней, а для изготовления изделий в виде небольших сосудов – при помощи деревянных палочек, обмазанных смесью песка и глины. Ассортимент изделий ограничивался мелкими украшениями: бусами, амулетами, флакончиками для ароматов и т. п. [11, 17, 52, 71].

Переворот в технологии стеклоделия произошел на рубеже н. э. с изобретением метода выдувания полых стеклянных изделий. Стали получать прозрачное стекло, появилась возможность выплавлять его сразу в значительных количествах, научились выдувать через трубка красивые сосуды относительно большого размера и самой разнообразной формы [4, 7, 8, 17, 34, 38, 57].

Первыми овладели методом выдувания стеклянных изделий мастера Древнего Рима. На Руси XI–XIII вв. (как показали раскопы в Киеве и Костроме) работали большие стеклянные мастерские, занимающиеся изготовлением браслетов. Монголо-татарское нашествие прервало стекольное производство на Руси, и возобновилось оно только в XVII в.

В средние века мозаика из смальты создавались в Грузии. Стекло изготавливалось и в других странах Востока, например, в XII–XIV вв. производством стеклянных изделий с росписью эмалями славилась Сирия. В странах Западной Европы в средние века развивалось искусство стеклоделия: фигур-

но вырезанные стекла скреплялись свинцовыми перемычками и вставлялись в оконные проемы зданий. Расцвет искусства средневековых витражей приходится на XIII–XIV вв.

Развивалось стеклоделие и в Германии, где традиции этого производства сохранились, по-видимому, со времен римского правления. В 1612 г. во Флоренции была издана книга А. Пери, которую можно считать первым научным трудом в области стеклоделия. Книга эта надолго стала руководством по технологии получения стекла.

В 1615 г. в Англии был предложен способ использования угля в качестве топлива для стекловаренных печей. Это дало возможность получать при высоких температурах термостойкое стекло. В XVII в. в Англии был предложен состав стекла с окисью свинца – стекло приобретало блеск и радужные переливы.

Со второй половины XVII в. первенство по производству стекла перешло к Чехии, где начали изготавливать толстостенные сосуды из стекла. Большая толщина стенок позволяла производить особую огранку, которая получила широчайшую известность как богемский хрусталь.

На Руси новый этап развития стеклоделия начался с XVII в., когда близ Можайска шведом Елисеем Коэтом в 1635 г. был основан первый в России стекольный завод. В 1668 г. был построен Измайловский завод под Москвой. Петр I возвел под Москвой на Воробьевых горах государственный стекольный завод. В 1748 г. М.В. Ломоносов организовал при Петербургской академии лабораторию, в которой проводил опыты с окрашиванием стекла, варил смальту, разработал палитру цветной стеклянной мозаики. В 1753 г. им была построена для производства цветного стекла Усть-Рудицкая фабрика близ Петербурга.

В СССР проводилась реконструкция старых заводов, а также строительство новых крупных механизированных стекольных заводов. Накануне Великой Отечественной войны стекольная промышленность выдвинулась по объему производства на первое место в Европе [24, 44].

Стекло как отделочный материал отличается долговечностью, биостойкостью, высокой устойчивостью к воздействию влаги, солнечной радиации, перепаду температур и, естественно, декоративностью. Декоративные свойства стекла, изделий и материалов на его основе могут быть усилены при помощи использования различных технологических и химических приемов.

*Применение стекла.* Существует огромное количество изделий из стекла. Листовое стекло различного вида предназначено для ограждения зданий. Оно имеет законченную, отделанную в заводских условиях лицевую поверхность, поэтому одновременно является и отделочным материалом. В строительной практике стекло нашло широкое применение не только в наружной, но и во внутренней отделке. Рациональное применение архитектурно-строительного стекла в строительстве позволяет улучшить не только художественно-декоративные, но и эксплуатационные характеристики зданий [77, 78, 83]. К основным видам листового стекла относят оконное, витринное, армированное, теплопоглощающее и узорчатое.

Волнистое стекло, обладая достаточной механической прочностью, может использоваться для устройства светопрозрачных кровель, заполнения световых проемов и устройства светопрозрачных внутренних ограждений.

Изделия из стекла составляют большую группу отделочных материалов. К ним относят стеклопакеты. В эту группу входят также профили из стекла, различные плитки, призмы, линзы и специальные стеклблоки – цветные, двухкамерные [52, 80].

Различные виды матового, матово-узорчатого и цветного стекла повышают декоративные качества остекления в тех случаях, когда нужно получить просвечивающее, но непрозрачное ограждение. Стекло, армированное металлической сеткой, и витражное стекло используется для остекления витрин и проемов общественных зданий, а для прозрачных ограждений, требующих прочности и теплостойкости, используется закаленное стекло.

#### *Виды стекла*

*Оконное стекло* применяется в остекление окон, витражей, балконных дверей, световых фонарей, теплиц, оранжерей, светопрозрачных ограждающих конструкций жилых зданий и промышленных сооружений. Качествен-

ные листы оконного стекла прозрачны и бесцветны – никаких радужных и матовых пятен, несмываемых налетов. Допускаются зеленоватый и голубоватый оттенки, но при условии, что они не снижают коэффициента светопропускания. Прочность стекла зависит от нескольких составляющих: способа выработки и обработки поверхностей и торцов, однородности, степени отжига или закалки, состояния поверхности листа и его размеров.

*Цветное стекло* используют для остекления световых проемов помещений различного назначения, художественного оформления фасадов и интерьеров, внутренней облицовки, а также для изготовления оконных, дверных или декоративных витражей. В строительстве применяется цветное стекло, окрашенное в массу, его делают так же, как бутылочное. Согласно стандарту, на цветном стекле не допускаются пузырьки размером более 0,8 мм, сосредоточенные в одном месте (так называемая мошка). Считается нормальным, если на листе встретится одна растянутая полоса длиной менее 13 мм или одна-две царапины до 10 мм. Если полосы и царапины длиннее или их больше – это брак. Качество внешнего вида цветного стекла определяют, рассматривая его при естественном освещении, на расстоянии в один метр. Образцы цветного стекла даны на рисунке 20 [101].



Рисунок 20 – Образцы цветного стекла

Образцы цветного стекла, применяемого во фьюзинге, приведены на рисунке 21 [101].



а)

б)



в)

Рисунок 21 – Образцы цветного стекла, применяемого во фьюзинге:  
а) – миллефиори; б) – фритта; в) – стеклянная крошка

*Армированное стекло* используют для остекления окон, световых фонарей, перегородок в производственных, общественных и жилых зданиях, а также для устройства балконных ограждений. При армировании стекла в середину листа параллельно его поверхности в процессе изготовления помещают металлическую сетку с квадратными ячейками. Применяют сварную сетку из стальной проволоки, а для стекла высшей категории качества – еще и с защитным алюминиевым покрытием.

*Узорчатое стекло* применяют для остекления оконных и дверных проемов, устройства перегородок в жилых, общественных и промышленных

зданиях. Не рекомендуется применять узорчатое стекло в помещениях с большим количеством пыли, копоти и т.п. Узорчатое листовое стекло имеет на одной или обеих поверхностях четкий рельефный повторяющийся рисунок и бывает как бесцветным, так и цветным. Цветное узорчатое стекло получают из окрашенного в массу стекла или при помощи нанесения на одну из поверхностей бесцветных окиснометаллических покрытий. Это декоративный материал. Часто его применяют для изготовления наружных и внутренних витражей, ширм. Цвет и рисунок поверхности стекла должен соответствовать утвержденным эталонам. Глубина рельефных линий – от 0,5 до 1,5 мм. Узорчатое стекло должно пропускать и рассеивать свет.

Коэффициент светопропускания бесцветного варианта при освещении рассеянным светом, если узоры нанесены только на одной стороне, – не менее 0,75, если узоры располагаются на двух сторонах – 0,7. Светопропускание цветных узорчатых стекол определяется составом, цветом стекла и покрытий и составляет 30–65 % [5,18,14].

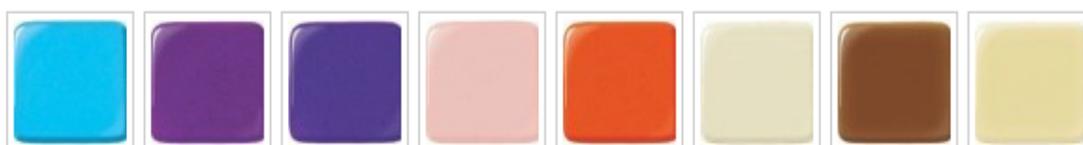
*Солнцезащитное стекло* используют для остекления окон, а также солнцезащитных устройств – козырьков, вертикальных экранов и т. д. Наиболее уместно применение в зданиях с активным использованием кондиционеров. Солнцезащитные стекла отражают либо поглощают излучение. Теплопоглощающие стекла получают введением в стекломассу специальных добавок, окрашивающих ее в зеленовато-голубоватые или серые тона. Такие стекла пропускают 65–75 % света, а инфракрасных лучей – всего 30–35 %, причем их способность пропускать и поглощать лучи (при едином химическом составе) зависит от толщины листа.

При высоком коэффициенте поглощения света темные теплопоглощающие стекла могут сильно нагреваться (на 50–70 градусов выше окружающей среды), поэтому их не рекомендуется использовать в наружном остеклении. Их также нежелательно подвергать неравномерному нагреву или охлаждению [12, 59]. На рисунках 22, 23 представлены образцы цветного стекла фирмы LINCOS, применяемых в исследовании.

### ПАЛИТРА ЦВЕТОВ СТЕКЛА



|            |         |              |               |             |            |          |           |
|------------|---------|--------------|---------------|-------------|------------|----------|-----------|
| № 100      | № 110-4 | № 111        | № 125         | № 136       | № 146      | № 151    | № 152     |
| прозрачный | янтарь  | темн. янтарь | темн. зеленый | темн. синий | фиолетовый | вишневый | рубиновый |
| прозрачные |         |              |               |             |            |          |           |



|            |         |          |         |       |             |          |          |
|------------|---------|----------|---------|-------|-------------|----------|----------|
| № 533-1    | № 534-2 | № 543-2  | № 591-1 | № 171 | № 210-71    | № 211-74 | № 210-72 |
| голубой    | пурпур  | виноград | шампань | оранж | слон. кость | каштан   | миндаль  |
| прозрачные |         |          |         |       | матовые     |          |          |



|         |           |          |        |
|---------|-----------|----------|--------|
| № 200   | № 226-74  | № 260-72 | № 1009 |
| белый   | саламовый | желтый   | черный |
| матовые |           |          |        |

Рисунок 22 – Палитра цветного стекла СОЕ 96 для фьюзинга

## Transparent Sheet Glass



Above: Andres Perez, PK Glass Company, Miami, FL.  
Below: "Carm's Wild Life" by Carmen Reynolds, Newberg, OR.  
Bottom Right: "Horse", 2 x 2in., by Lewis Wilson.



Рисунок 23 – Палитра цветного стекла для изготовления художественных изделий в технике фьюзинга

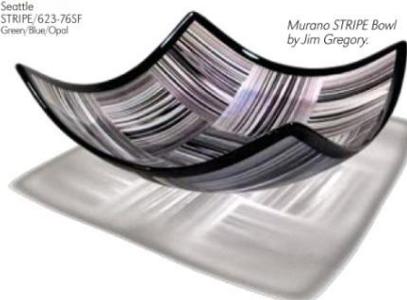
Стекло для фьюзинга занимает особую группу. Стекло для фьюзинга разнообразно и по фактуре, и по смешению цветов в самой стеклянной пластине. Цветовые трубки и фигурки можно увидеть в палитре цветных стекол на рисунке 24 [101].

## Packaged Goods

### STRIPES™



2 x 12in. strips of striped glass! Colors coordinate perfectly with Spirit sheets. Six-piece packs or mixed color "shortstacks."



### Pebbles™



Flat bottom, round topped, 1/2" droplets that make great design elements. Available in 1/2lb. bags in 16 colors or assorted.

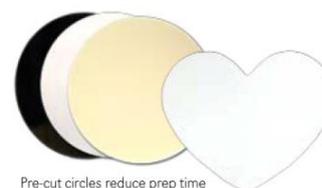
### Cut-Ups™



Forty pre-cut whimsical shapes and colors. Perfect accents for fused work. Each Cut-Up comes packaged on a 3" square card.



### Pre-Cut Bases



Pre-cut circles reduce prep time and eliminate scrap. 10-inch is also available in Double-Thick (5mm) Clear, great for solid bases with zero bubbles.

| Circles       | Size   | Description        |
|---------------|--------|--------------------|
| GBC-12-100    | 12 in. | Clear              |
| GBC-10DT-100  | 10 in. | Clear Double Thick |
| GBC-10-100    | 10 in. | Clear              |
| GBC-10-1009   | 10 in. | Black              |
| GBC-10-200    | 10 in. | Opal White         |
| GBC-10-210-72 | 10 in. | Opal Almond        |
| GBC-8-100     | 8 in.  | Clear              |
| GBC-8-1009    | 8 in.  | Black              |
| GBC-8-200     | 8 in.  | Opal White         |
| GBC-8-210-72  | 8 in.  | Opal Almond        |

| Hearts       | Size  | Description            |
|--------------|-------|------------------------|
| GBH-6-200    | 6 in. | Opal White             |
| GBH-6-290-72 | 6 in. | Opal Cotton Candy Pink |
| GBH-8-200    | 8 in. | Opal White             |
| GBH-8-290-72 | 8 in. | Opal Cotton Candy Pink |

To see all of the pre-cut Glass Craft Components visit: [www.system96.com](http://www.system96.com)

Рисунок 24 – Палитра цветного стекла и стеклянных фигурных форм для изготовления художественных изделий

Физические свойства стекла очень разнообразны.

*Плотность* обычных натрий-калий-силикатных стекол, в том числе и оконных, колеблется в пределах 2500–2600 кг/м<sup>3</sup>. При повышении температуры от 20 до 1300 °С плотность большинства стекол уменьшается на 6–12 %, т. е. на 100 °С плотность уменьшается на 15 кг/м<sup>3</sup>. Предел прочности обычных отожженных стекол при сжатии составляет 500–2000 МПа, оконного стекла – 900–1000 МПа.

*Твердость* стекла зависит от химического состава. Стекла имеют различную твердость в пределах 4000–10000 МПа. Наиболее твердым является кварцевое стекло, с увеличением содержания щелочных оксидов твердость стекол снижается.

*Хрупкость.* Стекло наряду с алмазом и кварцем относится к идеально хрупким материалам. Поскольку хрупкость четче всего проявляется при ударе, ее характеризуют прочностью на удар. Прочность стекла на удар зависит от удельной вязкости.

*Теплопроводность.* Наибольшую теплопроводность имеют кварцевые стекла. Обычное оконное стекло имеет 0,97 Вт/(м·К). С повышением температуры теплопроводность увеличивается. Эта характеристика зависит от химического состава стекла.

Высокая *прозрачность* оксидных стекол сделала их незаменимыми для остекления зданий, изготовления зеркал и оптических приборов, включая лазерные, телевизионной, кино- и фототехники и так далее. Для строительного листового стекла, оконного, витринного необходимо учитывать, что коэффициент светопропускания прямо зависит от отражающей способности поверхности стекла и от его поглощающей способности. Теоретически даже идеальное, не поглощающее свет стекло не может пропускать света более 92 %.

*Оптические свойства* стекла зависят от показателя преломления. Для производства, например, керамических красителей показатель преломления очень важен. Показатель преломления – это способность стекла преломлять падающий на него свет. От него зависит, насколько сильно будет отражать свет керамическое изделие, и как оно будет выглядеть [9, 79, 81, 83, 92, 100].

*Механические свойства.* К механическим свойствам стекла относят упругость – свойство твердого тела восстанавливать свою первоначальную форму после прекращения действия нагрузки. Упругость характеризуют такие величины, как модуль нормальной упругости, который определяет величину напряжений, возникающих под влиянием нагрузки при растяжении/сжатии [7,12].

*Внутреннее трение.* Системы со стеклом способны поглощать механические, в частности, звуковые и ультразвуковые колебания. Затухание колебаний зависит от состава неоднородностей в стекле.

*Термические свойства* силикатных систем важны как при изучении, так и при изготовлении керамических стеклянных изделий. Удельная теплоемкость определяется количеством тепла  $Q$ , требуемым для нагревания единицы массы стекла на  $1^{\circ}\text{C}$ . Химическая устойчивость – устойчивость по отношению к различным агрессивным средам – также одно из очень важных свойств стекол (важно для медицины).

Закаленные стекла разрушаются в 1,5–2 раза быстрее, чем хорошо отожженные стекла. В современном строительстве для оконных, дверных и других проемов применяются специальные стекла с солнцезащитными свойствами. Для этих стекол важен спектральный характер светового потока, прошедшего через освещение, оценка цветового тона. На основе этих характеристик осуществляется выбор определенного вида стекла, а также определение теплотехнических и светотехнических свойств, их влияние на условия работы, дизайн зданий и сооружений [27, 45].

Таким образом, большое разнообразие видов стекла и широкая область применения позволяют использовать его в любой области отделки.

В таблице 6 определены виды стекла и их применение.

Таблица 6 – Виды стекла и их применение

| Стекла и изделия из них | Ассортимент стекла       | Область применения                                |
|-------------------------|--------------------------|---|
| 1                       | 2                        | 3   |
| Листовое строительное   | Стекло листовое          | Остекление окон                                   |
|                         | Витринное неполированное | Остекление дверей, витрин, фонарей верхнего света |
|                         | Витринное полированное   | Остекление витрин, окон, дверей, мебели           |
|                         | Мебельное<br>Зеркальное  | Изготовление мебели<br>Изготовление зеркал        |

Продолжение таблицы 6

| 1  | 2  | 3  |
|--|--|--|
| Листовое безопасное и упрочненное стекло                   | Армированное   | Остекление фонарей, промышленных зданий, помещений с повышенными требованиями безопасности |
|  | Закаленное строительное  | Крупногабаритные панели, двери, перегородки, ограждения, полы, потолки                     |
|  | Безосколочное многослойное   | Изготовление дверей, перегородок, смотровых окон   |
| Листовое со специальными свойствами                        | Пропускающее ультрафиолетовые лучи   | Остекление лечебных учреждений, детских садов, инкубаторов, парников, оранжерей            |
|  | Поглощающее ультрафиолетовые лучи  | Остекление архивных и других помещений с ценными материалами                               |
|  | Теплозащитное (телопоглощающее)  | Остекление зданий, сооружений, автомобильного транспорта                                   |
|  | Теплоотражающее (с пленочным покрытием)                                      | Остекление зданий Севера; остекление специальных зданий, использование в стеклопакетах     |
| Листовое цветное декоративное стекло                       | Стекло с твердым покрытием. Токпроводящее. Бесцветные полупрозрачные зеркала | Устройства специального назначения. Архитектурная отделка зданий                           |
|  | Окрашенное в массе   | Для облицовки. Как декоративное стекло   |
|  | Накладное цветное  | Для облицовки зданий в световых проемах, витражах  |
|  | Марблит  | Служит для облицовки внутренних стен, перегородок жилых и общественных зданий, магазинов   |
|  | Стемалит   | Для наружной и внутренней облицовки зданий, изготовления многослойных навесных панелей     |
| Архитектурно-строительные и облицовочные изделия из стекла | Строительное профильное  | Для строительства стен, перегородок, промышленных и торговых зданий, выставочных залов     |
|  | Стеклопакеты   | Для остекления промышленных, жилых, гражданских зданий                                     |
|  | Стекланные блоки, прессованные линзы, призмы                                 | В вертикальных стенах, перегородках, фонарях, в железобетонных покрытиях                   |
| Строительные изделия из стекла                             | Стекланные трубы   | Для сооружения трубопроводов, транспортирования жидкостей и газов, продуктов, воды и др.   |
| Облицовочные изделия из стекла                             | Коврово-мозаичные плитки   | Для облицовки бетонных панелей   |
| Художественное стекло в строительстве                      | Декоративное стекло в архитектурной отделке                                  | Декоративные детали из стекла, хрустальные колонны метро, хрустальные фонтаны              |

### 2.3. Декоративные изделия из стекла. Режимы спекания образцов

Большая группа рассматриваемых в работе декоративных изделий из стекла в технологии фьюзинга была выполнена автором (рисунок 25).



*a)*



*б)*



*в)*



*г)*

Рисунок 25 – Образцы изделий в технологии фьюзинга:  
*a)* – «Сказочный лес» (600×400 мм) – панно-картина; *б)* – «Рыба» (400×200 мм) – стеклянная картина для оформления детской комнаты; *в)* – «Синий цветок» (400×200 мм) – декоративна вставка в дверцу фасадов кухни; *г)* – «Морской конек» (400×200 мм) – панно (выполнены автором)

При создании картины-панно «Сказочный лес» было использовано стекло с различной фактурой, степенью прозрачности: прозрачное бесцветное Clear Sheet Glass, синее Transparent, желтое Transparent, зеленое Transparent, красное стеклянные камушки System 96 (геммы). Цветовые переходы, фактуры создавались при помощи стеклянной крошки разных цветов и размеров System 96 (геммы).

Технологическая последовательность создания витража в технологии фьюзинга повторяется для изготовления любых декоративных изделий независимо от типа стекла и величины изделия. Детали из цветного стекла для панно «Сказочный лес» вырезались стеклорезом вручную, затем шлифовались и закреплялись в соответствии с эскизом на подложке с помощью клея, спекание производилось в печи при температуре 750 °С и выдержке 30 минут. После запекания изделие очищалось, и смывались остатки покрытия подложки печи. Панно «Рыба» и «Морской конек» выполнялись для детской комнаты, они были стилизованы в соответствии с тематикой интерьера. Вырезанные детали приклеивались на подложку и спекались при температуре 750 °С и выдержке 20 минут.



Рисунок 26 – Витражные вставки для дверок детской мебели  
(выполнены автором)

На рисунке 27 показаны светильники, выполненные в виде стилизованной рыбы. Для изготовления каждого светильника была вырезана подложка из прозрачного стекла и сделаны отверстия для закрепления арматуры и источника света. На подложку выкладывались вырезанные детали из цветного стекла с последующей обработкой в печи для фьюзинга. Арматура крепилась к стеклянным элементам с использованием хромированных болтов.



Рисунок 27 – Светильники в интерьерах ресторана «Неаполь», размеры основания – 300×400 мм (выполнены автором)

Выполненное в технологии спекания стекла настенное панно инкрустировано вставками декоративного орнамента (размер 200×300 мм) и предназначено для оформления жилого интерьера (рисунок 28).

На прозрачной подложке с заранее подготовленным отверстием выполнялся рисунок из цветных кусочков и деталей стекла, стеклянной крошки и мозаики. После обработки в печи на панно наносился декоративный рису-

нок, и изделие повторно запекалось. В процессе запекания стекла приоткрывалась крышка печи (пока стекло мягкое) и выполнялось прочесывание для создания необычных фактур цвета стекла.



Рисунок 28 – Настенное панно с декоративным орнаментом для оформления жилого интерьера (выполнено автором)

Применение в интерьерах составных изделий с использованием художественного стекла допускает разделение и зонирование общего пространства. На рисунке 29 показан витражный экран с рисунком «Синие цветы на ветру», разделяющий зону кухни и прихожей.



Рисунок 29 – Витражный экран с рисунком «Синие цветы на ветру», закрепленный на барной стойке (выполнен автором)

Витраж помещен в деревянную раму и закреплен при помощи деревянных реек без использования клея. Изделие (витраж) предназначено для жилого интерьера с целью визуального разграничения односвязных пространств и декорирования. В процессе изготовления применялось прозрачное стекло для подложки заданных размеров, соответствующих требованиям закрепления конструкции к барной стойке. Изготовленные предварительно элементы деталей художественной композиции приклеивались на стекло подложки для прочной фиксации и сохранения размерных параметров композиции до запекания (клей сгорает при высоких температурах). После обработки витража в печи он вставляется в раму и устанавливается на место.

Ниже, на рисунках, приведен пример зонирования пространства с использованием стеклянной вставки, обработанной пескоструйной техникой и термокрасками: стена с витражной вставкой «Бамбуки» в жилом интерьере (рисунок 30); «Кошки» – фрагмент прилавка с целью отделения пространства зоны кафе и булочной (деревянная рама с обтяжкой кожей) (рисунок 31) [37].



Рисунок 30 – Комбинированная техника фьюзинга – пескоструйная обработка – текстурирование. Витражные вставки в перегородку, сюжет «Бамбуки» (выполнены автором)



Рисунок 31 – Комбинированная технология обработки стекла термокрасками. Сюжет «Кошки» (выполнен автором)

Итак, установлено, что процесс изготовления декоративных изделий из стекла в технологии фьюзинга позволяет сделать изделия, которые могут обладать различными эстетическими и функциональными свойствами.

#### 2.4. Дефекты изделий из стекла

Дефекты художественных изделий из стекла, изготавливаемых в технологии фьюзинга, связаны в первую очередь с характеристиками используемых материалов. Применяемое в технологии фьюзинга стекло обладает своим температурным коэффициентом линейного расширения (ТКЛР – Coefficient of Expansion (COE)). Он характеризует относительное удлинение образца стекла при нагревании его на 1 °С. Значение ТКЛР изменяется в зависимости от диапазона температуры, в котором он измеряется. Это практически единственный технологический показатель (указанный производителем), по которому мы можем судить либо о совместимости, либо несовместимости разных стекол. В изготовлении изделий необходимо сочетать стекло с одинаковым показателем, так как смешанные вместе стекла с разным ТКЛР по-разному изменяют свои свойства (размеры – габариты – объем) при нагреве и охлаждении. В таком случае при остывании в стекле возника-

ют серьезные напряжения и, как следствие, дефекты. В силу того, что изделие имеет иногда большие размеры, возникающие напряжения приводят очень заметным «разрывам» стекла. В исследовании приведены образцы изделий с включением малых по объему деталей, несовместимых по ТКЛР, что не дает значительных напряжений в образцах.

В процессе формирования художественных изделий при спекании возникают дефекты, характерные только для этой технологии. Выделяются следующие виды дефектов:

- помутнение прозрачной подложки, цветного стекла;
- изменение цвета стекла;
- трещины;
- некачественное оплавление краев изделия.

Характеристики стекла и возможные дефекты при спекании показаны в таблице 7.

Причинами появления дефектов могут быть следующие факторы:

– помутнение прозрачной подложки цветного стекла, поскольку у стекла, как у любого изделия, имеется лицевая и изнаночная сторона, при запекании изнаночная сторона мутнеет, этого можно избежать, если перед запеканием произвести шлифовку стекла, а определить лицевую сторону стекла можно при помощи специального оборудования [57, 23];

– изменение цвета стекла, поскольку при температуре спекания некоторые стекла меняют цвет, что происходит в связи с изменениями структуры красителей; в процессе изготовления декоративных изделий было определено, что цвет меняет красное, желтое и оранжевое стекло;

– трещины в местах, где соединяются детали декоративного изделия (рис. 32); по результатам анализа характера трещин и разрушению стекла можно определить возможные причины их возникновения, например, вследствие различия в коэффициенте теплового расширения стекла ТКЛР;

– полное разрушение изделия, связанное с возможной короткой фазой нагрева, неправильным отжигом, несовместимостью стекол;

– некачественное оплавление краев изделия, когда кромка изделия не округлилась, возможно, вследствие короткой фазы выдержки, которую нужно увеличить.

Таблица 7 – Характеристики стекла и возможные дефекты при спекании

| Название стекла                                 | Толщина стекла    | Температура запекания и выдержки  | Возможные дефекты при запекании   | Причины возникновения дефектов  |
|---|-------------------|-----------------------------------|---|---|
| Clear Sheet Glass (основа, подложка) прозрачная | 4 мм              | 450–750 °С<br>Выдержка 20–30 мин  | Помутнение, трещины, некачественное оплавление краев изделия                  | Несовместимость КТР, изнаночная сторона подложки                      |
| Синее Transparent (прозрачное)                  | 4 мм              | 450–750 °С<br>Выдержка 20–30 мин  | Не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °С        | Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании            |
| Зеленое Transparent (прозрачное)                | 3 мм              | 450–750 °С<br>Выдержка 20–30 мин  | Не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °С        | Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании            |
| Желтое Transparent (прозрачное)                 | 3 мм              | 450–750 °С.<br>Выдержка 20–30 мин | Помутнение, изменение цвета   | Стекло для фьюзинга КТР 96, кристаллизация химического состава стекла |
| Оранжевое Transparent (прозрачное)              | 3 мм              | 450–750 °С<br>Выдержка 20–30 мин  | Помутнение, изменение цвета   | Стекло для фьюзинга КТР 96, кристаллизация химического состава стекла |
| Красное Стекланные камушки System 96 (геммы)    | 5 мм              | 450–750 °С.<br>Выдержка 20–30 мин | Из прозрачного стекло становится матовым, сохраняется насыщенность цвета      | Стекло для фьюзинга КТР 96 кристаллизация химического состава стекла  |
| Коричневое Стекланная крошка System 96 (геммы)  | Крошка 0,5–0,9 мм | 450–750 °С<br>Выдержка 20–30 мин  | Крошка не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °С | Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании            |
| Черное Стекланная крошка System 96 (геммы)      | Крошка 0,5–0,9 мм | 450–750 °С<br>Выдержка 20–30 мин  | Крошка не меняет цвет, не мутнеет в диапазоне температур запекания 450–780 °С | Стекло для фьюзинга КТР 96 не имеет дефектов при запекании            |



Рисунок 32 – Трещина в месте соединения двух пластин стекла

Изделие можно спекать повторно в случае появления перечисленных видов дефектов [32, 57].

Существующие дефекты изделий, выполненных с использованием технологии фьюзинга, крайне разнообразны. Так называемые «мелкие иглы» обычно возникают при использовании в качестве подложки грубой керамобумаги или при перегреве стекла. Для исправления дефекта грубых или пережженных краев в зависимости от способа изготовления данного изделия его повторно нагревают. В принципе, регулировать вид кромки можно и через смотровой глазок (если он есть), корректируя температуру и фазы. Если все манипуляции с фазами выдержки и томления не привели к положительному результату, кромку можно просто заполировать. Слеза или (след) образуется при прилипанию стекла к подложке или стеклоформе. Исключить ее появление возможно при качественной подготовке печи и стеклоформ перед помещением в печь путем обработки разделителем, просушки, а удалить ее можно при помощи металлической мочалки. Мнения по поводу присутствия пузырей в изделии разделяются: кто-то считает это техническим браком и дефектом, кто-то, наоборот, утверждает, что пузырьки придают работе художественность и индивидуальность (рисунок 33). В любом случае, процесс из-

готовления изделия должен быть понимаемым и управляемым. Пузыри могут образовываться по нескольким причинам, в частности, когда воздух попадает в «ловушку» между слоями стекла. Для исключения пузырей, возникающих по этой причине, следует обеспечить медленный нагрев образцов до температуры 600–700 °С. [32, 54].

Помутнение поверхности стекла (расстеклование) происходит вследствие частичной кристаллизации стекла. Это одна из самых проблемных и обсуждаемых тем технологии фьюзинга. Различающиеся по свойствам стекла в разной степени подвержены расстеклованию, которое происходит при температуре около 700 °С. Для исключения помутнения необходимо минимизировать интервал время нахождения стекла при температурах от 500 до 760 °С как при нагреве, так и при остывании.



Рисунок 33 – Очевидный дефект стекла в виде пузырей при спекании

Дефекты, возникающие в процессе изготовления декоративных изделий из стекла в технологии фьюзинга, присутствуют всегда. В процессе работы в этой технологии необходимо учитывать все особенности материалов, такие как вид стекла, его цвет, подложка и температурные режимы, чтобы не усугублять дефекты [21,55, 92].

## 2.5. Экспериментальное исследование дефектов

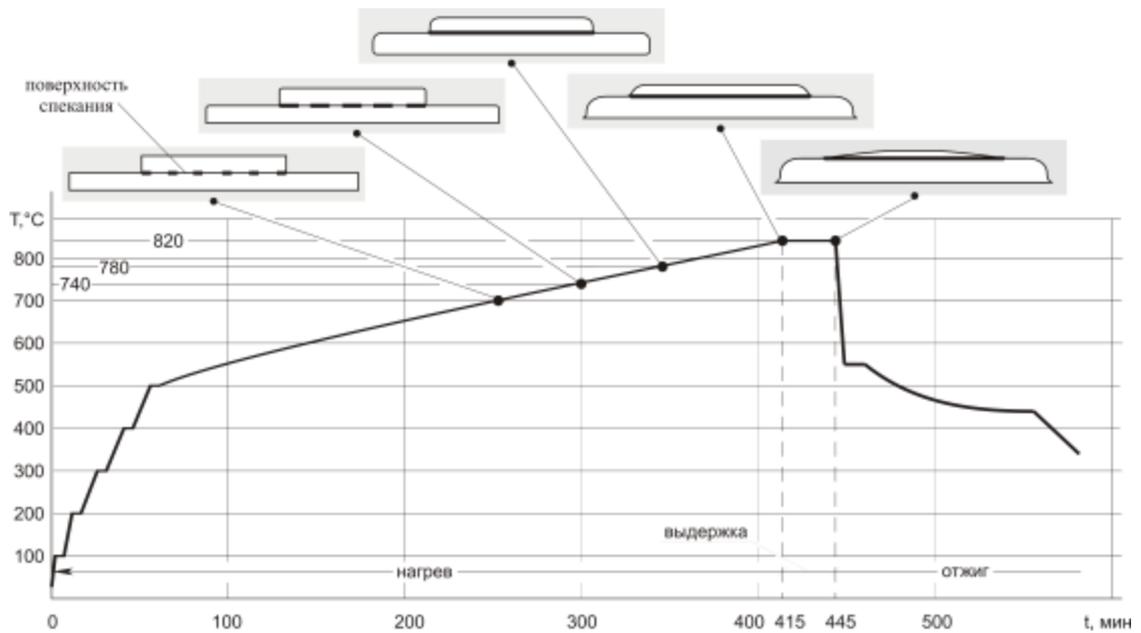
Экспериментальное исследование дефектов художественных изделий из стекла в технологии фьюзинга проводится на образцах, моделирующих формирование будущего изделия. Процесс спекания сопровождается рядом деформаций комплекта сопрягаемых элементов из стекла, называемых подложкой (основой) и накладкой в случае использования пластин, либо верхней и нижней пластиной. Материалом накладки может быть также стеклянная крошка, другие декоративные объемные формы стекла.

Рассмотрение дефектов изделий из стекла, создаваемых в технологии фьюзинга, необходимо проводить с использованием данных исследования Сурниной Н. А., которое было представлено в диссертации [84]. Проведен очень детальный анализ появления деформаций верхней и нижней пластин и их относительная величина в зависимости от температуры нагрева, скорости нагрева и геометрических параметров самих пластин.

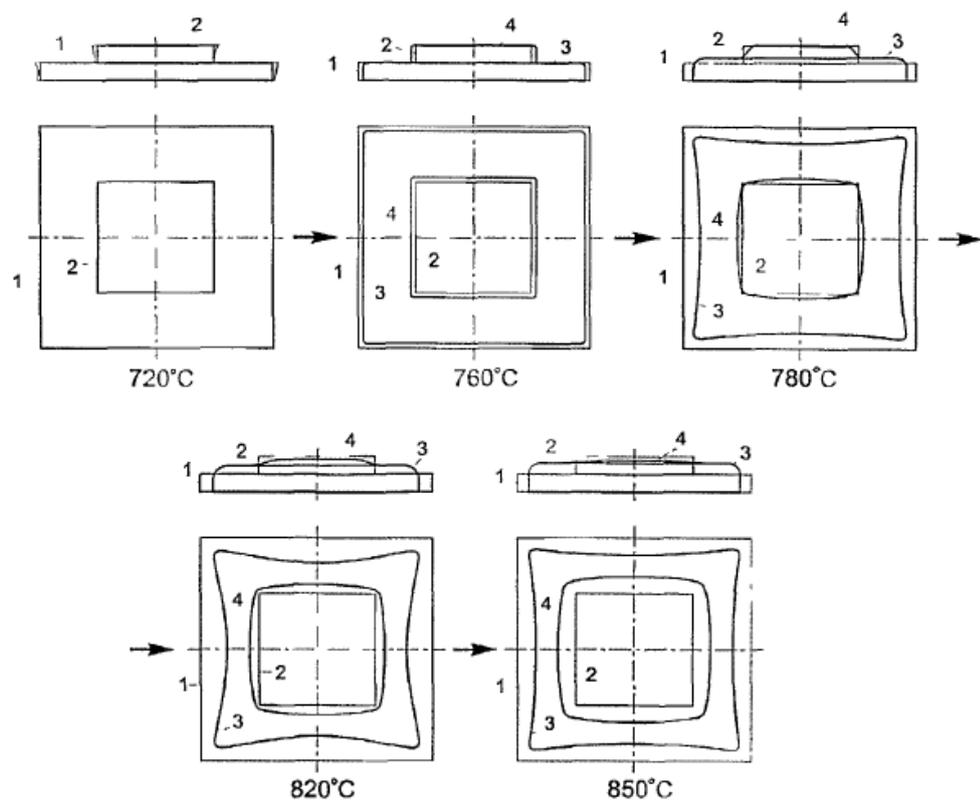
На рисунке 34 дано графическое представление деформации верхней и нижней пластин при различных температурах, полученное в исследовании Сурниной Н. А. [84].

Деформация изделия и его спекание начинаются на стадии нагрева, поскольку температура стекла сначала поднимается до температуры текучести (700–750 °С), при которой исчезают признаки твердого состояния стекломассы, а затем превышает ее. Так, при нагреве до 700 °С поверхность спекания деталей уже настолько велика, что сдвинуть их, не разрушая, не представляется возможным, но деформация, видимая невооруженным глазом, еще отсутствует. Из-за высокой вязкости стекломассы спекание происходит только в точках контакта выпуклостей поверхности стекла. При повышении температуры до 740 °С поверхность спекания увеличивается, изделие деформируется, а оплавливающиеся острые кромки скругляются под действием сил поверхностного натяжения. Если нагреть изделие до 780 °С, то спекание про-

изойдет почти по всей поверхности контакта деталей, а деформация увеличится.



а)



б)

Рисунок 34 – Формообразование при изменении температуры:  
 а – этапы температурной деформации; б – 1,2 – исходные контуры нижней и верхней пластин соответственно, 3,4 – контуры пластин после спекания

Сделано общее заключение о том, что на начальной стадии спекания размеры в плане нижней пластины уменьшаются на 0,1–12 %, а на последующих стадиях – увеличиваются на 0,1–3,4%; размеры в плане верхней пластины увеличиваются на 0,2–27 %. В угловых зонах течение стекломассы замедляется, что ведет к неравномерной деформации, визуальнo ощутимому искривлению профиля пластин изделия и концентрации остаточных напряжений в угловых зонах. Неравномерность деформации размеров нижней пластины в плане достигает 5,5 %, верхней – 4 %. Полученные оценки хорошо подтверждают известные из опыта работы в технологии фьюзинга качественные представления о геометрических трансформациях исходных параметров спекаемого комплекта стекол. Важным является вывод о том, что полученные численные оценки деформаций можно считать сравнительно небольшими и учитывать в проектировании художественных изделий из стекла с использованием других материалов, в частности, внедряемого в стекло металла для крепления.

Эти результаты легли в основу проведенного в настоящей работе экспериментального исследования статистики появления дефектов в области закрепления подвеса петлеобразной формы из медной проволоки при спекании. Использование крепления в виде петлеобразного металлического подвеса для изделия из стекла в технологии фьюзинга позволяет закреплять изделие непосредственно на стене или вертикальной части предметного наполнения интерьера, а также подвешивать к потолку или к горизонтальной части предметного наполнения. Вид и материал крепления должны согласовываться с общей художественной стороной изделия и соответствовать своему утилитарному назначению.

Технологии спаивания металла со стеклом учитывают в первую очередь напряжения, обусловленные различием коэффициентов термического расширения для предупреждения разрушений спая. Напряжения не должны превышать пределов прочности стекла на растяжение, а выбор технологии отжига вести к снижению напряжений. Известно также, что стекло должно

иметь высокую прочность и термоустойчивость, температуру обработки ниже температуры плавления металла, а граница спая представлять гладкую поверхность типа цилиндра или плоскости. Спаи стекла с металлом принято называть согласованными, когда коэффициенты линейных расширений материалов близки во всем интервале рабочих температур (платинит, платина, ковар, вольфрам), и несогласованными для материалов с заметно отличающимся линейным расширением (медь, никель, сталь). Для исключения связанных с температурными напряжениями дефектов в случае применения несогласованного спая предусматривается конструкция деталей из металла, допускающая их свободную деформацию. Из практики следует, что одним из лучших металлов для несогласованного спая со стеклом является медь. Медь обладает высокой пластичностью, хорошей адгезией окисной пленки в месте спая со стеклом, высоким значениям электро- и теплопроводности [88].

Для анализа использовались три вида образцов изделия с креплением из медной проволоки с одинаковой пластиной стекла подложки и накладки в виде стеклянной крошки, пластины из стекла меньшего, чем подложка размера и декоративного стекла. Испытывались 50 одинаковых по структуре комплектации образцов для каждого из трех вариантов проектируемого изделия.

На рисунке 35 приведен общий вид одного из 50 образцов спекаемого комплекта с накладкой в виде стеклянной крошки. Геометрические размеры подложки всех образцов составляли 60x40 мм и 4,18 мм толщина стекла, накладка 40x40 мм и 4,18 мм толщина стекла, медная проволока в виде нити диаметром 1 мм. Общая длина проволоки подвеса 80 мм, погруженная в стекло часть – 60 мм, вне стекла – 20 мм. По результатам спекания проводился анализ образца и его осмотр с 5-кратным увеличением для обнаружения дефектов типа помутнений и трещиноватостей в области сочленения с металлом и по всей зоне спекания подложки и накладки.



Рисунок 35 – Образец с петлеобразным подвесом из медной проволоки между пластиной подложки и стеклянной крошкой накладки

Для всех рассматриваемых образцов при используемом увеличении не определено появление помутнений и трещиноватого слоя стекла по объему. Отсутствие исследуемых дефектов во всех образцах является существенным показателем для качественных оценок художественных характеристик проектируемых в таких технологиях изделий. Можно заключить, что подобный вид крепления с высокой степенью достоверности обеспечивает отсутствие дефектов типа помутнений и трещиноватостей.

На рисунке 36 приведен общий вид одного из 50 образцов спекаемого комплекта с накладкой в виде стеклянной пластины.

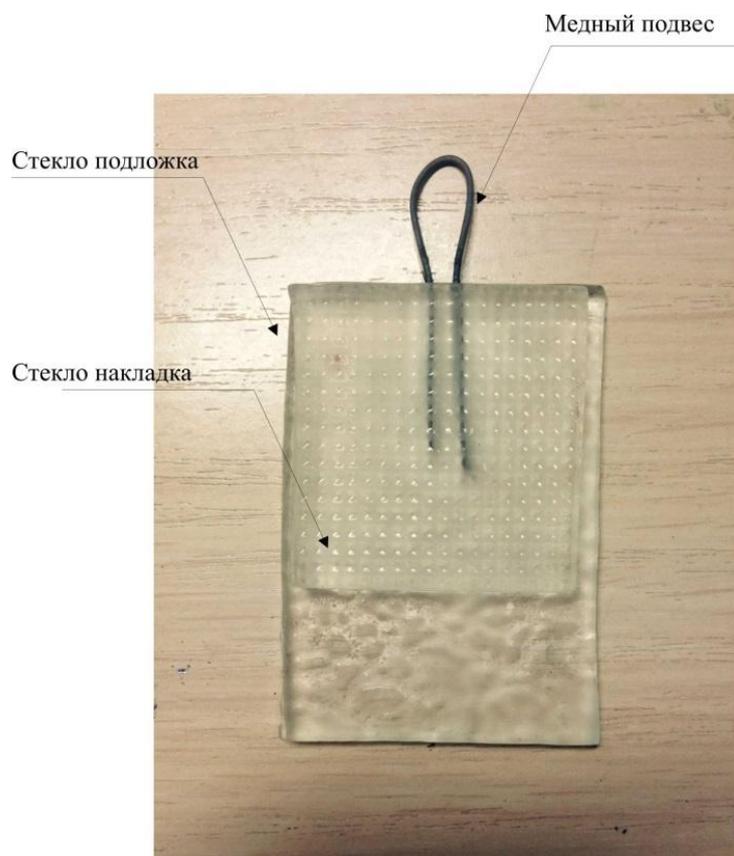


Рисунок 36 – Образец с петлеобразным подвесом из медной проволоки между пластиной подложки и накладкой меньшего размера

Геометрические размеры подложки всех образцов составляли 60x40 мм и 4,18 мм толщина стекла, стеклянная крошка с размерами 2–5 мм в диаметре и медная проволока в виде нити диаметром 1 мм. Общая длина проволоки подвеса 80 мм, погруженная в стекло часть – 40 мм, вне стекла – 40 мм. По результатам спекания проводился анализ образца и его осмотр с 5-кратным увеличением для обнаружения дефектов типа помутнений и трещиноватостей в области сочленения с металлом и по всей зоне спекания подложки и накладки.

Для рассматриваемых образцов при используемом увеличении не определено появление помутнений и трещиноватого слоя стекла по объему в 44 случаях. В 6 образцах обнаружены участки трещиноватого слоя в стекле вокруг области внедрения медного подвеса при отсутствии участков с по-

мутнениями. Таким образом, статистика дает 12 % образцов с визуально обнаруживаемыми дефектами типа трещиноватостей, что свидетельствует о необходимости строгого контроля при использовании подобной технологии крепления в изготовлении художественных изделий.

На рисунке 37 приведен общий вид одного из 50 образцов спекаемого комплекта с накладкой в виде декоративного стекла.



Рисунок 37 – Образец с петлеобразным подвесом из медной проволоки между пластиной подложки и накладкой из декоративного стекла

Геометрические размеры подложки всех образцов составляли 60x40 мм и 4,18 мм толщина стекла, накладка из декоративного стекла 40x40 мм и медная проволока в виде нити диаметром 1 мм. Общая длина проволоки подвеса 80 мм, погруженная в стекло часть – 40 мм, вне стекла – 40 мм. По результатам спекания проводился анализ образца и его осмотр с 5-кратным увеличением для обнаружения дефектов типа помутнений и трещиноватостей в области сочленения с металлом и по всей зоне спекания подложки и накладки.

Для рассматриваемых образцов при используемом увеличении не определено появление помутнений и трещиноватого слоя стекла по объему в 43 случаях. В 7 образцах обнаружены участки трещиноватого слоя в стекле вокруг области внедрения медного подвеса, а в 2 образцах из них произошло небольшое смещение накладки вместе с внедряемой проволокой подвеса. Участки с помутнениями отсутствуют во всех образцах. Таким образом, статистика дает 14 % образцов с визуально обнаруживаемыми дефектами типа трещиноватостей и 4 % образцов еще и со смещением, что свидетельствует о необходимости строгого контроля при использовании подобной технологии крепления в изготовлении художественных изделий.

## ГЛАВА 3. КОНСТРУКЦИИ КРЕПЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕТЛЕОБРАЗНЫХ ПОДВЕСОВ

### 3.1. Формы и размеры образцов

В данном параграфе рассматриваются способы крепления изделий из стекла, выполненных в технологии фьюзинга. Система креплений изделий из стекла различна. Существует множество способов крепления, и ниже приводятся примеры некоторых из них.

На рисунке 38 изображена вставка изделия в деревянную раму при помощи деревянных реек. В раме для установки стекла имеются вертикальные и горизонтальные пазы, предназначенные для сопряжения с соответствующей плоскостью стекла.

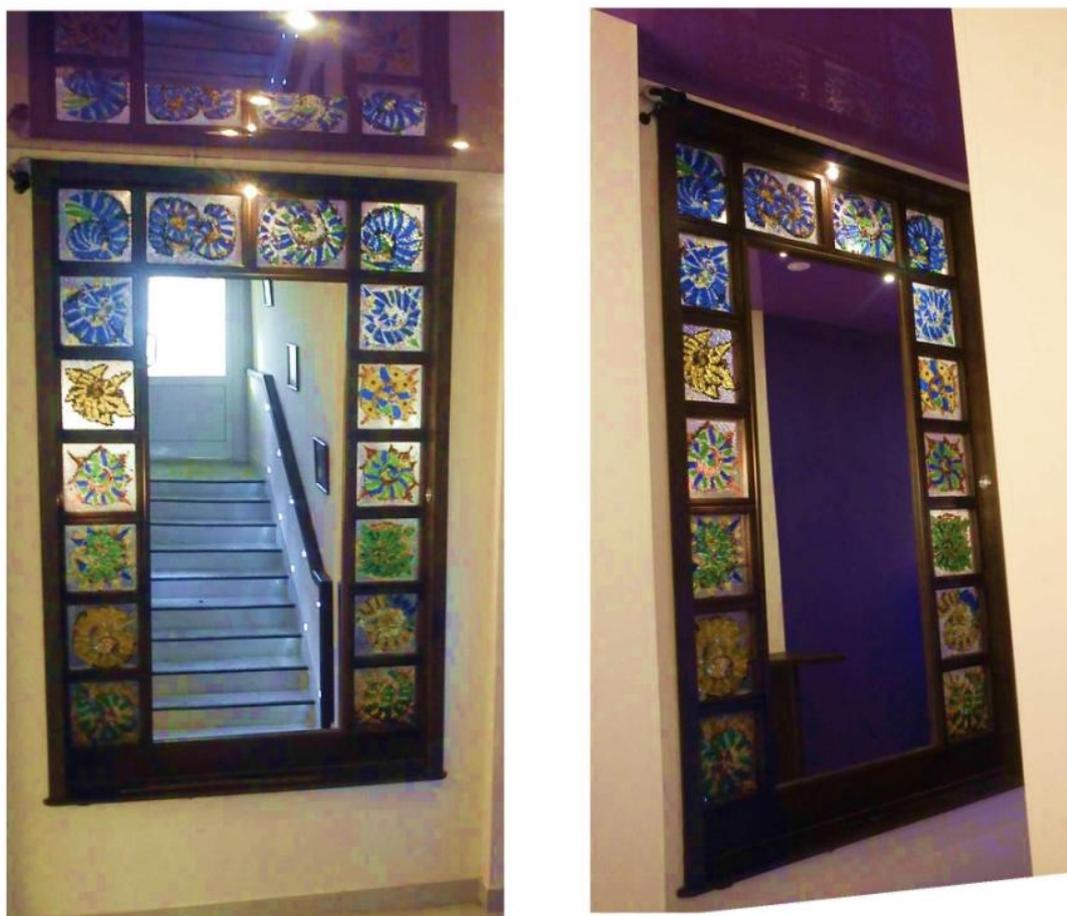


Рисунок 38 – Витраж «Ракушки» в деревянной раме с зеркальной вставкой

Монтаж стекла осуществляется следующим образом: стекло вставляется в пазы деревянной рамы и закрепляется рейками, имеющими пазы, с обратной стороны – способом без дополнительных клеящих веществ и гвоздей [32, 34, 35].

Другой способ крепления витражного изделия в металлической раме – само стекло крепится при помощи клея или зажимов. Такой способ нельзя применять в деревянной раме, так как дерево сохнет и стекло может треснуть [102].

Стеклянные изделия в металлическом каркасе смотрятся оригинально и необычно, так как это очень разные материалы по своим внешним характеристикам (рисунок 39)



Рисунок 39 – Вставка изделия в металлический каркас

Приклеивание изделий на гладкую или шероховатую поверхность стекла или зеркала – наиболее легкий способ крепления. Изделия, выполненные в технологии фьюзинга (обычно небольшие по размеру), приклеиваются либо на всю поверхность стеклянного полотна, либо на определенные зоны как элемент украшения, подчеркивающий стиль интерьера. Небольшой фрагмент такого изделия представлен на рисунке 40 [102].



Рисунок 40 – Наклеенные на стекло элементы изделия, выполненные в технологии фьюзинга

Технологии спаивания металла со стеклом учитывают, в первую очередь, напряжения, обусловленные различием коэффициентов термического расширения для предупреждения разрушений спая. Напряжения не должны превышать пределов прочности стекла на растяжение, это необходимо учитывать при выборе технологии отжига. Известно также, что стекло должно иметь высокую прочность и термоустойчивость, температуру плавления ниже температуры плавления металла, а граница спая представлять гладкую поверхность типа цилиндра или плоскости. Спаи стекла с металлом принято называть согласованными, когда коэффициенты линейных расширений материалов близки во всем интервале рабочих температур (платинит, платина,

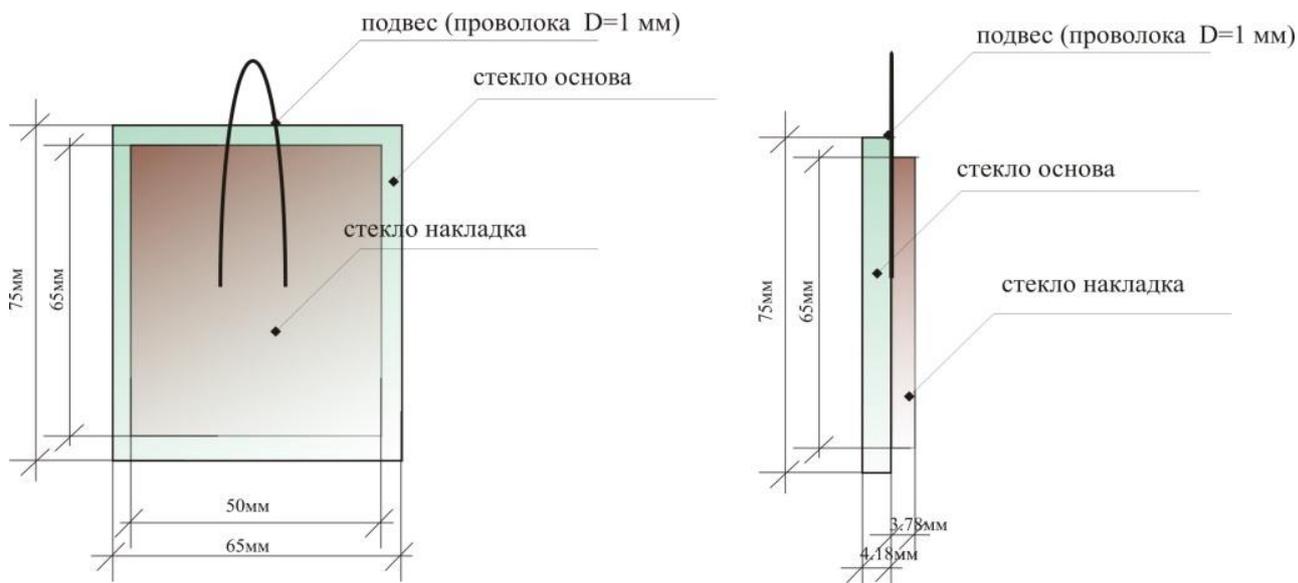
ковар, вольфрам), и несогласованными для материалов с заметно отличающимся линейным расширением (медь, никель, сталь). Для исключения связанных с температурными напряжениями дефектов в случае применения несогласованного спая предусматривается конструкция деталей из металла, допускающая их свободную деформацию.

Из практики следует, что одним из лучших металлов для несогласованного спая со стеклом является медь. Медь обладает высокой пластичностью, хорошей адгезией окисной пленки в месте спая со стеклом, высоким значениям электро- и теплопроводности. Собственный опыт также свидетельствовал о возможности использовать ее для декоративных вставок в изделия при спекании, при этом изделия сохраняли свои качества, и, практически, отсутствовало появления дефектов стекла в местах спая. При попытках использования другого материала – стали – стекло трескалось или взрывалось в диапазоне температур от 650 до 800 °С.

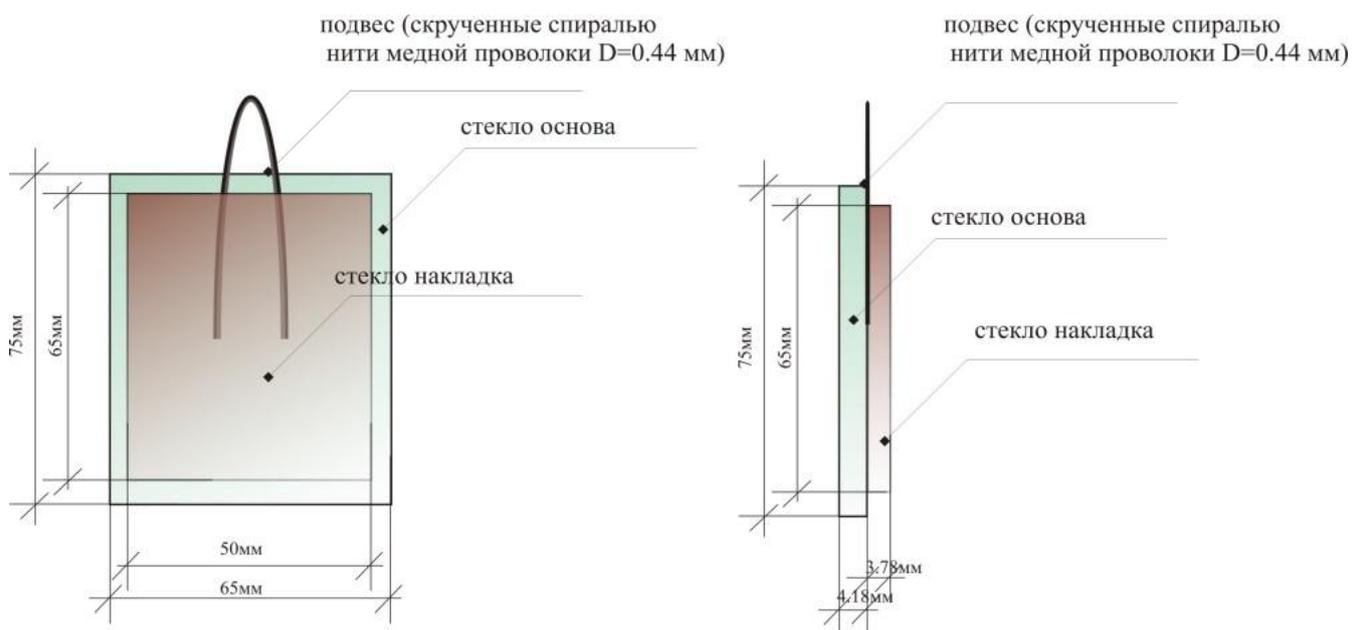
Именно медь (благодаря декоративным качествам и доступности) использовалась для исследования надежности крепления петлеобразных металлических подвесов стеклянных изделий.

Были выполнены экспериментальные образцы с подвесами. Общая схема образцов для проведения испытаний приведена на рисунке 40.

Изготовление образцов проводилось с использованием печи для фьюзинга и моллирования KFM-800E с термоконтроллером TCS-300E, управляющим технологическим процессом. Конструкция печи с размерами рабочей зоны 800×600×230 мм, потребляемой мощностью 5 кВт, максимальной температурой в рабочей камере 950 °С допускает обработку стекла толщиной до 10 мм [38, 35, 47, 48, 81, 82, 85].



a)



б)

Рисунок 40 – Схемы образцов для проведения испытаний:  
 а) – стандартный образец с подвесом (проволока D-1 мм);  
 б) – стандартный образец с подвесом (4 нити проволоки D-0,44 мм)

Общий вид образцов для проведения испытаний показан на рисунке 41: стекло-основа толщиной 4,18 мм, стекло-накладка толщиной 3,78 мм, пока-

затель расширения 96, между стеклами – медная проволока ММ диаметром 1 мм и 4 проволоки по 0,44 мм, скрученных по спирали. Изготовление образцов выполнялось при температуре 780 °С и выдержке 30 минут.

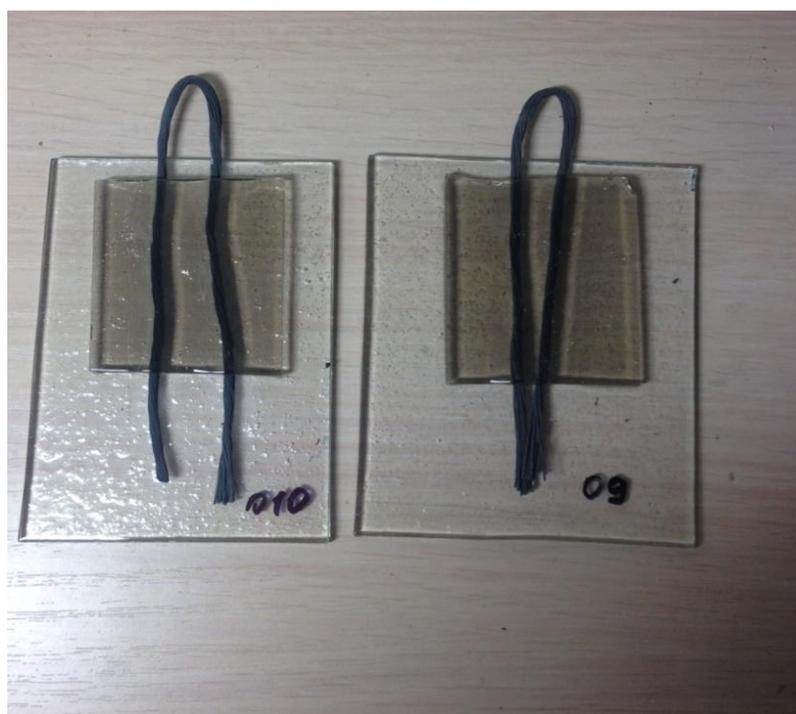


Рисунок 41 – Общий вид образцов для проведения испытаний

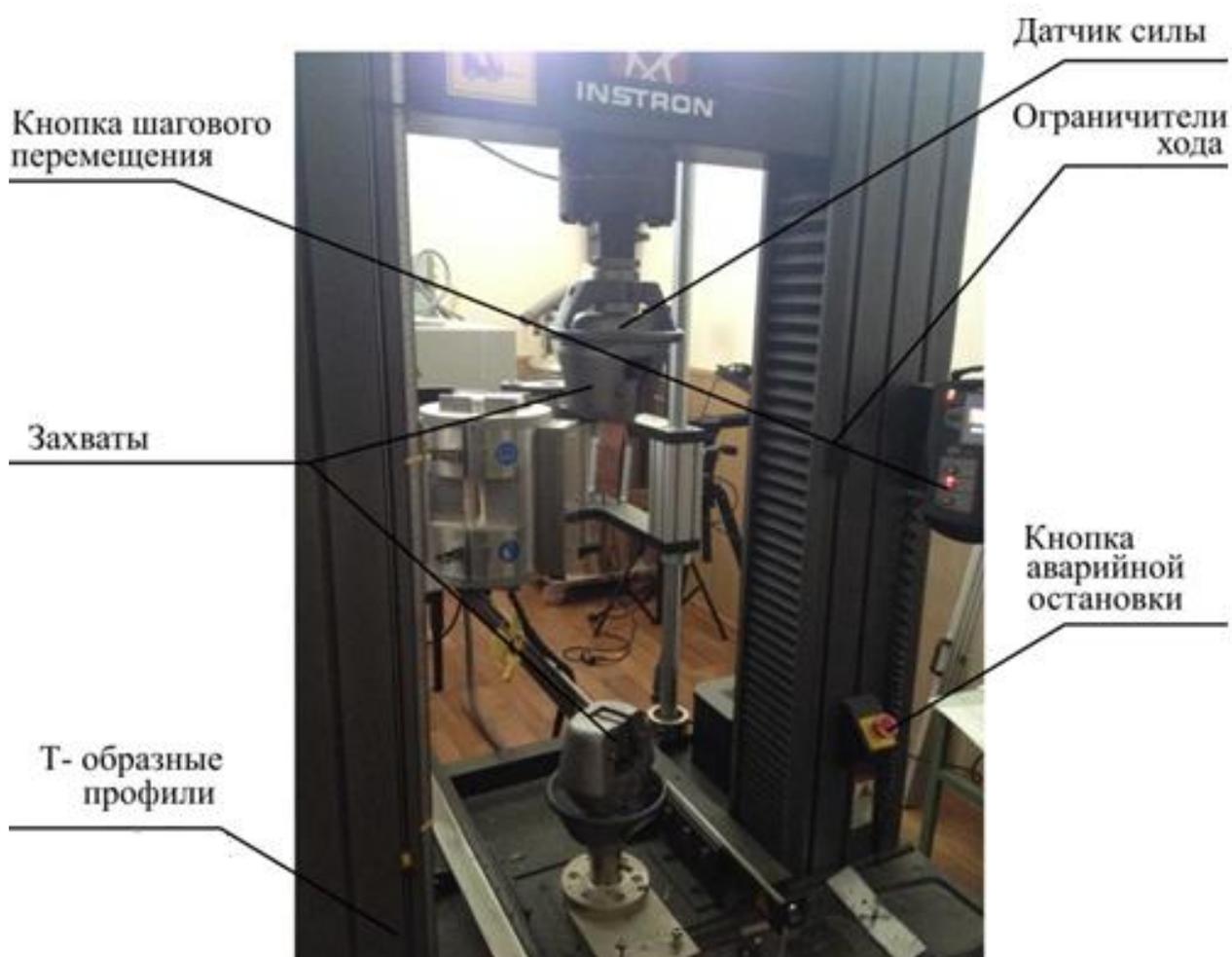
Размеры стеклянных пластин и подвесов образцов даны в таблице 8.

Таблица 8 – Размеры стеклянных пластин и подвесов образцов

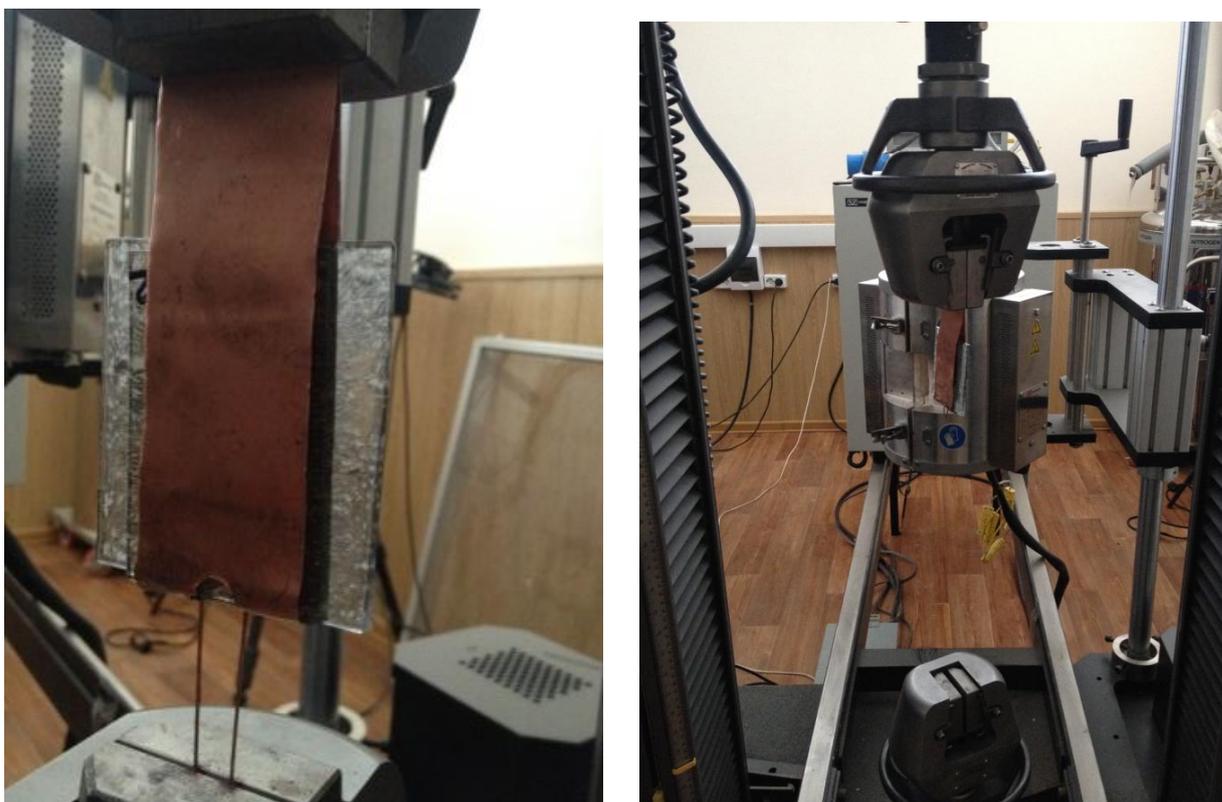
| Номер образца | Стекло-подложка                    | Стекло-накладка                    | Проволока медная, диаметр, мм                 | Проволока медная, длина, см | Длина проволоки между пластинами в образце, см | Длина петли крепления, см |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|---|-----------------------------|--|---------------------------|
| О.1           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 19,5                        | 2  | 9,5                       |
| О.2           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 19,5                        | 2  | 9,5                       |
| О.3           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 10                          | 2  | 5                         |
| О.4           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 10                          | 2  | 5                         |
| О.5           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 10                          | 4  | 5                         |
| О.6           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 10                          | 4  | 5                         |
| О.7           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 4 проволоки по 0,44 мм, скрученных по спирали | 18,5                        | 3  | 9,25                      |
| О.8           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 4 проволоки по 0,44 мм, скрученных по спирали | 18,5                        | 3  | 9,25                      |
| О.9           | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 4 проволоки по 0,44 мм, скрученных по спирали | 15,6                        | По всей длине образца                          | 7,8                       |
| О.10          | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 4 проволоки по 0,44 мм, скрученных по спирали | 15,6                        | По всей длине образца                          | 7,8                       |
| О.11          | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 10                          | По всей длине образца                          | 5                         |
| О.12          | 75×65 см<br>толщина стекла 4,18 мм | 50×65 см<br>толщина стекла 3,78 мм | 1   | 10                          | По всей длине образца                          | 3                         |

### 3.2. Предлагаемая методика испытаний креплений

Испытания специально изготовленных образцов проводились на установке лаборатории кафедры строительной механики Иркутского государственного технического университета. Образцы представляли собой комплекты, состоящие из плоских верхней и нижней пластин и внедренным между ними петлеобразным подвесом. Использовалась универсальная электромеханическая испытательная машина INSTRON 5989 (600 кН), являющаяся разрывной машиной для широкого спектра лабораторных исследований. На рисунке 42 приведен общий вид испытательной машины.



a)



б)

Рисунок 43 – Универсальная электромеханическая испытательная машина INSTRON 5989:

*а* – общий вид испытательной машины; *б* – закрепление образца в захватах и проведение испытаний

Для определения предельных нагрузок, разрушающих петлеобразный подвес, нами были проведены специальные эксперименты, во время которых образец с выдержанными характеристиками был подвергнут нагрузке до разрушения. При этом компьютером фиксировался момент разрушения и нагрузка, ему соответствующая. Программа нагрузки задавалась с пульта управления, результаты испытания выводились на экран компьютерного монитора в виде итоговых графиков. После установки образца в захватах перемещение (сообщаемое шаговым двигателем с заданной скоростью) приводило к растягиванию металлического подвеса, испытывающего упругую, а затем пластическую деформацию. Измеряемыми величинами являлись прикладываемая сила (Н) и удлинение проволоки, мм.

### **3.3. Анализ проведенных испытаний и изготовление изделий по полученным результатам**

*Результаты испытаний.* Образцы разделялись на шесть пар с длинами подвесов вне стекла и в стекле соответственно: 50 и 20 мм, 50 и 40 мм, 50 мм по всей длине образца, 78 мм по всей длине образца, 92,5 и 30 мм, 95 и 20 мм. Металлический подвес изготовлялся из одинарной нити медной проволоки диаметром 1 мм, а в образцах с длиной подвеса вне стекла 78 и 92,5 мм – из скрученных спиралью четырех нитей медной проволоки диаметром 0,44 мм. На рисунке 44 представлены экранные формы результатов испытаний шести пар образцов с различными длинами и нитями подвесов. Рассматриваемые экранные формы являются характерными и охватывают основные анализируемые показатели.

На рисунке 44, *а* показаны результаты для пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 95 и 20 мм. Видно, что для первого образца максимальная нагрузка, связанная с переходом от упругой деформации к пластической происходит на 295 Н с растяжением проволоки на 15 мм. Для второго аналогичного образца максимальная нагрузка составила 278 Н с растяжением на 8,6 мм (следует отметить, что данная экранная форма с другим масштабом).

На рисунке 44, *б* показаны результаты для следующей пары образцов с другими длинами подвесов, составляющими вне стекла и в стекле 50 и 20 мм. Из анализа показанной экранной формы следует, что в случае для первого образца максимальная нагрузка составила 166 Н с растяжением проволоки на 7,5 мм, за которым произошел разрыв проволоки у основания вследствие повреждения ее захватом машины. В случае второго аналогичного образца видно, что максимальная нагрузка составила 202 Н с итоговым растяжением на 3,4 мм.

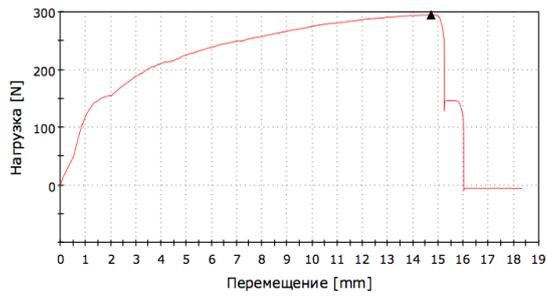
На рисунке 44, *в* показаны результаты для пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 50 и 40 мм. Видно, что для первого образца

максимальная нагрузка составила 238 Н с растяжением проволоки на 3,9 мм. Для второго аналогичного образца максимальная нагрузка составила 270 Н с растяжением на 5,4 мм.

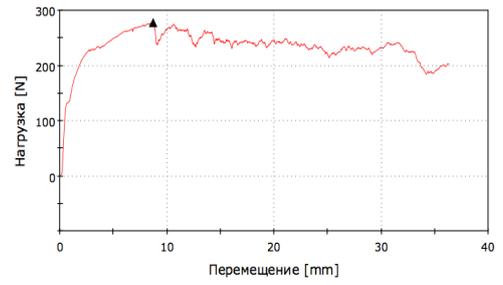
На рисунке 44, *з* показаны результаты для пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 92,5 и 30 мм, но в данном случае использовался подвес в виде скрученных спиралью четырех нитей медной проволоки диаметром 0,44 мм. Видно, что для первого образца первая пиковая нагрузка составила 456 Н с растяжением скрутки на 4,5 мм, а далее рост нагрузки продолжался до максимальной в 491 Н с переходом к пластической деформации и общим растяжением на 11,2 мм. Для второго аналогичного образца максимальная нагрузка составила 687 Н с растяжением на 7,9 мм (следует отметить, что данная экранная форма с другим масштабом).

На рисунке 44, *д* показаны результаты для пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 78 мм по всей длине образца, но в данном случае использовался подвес в виде скрученных спиралью четырех нитей медной проволоки диаметром 0,44 мм. Для первого образца первая пиковая нагрузка составила 307 Н с растяжением скрутки на 2,4 мм, но рост нагрузки продолжался до максимальной в 480 Н с переходом к пластической деформации и общим растяжением на 10,5 мм. Для второго аналогичного образца максимальная нагрузка составила 423 Н с растяжением на 7,4 мм.

На рисунке 44, *е* показаны результаты для пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 50 мм по всей длине образца. Для первого образца первая пиковая нагрузка составила 137 Н с растяжением проволоки на 1,2 мм, далее рост нагрузки продолжался до максимальной в 247 Н с переходом к пластической деформации и общим растяжением на 8,2 мм. Для второго аналогичного образца максимальная нагрузка составила 295 Н с растяжением на 13,5 мм [23, 28, 79, 89].

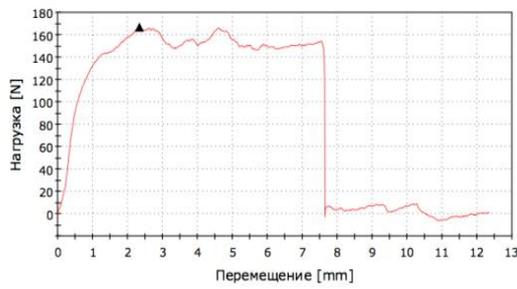


|   | Максимум Нагрузка [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 294,98199             | 6,00000                     | 294,98199                                  |

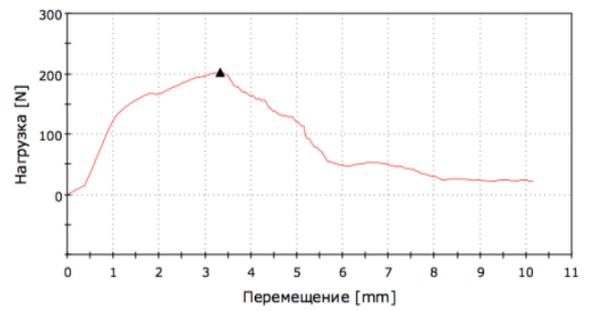


|   | Максимум Нагрузка [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 277,96527             | 6,00000                     | 277,96527                                  |

a)

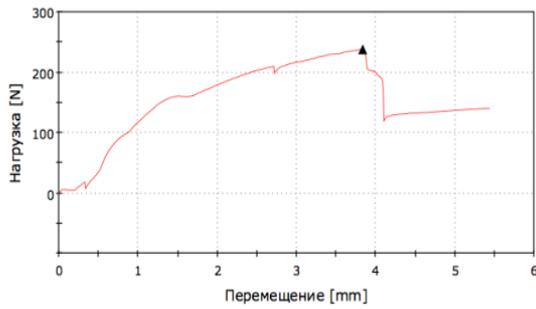


|   | Максимум Нагрузка [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 166,85251             | 6,00000                     | 166,85251                                  |

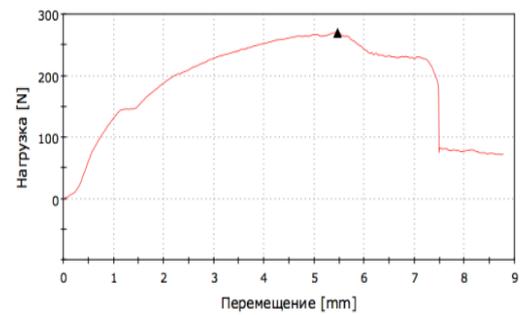


|   | Максимум Нагрузка [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 202,99298             | 6,00000                     | 202,99298                                  |

б)

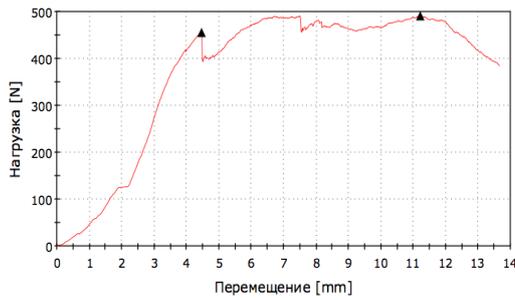


|   | Максимум Нагрузка [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 237,82372             | 6,00000                     | 237,82372                                  |

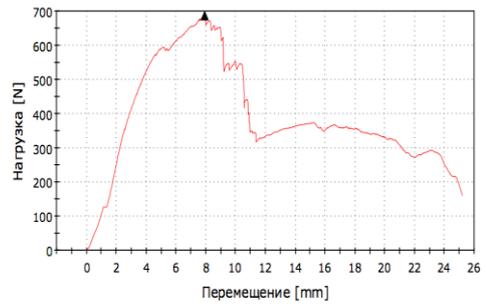


|   | Максимум Нагрузка [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 269,71182             | 6,00000                     | 269,71182                                  |

в)

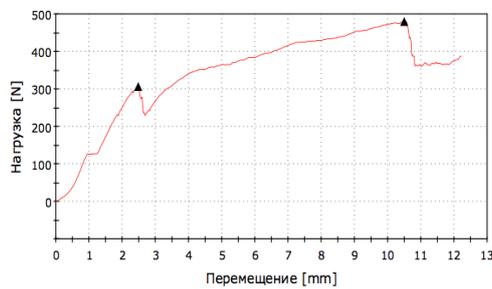


|   | Максимум Нагрузки [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 490,94818             | 6,00000                     | 455,65189                                  |



|   | Максимум Нагрузки [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 687,33478             | 6,00000                     | 687,33478                                  |

г)

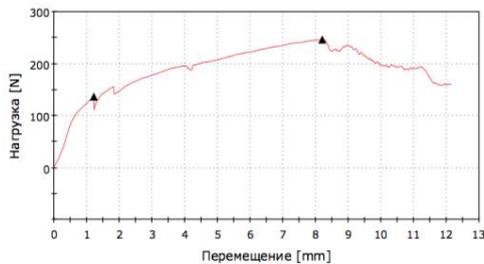


|   | Максимум Нагрузки [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 480,09482             | 6,00000                     | 307,08191                                  |

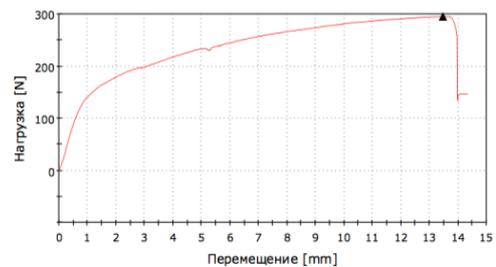


|   | Максимум Нагрузки [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 422,98663             | 6,00000                     | 422,98663                                  |

д)



|   | Максимум Нагрузки [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 246,64467             | 6,00000                     | 136,89790                                  |



|   | Максимум Нагрузки [N] | Скорость на шаге 1 [mm/min] | Пик локальный Максимум (Нагрузка 10 %) [N] |
|---|-----------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 295,15851             | 6,00000                     | 295,15851                                  |

е)

Рисунок 44 – Графики результатов испытаний:

- а) – пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 95 и 20 мм;
- б) – пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 50 и 20 мм;
- в) – пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 50 и 40 мм;
- г) – пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 92,5 и 30 мм;
- д) – пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 78 мм по всей длине образца;
- е) – пары образцов с длинами подвесов вне стекла и в стекле 50 мм по всей длине образца

Анализ испытаний показывает, что для всех образцов наблюдается прочность крепления подвеса в стекле (масса изделий из стекла – до 5 кг) [10]. На прочности крепления сказывается длина подвеса в стеклянном теле изделия, но практически не заметно влияние длины подвеса вне стекла. Для образцов с длинами подвесов 50 мм вне стекла и 20 и 40 мм в стекле различие в максимальной нагрузке составляет около 70 Н.

Увеличение прочности крепления отмечается в случае использования подвеса из скрученных спиралью четырех нитей медной проволоки диаметром 0,44 мм в сравнении с подвесом из одинарной нити диаметром 1 мм. Максимальные нагрузки увеличиваются почти в два раза, достигая в одном из образцов с длиной подвеса вне стекла и в стекле 92,5 и 30 мм величины 687 Н. В случае использования подвеса из четырех нитей увеличение прочности можно отнести к некоторому увеличению площади соприкосновения поверхности подвеса в стекле.

Следует отметить, что во всех экспериментах не происходило разрушения стекла в области подвеса, приводящего к изменению внешнего вида образца. Переход нагрузки на подвес от упругой к пластической деформации не сопровождался снижением прозрачности стекла и его растрескиванием. Такой вывод может быть важен с точки зрения сохранения эстетических качеств декоративных изделий из стекла в технологии фьюзинга с петлеобразными металлическими подвесами. Нарушения такого вида крепления может быть лишь в случае полного разрушения петли либо при разрушении стекла или связи между ними.

После проведенного эксперимента были выполнены декоративные изделия из стекла в технологии фьюзинга с петлеобразными металлическими подвесами (рисунки 45, 46, 47). Художественные изделия из стекла, выполненные в технологии фьюзинга, размещались в интерьере с использованием различных видов установки и крепления. Одним из видов крепления является петлеобразный металлический подвес, позволяющий закреплять изделие непосредственно на стене или в вертикальной части предметного наполнения

интерьера, а также подвешивать к потолку или к горизонтальной части предметного наполнения. Вид и материал крепления должны согласовываться с общей художественной стороной изделия и соответствовать своему утилитарному назначению.

Технология крепления изделий из стекла зависит от типовых характеристик стекла, а также характера и величины нагрузок. Основу крепежной системы на петлеобразных подвесах составляют основные элементы – металлические подвесы, при помощи которых изделия крепятся к стене или потолку, они могут иметь широкий диапазон регулирования по высоте, ширине крепления к стеклянному элементу и его длине.



Рисунок 45 – Изделия из цветного стекла в технологии фьюзинга с металлическими подвесами



Рисунок 46 – Изделия из цветного стекла в технологии фьюзинг с металлическими подвесами с нанесением потали



Рисунок 47 – Изделия из цветного стекла миллефиори в технологии фьюзинг

с металлическими подвесами

Данный способ крепления позволяет значительно повысить надежность крепления изделия и его эстетические качества. В зависимости от желания петлеобразный подвес можно выполнить и скрытым способом, когда металлическая петля не выступает за пределы изделия.

Причинами облома подвеса может быть неправильный монтаж или недостаточная прочность материала как стекла, так и металла. Связь крепежного элемента и стекла осуществляется за счет спекания двух стеклянных пластин без применения дополнительных клеев. Металлические петлеобразные подвесы могут быть использованы не только для изделий, предназначенных для оформления интерьеров, но и для более мелких изделий, например, украшений [38, 35, 85].

### **3.4. Влияние температуры при спекании на размеры технологических отверстий**

При изготовлении изделий технологией фьюзинга отверстия для креплений в элементе основы, на которой располагается рисунок, делаются до обработки в печи, так как если делать это после, то возможны растрескивания вокруг отверстия, или появится необходимость их дополнительной шлифовки. В настоящем исследовании при изготовлении изделий был использован способ механического просверливания отверстия в основе изделия до его обработки в печи. Задачей исследования являлось определение величин изменения размеров или диаметра отверстий и расстояний между отверстиями.

Была исследована зависимость влияния разных температур при спекании изделий из стекла на расстояние между заранее выполненными технологическими отверстиями и их диаметром.

Для проведения исследования были разработаны светильники для оформления интерьеров помещений с отверстиями для их крепления к опоре, Расстояния между отверстиями в стеклянной заготовке 17 см и диаметр са-

мих отверстий 3 мм и 5 мм были выбраны для уже разработанного и заранее выполненного металлического основания.

Общая схема устройства светильников для экспериментов показана на рисунке 48.

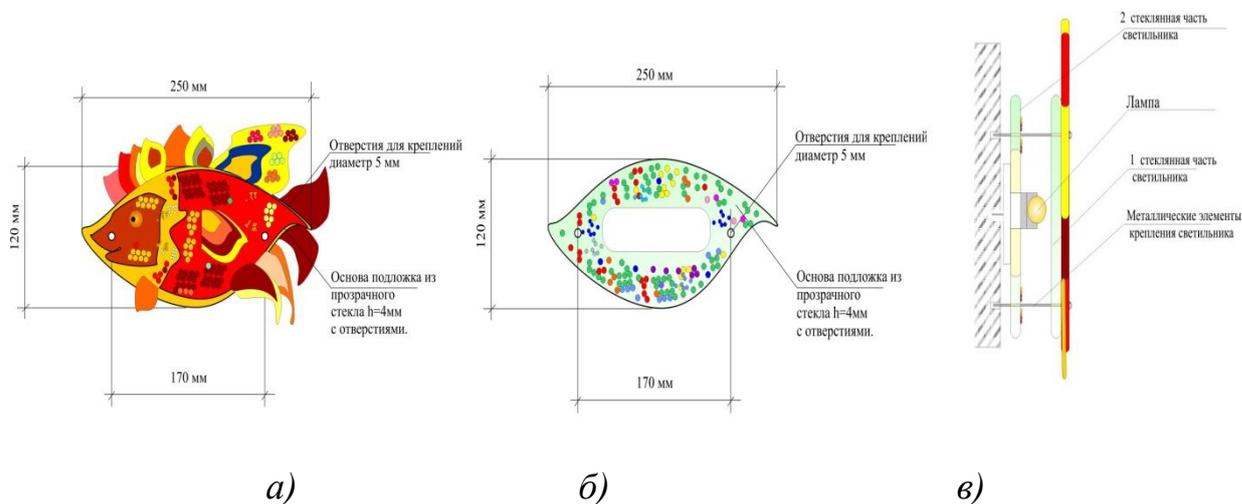


Рисунок 48 – Схема образцов светильника:

*а* – 1 стеклянная часть светильника; *б* – 2 стеклянная часть светильника;  
*в* – схема светильника (вид сбоку)

Показанный на рисунке 49 декоративный светильник имеет стилизованные под форму рыбы витражные стеклянные элементы, выполненные в технологии фьюзинга. Устройство для закрепления стеклянных элементов (1), (2) с заранее выполненными отверстиями содержит две металлических трубки (3), которые крепятся к металлическому основанию светильника (5) и к стене (7), элементы прикручиваются к стеклу при помощи шурупов и хромированных накладок в виде полусферы.

Во втором декоративном стекле имеется отверстие (8) для лампы, которая крепится к металлическому основанию, в него же встроена компактная люминесцентная лампа со стандартным бытовым патроном. Крепление к стене металлического основания осуществляется при помощи дюбелей. Эта конструкция может крепиться к металлическому основанию светильника, но для повышения надежности крепится непосредственно к стене. В зависимо-

сти от особенностей электрики в помещении светильник может иметь специальный стационарный вывод и работать от выключателя или быть переносным (с проводом и вилкой для розетки).

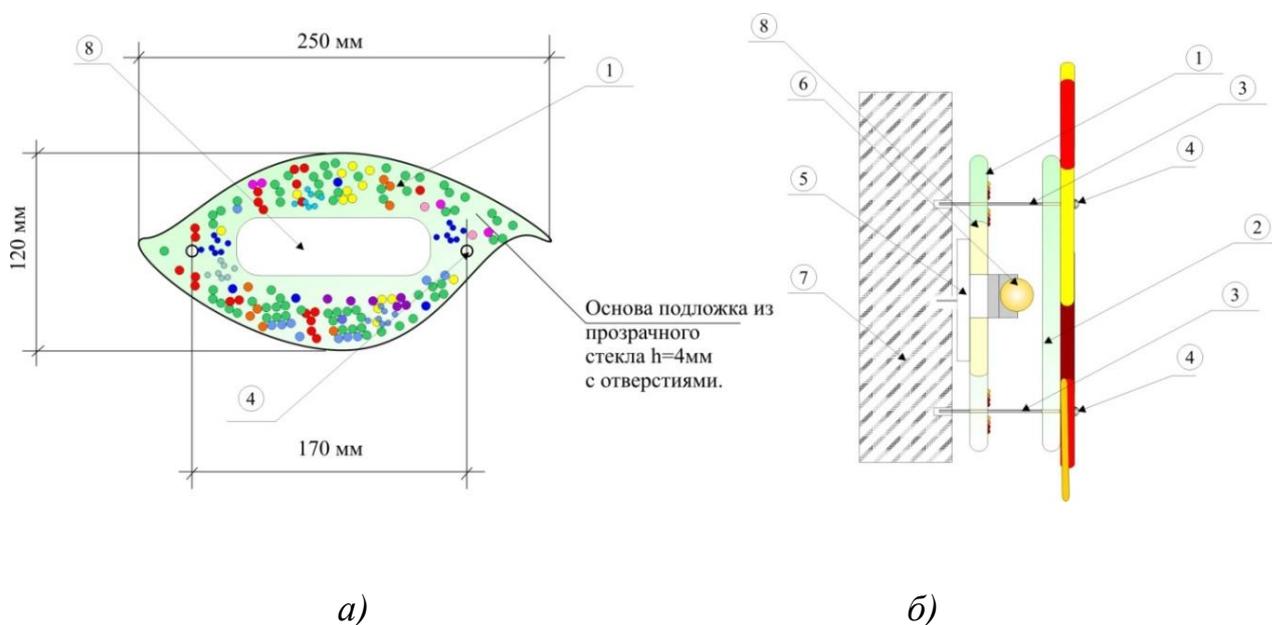


Рисунок 49 – Схема образцов светильника:

*а* – 1 стеклянная часть светильника; *б* – схема светильника (вид сбоку), где 1 – первое декоративное стекло основа с цветными накладками и отверстиями, 2 – декоративное стекло основа, с накладками и отверстиями, (сама рыба), 3 – две металлических трубки, 4 – хромированный болт, 5 – металлическое основание светильника, 6 – лампа, 7 – стена, 8 – отверстие для лампы

#### *Процесс изготовления светильника и методика замеров*

Основа вырезается стеклорезом, располагается снизу – под основным рисунком. Она представляет собой прозрачное стекло 4 мм с коэффициентом расширения – 96, в котором делают два отверстия по 5 мм в диаметре на расстоянии 170 мм.

Второй тип образцов с отверстиями диаметром 3 мм выполняется таким же способом. Расстояние выполняется в соответствии с металлической основой светильника. Размеры между отверстиями и их диаметр, а также толщина образцов были измерены до запекания и после при помощи электронного штангенциркуля 150 мм и электронной рулетки DISTO D2. Длина

образцов  $L$  – 250 мм; ширина образцов  $B$  – 120 мм; толщина образца  $h$  – 4 мм.

Для эксперимента были выполнены образцы изделий при разной температуре спекания в диапазоне от 550 °С до 800 °С в печи для фьюзинга и моллирования KFM-800E. В таблицах 9, 10 представлены режимы спекания и изменения размеров технологических отверстий в стекле-подложке с диаметром отверстия 5 мм и толщиной стекла-подложки 4 мм и с диаметром отверстия 3 мм и толщиной стекла-подложки 4 мм.

Таблица 9 – Режимы спекания и изменения размеров технологических отверстий в стекле-подложке

(диаметр отверстия – 5 мм, толщина стекла-подложки – 4 мм)

| Номер образца | 550 °С | 600 ° | 650 °С | 700 °С | 750 °С | 800 °С |
|---------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1             | 4,87   | 4,86  | 4,83   | 4,80   | 4,79   | 4,76   |
| 2             | 4,88   | 4,85  | 4,80   | 4,81   | 4,77   | 4,75   |
| 3             | 4,88   | 4,84  | 4,82   | 4,80   | 4,79   | 4,74   |
| 4             | 4,87   | 4,85  | 4,83   | 4,80   | 4,79   | 4,74   |
| 5             | 4,88   | 4,86  | 4,83   | 4,81   | 4,77   | 4,75   |
| 6             | 4,87   | 4,85  | 4,80   | 4,80   | 4,78   | 4,76   |

Таблица 10 – Режимы спекания и изменения размеров технологических отверстий в стекле-подложке

(диаметр отверстия – 3 мм, толщина стекла-подложки – 4 мм)

| Номер образца | 550 °С | 600 ° | 650 °С | 700 °С | 750 °С | 800 °С |
|---------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 1             | 2,88   | 2,82  | 2,83   | 2,80   | 2,79   | 2,75   |
| 2             | 2,88   | 2,85  | 2,80   | 2,81   | 2,78   | 2,75   |
| 3             | 2,88   | 2,86  | 2,83   | 2,80   | 2,79   | 2,74   |
| 4             | 2,87   | 2,85  | 2,83   | 2,80   | 2,79   | 2,74   |
| 5             | 2,89   | 2,85  | 2,83   | 2,80   | 2,77   | 2,75   |
| 6             | 2,88   | 2,85  | 2,83   | 2,80   | 2,79   | 2,75   |

На рисунке 50 даны более наглядные графические представления характера изменений размеров исходных отверстий диаметром 5 мм при раз-

личных температурах. Для всех шести групп образцов изменения диаметров отверстий в сторону их уменьшения с ростом температуры для выбранного диапазона температур спекания с шагом 50 °С имеют вид явной линейной зависимости. Некоторые отклонения в пределах не более 0,2 мм могут объясняться различиями технологических параметров используемых материалов. Кроме того, пределы изменений размеров отверстий полностью согласуются с экспериментальными данными величин деформации верхней и нижней пластин при различных температурах, полученными Сурниной Н. А. [84]. Можно отметить и близкое к теоретическим представлениям линейное изменение диаметра отверстий на ограниченном интервале используемых температур спекания исследуемых образцов, связанное с последовательным их уменьшением при росте температуры.

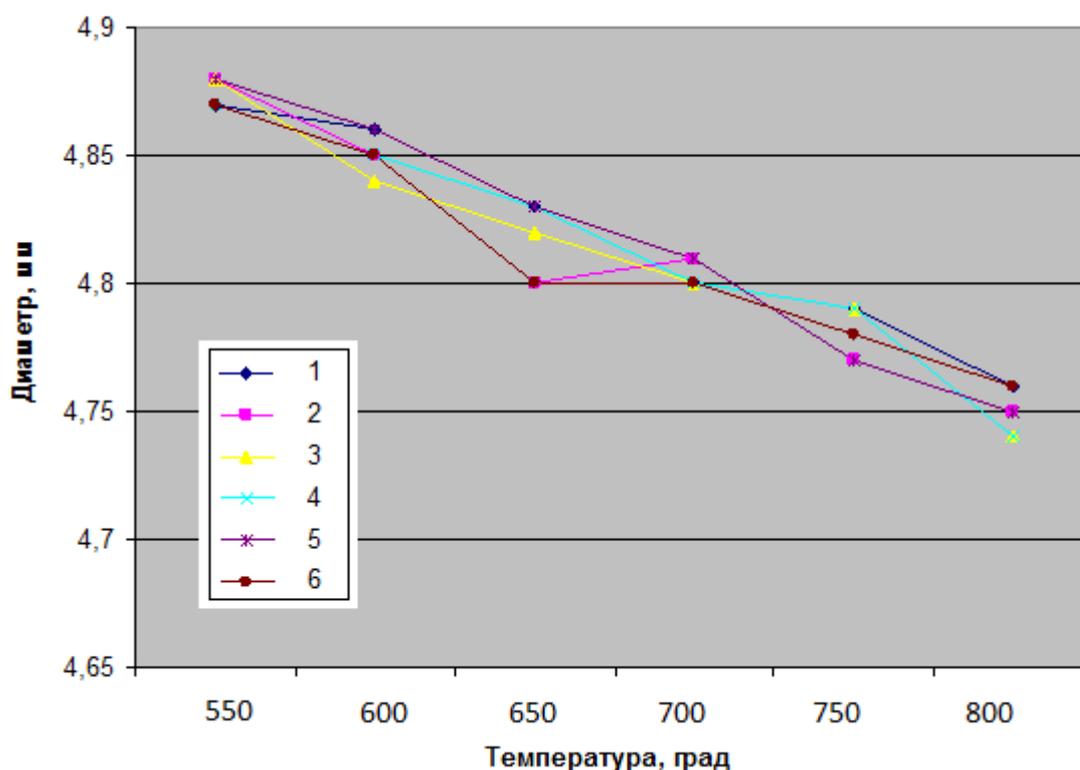


Рисунок 50 – Графики изменения размеров отверстий диаметром 5 мм шести групп образцов в зависимости от температуры спекания

На рисунке 51 представлены графики изменения диаметра отверстий для исследуемых образцов с исходным диаметром 5 мм для каждой из шести

рассматриваемых температур спекания. Хорошо заметно последовательное уменьшение диаметра отверстия образцов с ростом температуры, но при этом отсутствует какая-либо существенная зависимость изменения диаметров отверстий от образца к образцу. Отклонения для образцов составляют не более 0,4 мм, что вполне объясняется возможными технологическими отличиями, возникшими еще на стадии изготовления образцов.

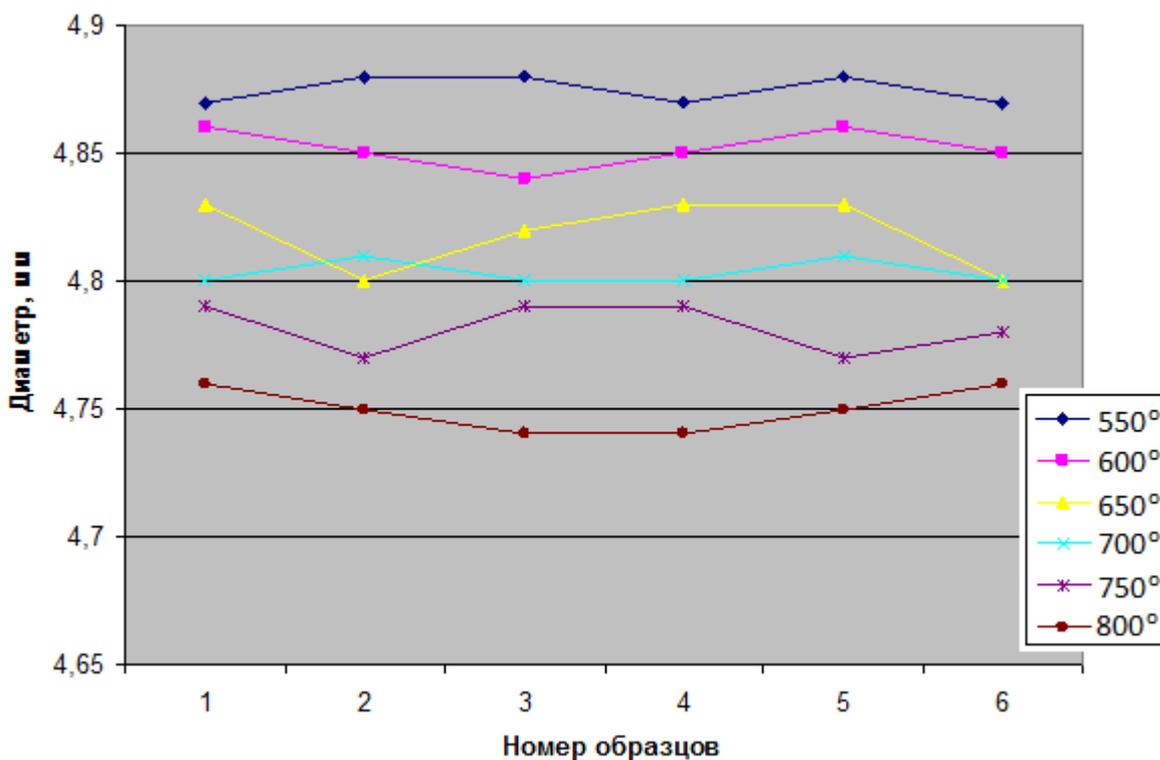


Рисунок 51 – Графики изменения размеров отверстий диаметром 5 мм исследуемых образцов для шести температур спекания

На рисунке 52 представлены графики изменений размеров исходных отверстий диаметром 3 мм при различных температурах спекания. Как и в предыдущем случае для 5 мм отверстий наблюдается отчетливая линейная зависимость изменения диаметров отверстий в сторону их уменьшения с ростом температуры для выбранного диапазона температур. Можно отметить некоторое увеличение относительного отклонения величины изменений, что также можно связать с различиями технологических параметров используемых материалов.

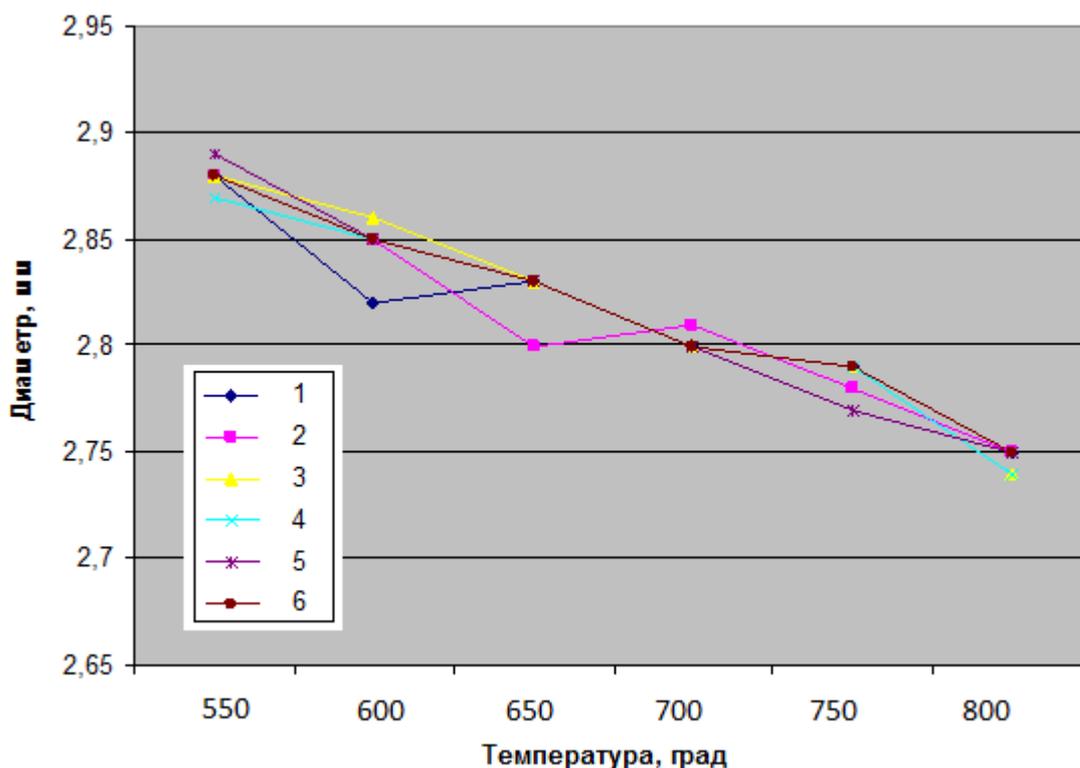


Рисунок 52 – Графики изменения размеров отверстий диаметром 3 мм шести групп образцов в зависимости от температуры спекания

На рисунке 53 представлены графики изменения диаметра отверстий для исследуемых образцов с исходным диаметром 3 мм для каждой из шести рассматриваемых температур спекания. Как и в случае с отверстиями в 5 мм видно последовательное уменьшение диаметра отверстия образцов с ростом температуры, но при этом отсутствует какая-либо зависимость изменения диаметров отверстий от образца к образцу. Отклонения для образцов по каждой из шести температур составляют не более 0,4 мм, что вполне объясняется возможными технологическими отличиями, возникшими еще на стадии изготовления образцов.

Таким образом, проведенные эксперименты на двух группах образцов позволяют сделать выводы о том, что изменение размеров технологических отверстий для крепления изделий является регулярным, соответствующим линейной зависимости от температуры спекания и известным результатам по анализу деформаций при спекании.

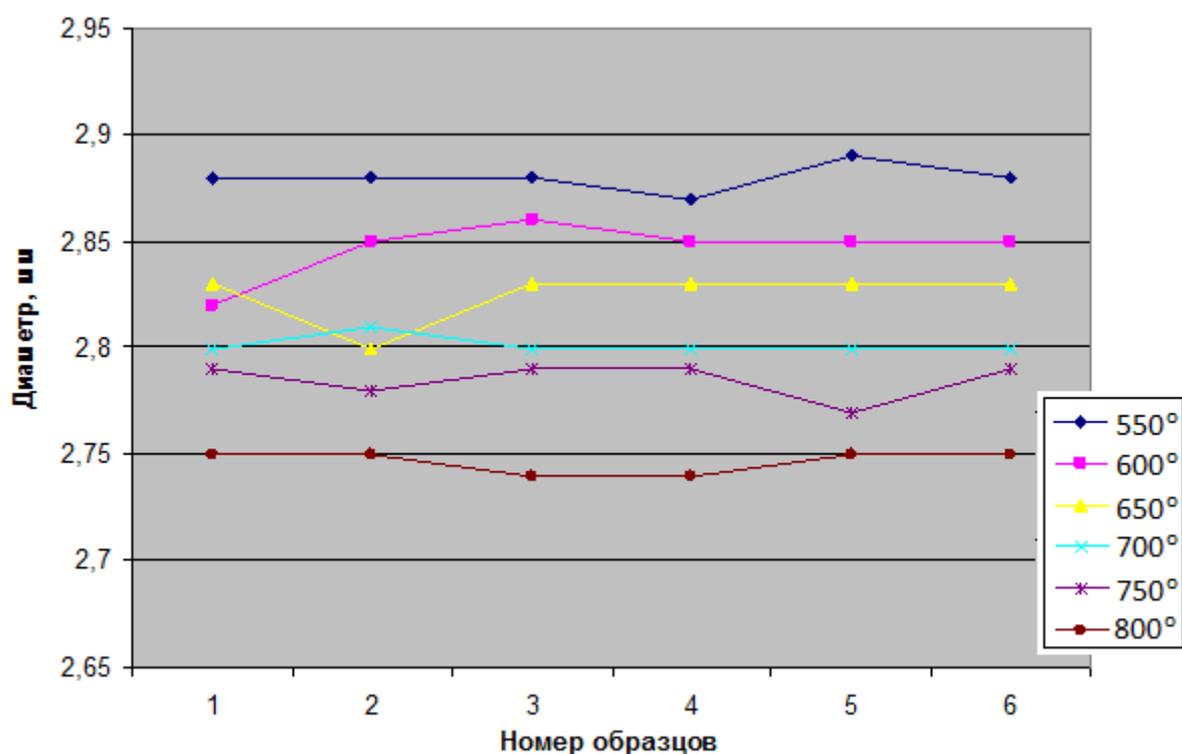


Рисунок 53 – Графики изменения размеров отверстий диаметром 3 мм исследуемых образцов для шести температур спекания

Для всех групп образцов были выполнены измерения расстояний между двумя отверстиями для крепления, которые исходно (до спекания) составляли 170 мм. В таблице 11 представлены данные по режиму спекания и изменениям расстояния между двумя технологическими отверстиями в стекле-подложке.

Таблица 11 – Режимы спекания и изменения расстояния между технологическими отверстиями в стекле-подложке (диаметр отверстия – 5 мм, расстояния между отверстиями до спекания – 17 см)

| Номер образца | 550 °С | 600 °С | 650 °С | 700 °С | 750 °С | 800 °С |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1             | 16,95  | 16,9   | 16,88  | 16,86  | 16,84  | 16,82  |
| 2             | 17,0   | 16,95  | 16,89  | 16,87  | 16,84  | 16,83  |

На рисунке 54 представлены графики изменения расстояний между двумя отверстиями для двух групп исследуемых образцов с исходным диаметром 5 мм для каждой из шести рассматриваемых температур спекания.

Можно отметить изменения расстояний между отверстиями в сторону их уменьшения с ростом температуры с зависимостью близкой к линейной. Пределы изменений расстояний по всему диапазону температур спекания составляют менее 2 мм, что хорошо укладывается в теоретические представления.

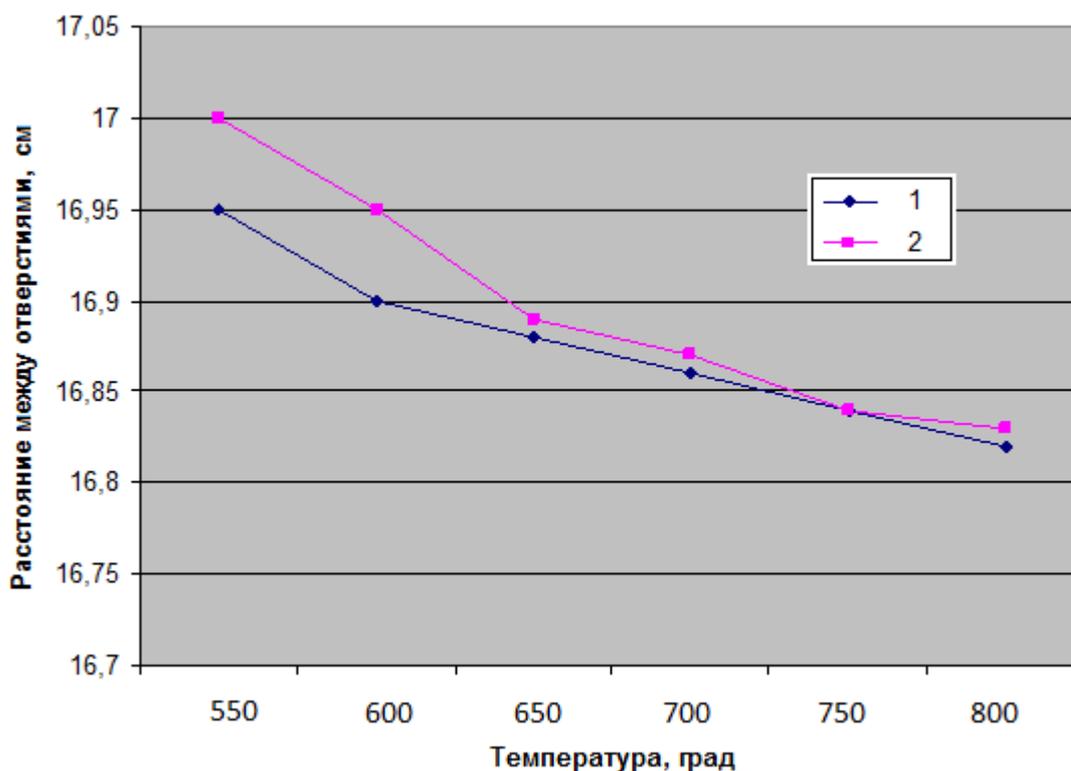


Рисунок 54 – Графики изменения расстояний между двумя технологическими отверстиями в образцах диаметром 5 мм в зависимости от температуры спекания

Проведенные испытания с использованием специально изготовленных групп образцов позволили убедиться в высокой предсказуемости возможных трансформаций размеров технологических отверстий, выполняемых в основе изделия до процесса спекания, а также в перспективности подобной технологии устройства крепления изделий. Таким образом, вполне допустимо выполнение отверстий в изделиях до спекания, а не после него, что значительно

улучшает качество изделия и не ведет к его разрушению при сверлении уже после спекания [19, 61, 62, 74, 77, 88, 89].

С использованием результатов экспериментов были изготовлены художественные изделия в виде светильников, которые нашли свое применение в интерьерах. На рисунке 55 приведены светильники «Рыбы», размещенные в интерьерах ресторана «Неаполь» в г. Иркутске.



*а)*



*б)*

Рисунок 55 – Светильники «Рыбы» для ресторана «Неаполь»: *а* – виды светильников; *б* – размещение светильников в интерьере

## ГЛАВА 4. ЦВЕТНОЕ СТЕКЛО. МЕТОДИКА ПОДБОРА ЦВЕТНОГО СТЕКЛА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЕКОРАТИВНОЙ КОМПОЗИЦИИ

### 4.1. Состав цветного стекла

Используемые в практике и исследованиях стекла включают и цветные. Непосредственно цветные стекла делятся на два типа. Первый тип – стекло, приобретающее цвет при помощи пленки и в результате добавления специального красителя в исходную смесь для стекла. Другой вид цветного стекла – узорчатое. Обычно узор накладывается способом прокатки через особые рельефные валики еще не остывшего стеклянного листа [1, 9].

В таблице 12 приведен состав цветных стекол, окрашенных в массу.

Таблица 12 – Состав цветных стекол, окрашенных в массу

| Цвет стекла | SiO <sub>2</sub> | B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO | MgO | ZnO | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O |
|-------------|------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|------------------|-------------------|
| Красный     | +                | +                             | -   | -   | +   | +                | +                 |
| Оранжевый   | +                | +                             | -   | -   | +   | +                | +                 |
| Желтый      | +                | -                             | +   | +   | -   | -                | +                 |
| Зеленый     | +                | -                             | +   | +   | -   | -                | +                 |
| Синий       | +                | -                             | +   | +   | -   | -                | +                 |

Все стекла, используемые в технологии фьюзинга, различаются по своему химическому составу и физическим свойствам, поэтому при работе в технике спекания, в первую очередь, важно учесть их совместимость. Стекла с различными свойствами при застывании образуют внутренние напряжения, приводящие к появлению трещин в готовом изделии, созданном без учета технических особенностей материала.

На рисунке 56 представлена таблица основных характеристик цветного стекла разных форм с различными показателями ТКЛР, которые необходимо учитывать при обработке его в печи.

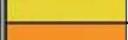
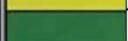
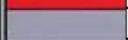
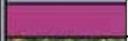
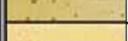
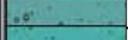
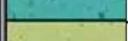
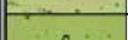
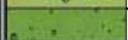
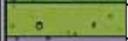
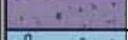
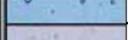
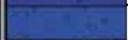
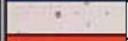
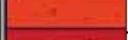
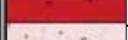
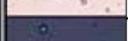
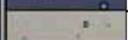
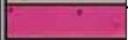
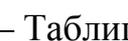
| Цвет  | название              | COE 85<br>COE 96   |
|---|-----------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|
|   |                       | Порошок          | Фритта           | Полоски          | Конфити          | Листовое<br>стекло |
|    | Черный опал           | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Белый опал            | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Янтарный опал         | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Янтарно-желтый опал   | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Оранжевый опал        | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Желто-зеленый опал    | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Светло-зеленый опал   | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Берюзово-голубой опал | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Зеленый опал          | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Темно-синий опал      | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Небесно-синий опал    | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Вишнево-красный       | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Темно-красный         | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Светло-фиолетовый     | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Розовый               | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Сверкающий зеленый    |                  |                  |                  | +                | +                  |
|    | Прозрачный            | +                | +                | +                | +                | +                  |
|    | Светло-янтарный       |                  | +                |                  |                  | +                  |
|   | Янтарный              |                  | +                |                  |                  | +                  |
|  | Ярко-желтый           |                  | +                |                  |                  | +                  |
|  | Равномерно-желтый     |                  | +                |                  |                  | +                  |
|  | Светлая бирюза        |                  | +                |                  |                  | +                  |
|  | Бирюзово-синий        |                  | +                | +                | +                | +                  |
|  | Светлый аквамарин     | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Синий аквамарин       |                  | +                | +                | +                | +                  |
|  | Желто-зеленый         |                  | +                | +                | +                | +                  |
|  | Весенняя зелень       | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Зелень травы          | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Оливковая зелень      | +                | +                |                  |                  | +                  |
|  | Светло-пурпурный      | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Небесно-синий         | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Светло-фиолетовый     | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Фиолетовый            | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Темно-синий           | +                |                  |                  | +                | +                  |
|  | Королевский синий     | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Вода и лед            |                  |                  |                  | +                | +                  |
|  | Вишнево - красный     |                  |                  |                  | +                | +                  |
|  | Красный               |                  | +                | +                | +                | +                  |
|  | Розовое шампанское    | +                | +                | +                | +                | +                  |
|  | Темно-серый           |                  |                  |                  | +                | +                  |
|  | Светло-серый          |                  |                  |                  | +                | +                  |
|  | Розовый               |                  |                  |                  | +                | +                  |

Рисунок 56 – Таблица цветного стекла для фьюзинга разных форм и цветов

Необходимо учитывать состав цветного стекла при подборе его в декоративное изделие, так как каждый цвет после спекания ведет себя по-

разному. В разделе 2.4 «Дефекты изделий из стекла» были рассмотрены возможности изменения цвета и причины его возникновения.

#### **4.2. Способы подбора цвета стекла с использованием современных цветочных систем**

Компоновать декоративное изделие в цвете – значит расположить рядом два или несколько цветов таким образом, чтобы их сочетание было предельно выразительным и приятным глазу. Для общего решения цветовой композиции имеет значение выбор цветов, их отношение друг к другу, их место и направление в пределах данной композиции, конфигурация форм, размеры цветовой площади и контрастные отношения в целом. Тема подбора цветовой композиции настолько многообразна, что здесь возможно отразить только некоторые из ее основных положений. Существует множество современных способов создания эскиза, подбора цвета и самого изделия.

Цвет, его насыщенность, возможность сочетания разных оттенков является одним из важных свойств декоративных изделий из стекла. Изменения цвета стекла связаны с теплообменными процессами, которые происходят между стекломассой и атмосферой при нагревании и охлаждении [9, 17, 21, 25].

Перед тем, как создать произведение из стекла, необходимо выполнить эскиз. Его выполняют вручную либо в компьютерной графике. Существует множество компьютерных программ для построения визуализации декоративных изделий, таких как Adobe Photoshop, Adobe Illustrator и многие другие. Одной из программ для выполнения эскизов декоративных изделий из стекла является GlassEye 2000 производства DragonflySoftware (<http://www.dfly.com>) (рисунок 57). Эта программа позволяет работать с библиотеками существующих изделий и стекол, создавать новые эскизы и осуществлять редактирование старых, производить типовые операции с изображениями, учитывая специфику стекла. Существует также программное обеспечение, которое создано для специалистов по работе со стеклом – RapidWizard (<http://www/delphiglass.com>), оно предусматривает возможность работы с шаблонами витражей. Программа имеет базовые инструменты работы с

изображением и текстом, а также библиотеку существующих стекол, что позволяет просмотреть проектируемый объект не только в различной цветовой гамме, но и с различной фактурой стекол. RapidResizer обеспечивает загрузку шаблона, его раскраску и распечатку в необходимом размере, включая деление изображения на несколько листов в тех случаях, когда размер рисунка витража больше размера бумаги в принтере.

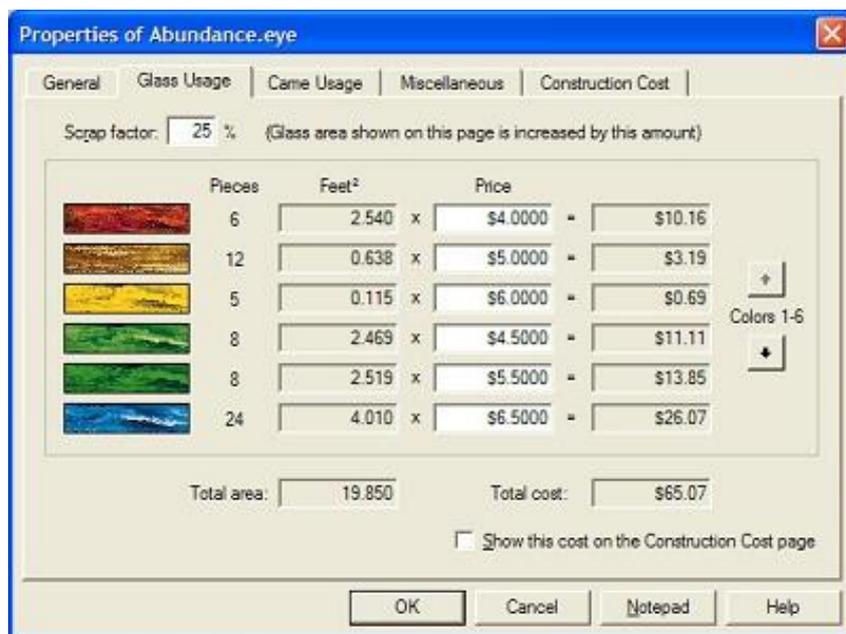


Рисунок 57 – Интерфейс программы GlassEye 2000

Наиболее удобной программой для создания эскиза изделия и помещения его в уже существующий интерьер, на наш взгляд, является CorelDRAW (рисунок 58). CorelDRAW – программное обеспечение для графического дизайна, позволяющее создавать эффектные материалы для визуальной коммуникации. Посредством этой программы можно не только создать эскиз, рассчитать размеры шаблона, но и спроектировать будущее изделие, выбрать цвет и фактуру стекол.

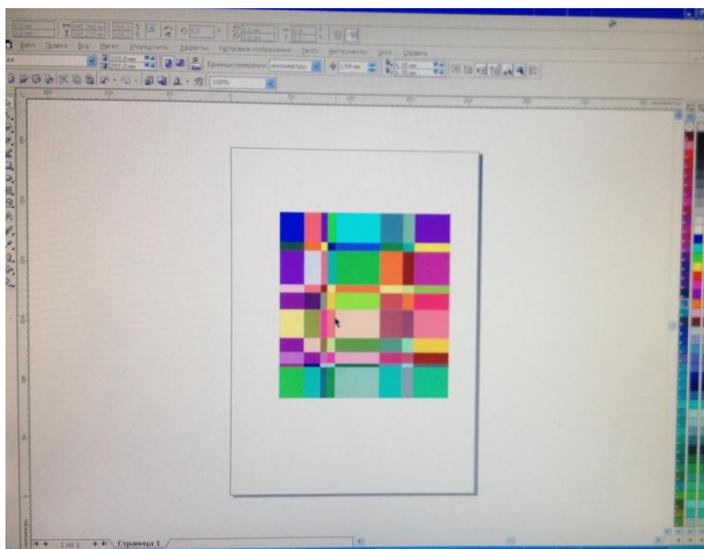


Рисунок 58 – Интерфейс графической программы CorelDRAWX3

В программе существует 18 основных, а также дополнительных оттеночных цветовых палитр. В правом углу экрана на рисунке 55 представлены 3 основные палитры.

Для создания эскиза витражных изделий из стекла в компьютерной графике были использованы цветовые палитры систем CMYK, RGB, HKS.

На рисунке 59 видно как отражается выбранный цвет рисунка на палитрах (1-CMYK, 2-RGB, 3-HKS) а программа, в свою очередь, раскладывает цвет по степени входящих в него оттенков.

Программа очень удобна для создания эскиза витража и дизайн-проекта интерьера, где будет расположен витраж. Она позволяет скорректировать не только цвет, но и размеры будущего изделия, наглядно увидеть,

как будут сочетаться цвета между собой, и как витраж будет выглядеть в заданном интерьере.

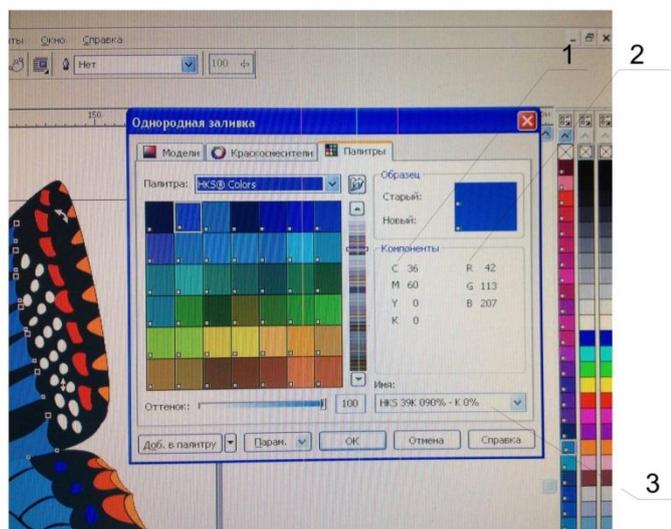


Рисунок 59 – Интерфейс графической программы CorelDRAWX3 раскладка цвета по системе CMYK, RGB, HKS

На рисунке 60 представлена схема развертки комнаты с витражной вставкой ниши в стене и вставки в двери шкафа-купе.

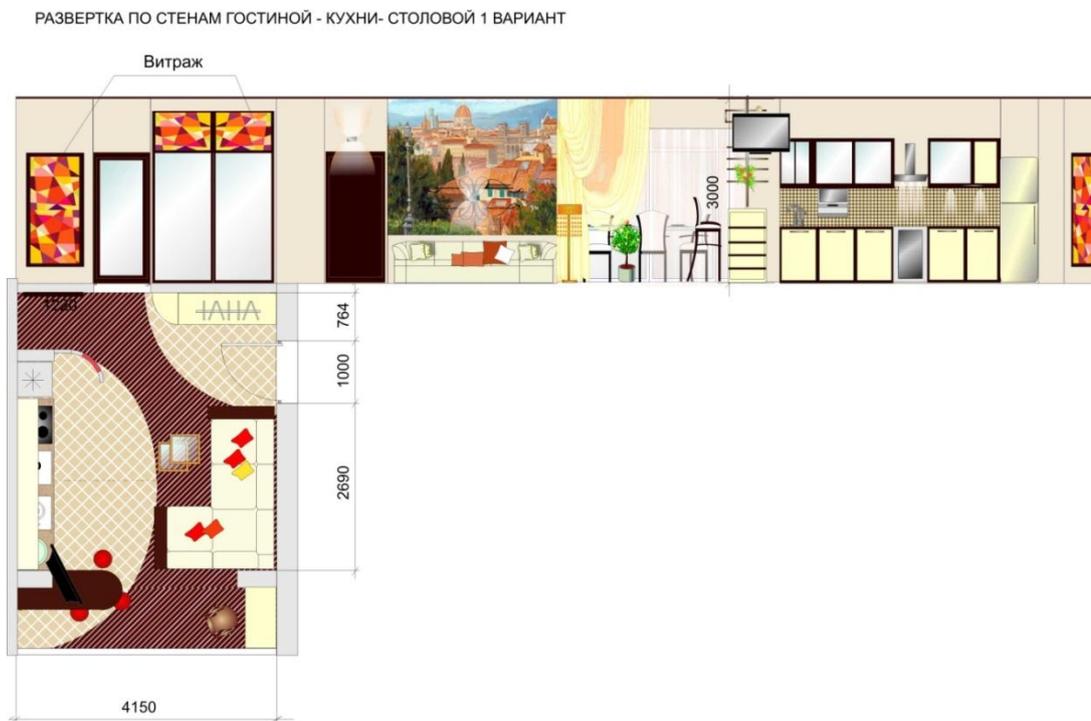


Рисунок 60 – Схема развертки комнаты

Можно выполнять эскиз с выбранными цветами из палитры программы, можно выбрать по цвету стекла. Цвет можно проанализировать как по таблице, так и в онлайн режиме при помощи компьютерных приложений

В настоящее время с применением существующих компьютерных технологий дизайнеры, декораторы, архитекторы успешно разрабатывают и выполняют дизайн-проекты для различных объектов окружающей предметно-пространственной среды. На рынке существует большая номенклатура стекла с разными оттенками и фактурами. Для более эффективной работы дизайнера с широкой текстурной и цветовой палитрой стекол предлагается их классификация по цветовому признаку. Исходным материалом служат образцы стекол: они могут быть оцифрованы в растровое изображение либо фиксироваться в реальном режиме видео- или фотокамерой.

Существует несколько способов подбора цвета стекла, используемых для создания эскизов.

В 1952 г. шведским институтом Scandinavian Colour Institute (Скандинавский Институт Цвета – SCI), основанным в 1946 г., был опубликован каталог, который насчитывал 600 цветовых оттенков и получил название – натуральная колеровочная система (Natural Colour System – сокращенно NCS). Система NCS базируется на теории, которая была разработана еще в конце XIX столетия немецким физиологом Герингом (Hering) и считается самой совершенной моделью восприятия цвета человеком. Предложенная система была настолько понятной и удобной, что очень быстро завоевала широкое признание.

В 1979 г. был опубликован NCS каталог из 1412 оттенков и признан Шведским стандартом. Постепенно NCS был принят как стандарт во многих европейских странах, а в 2000 г. и в США. В 1995 г. NCS веер получил вторую редакцию, его дополнили, и он стал насчитывать 1750 оттенков.

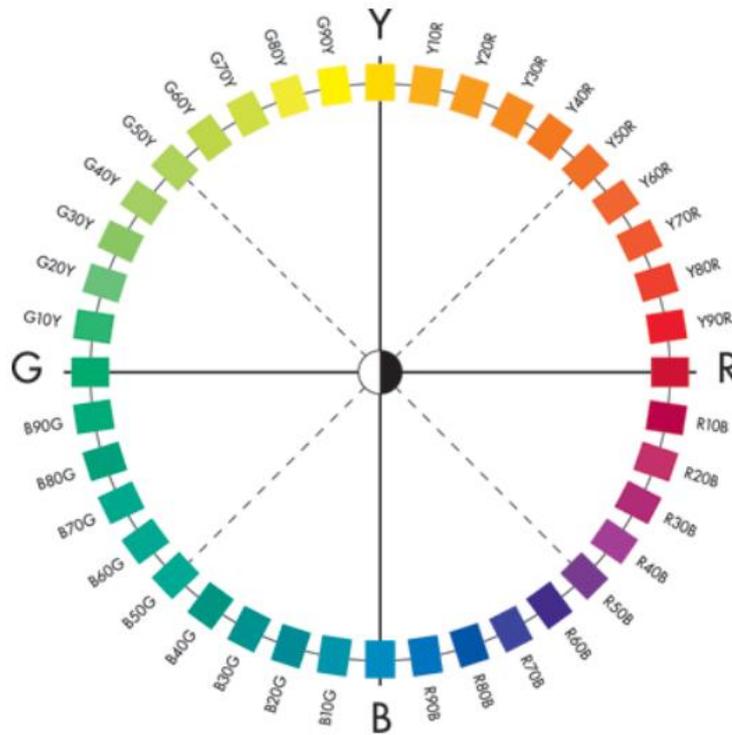
Суть подхода состоит в том, что цвет описывается трехмерным пространством, координатами которого служат: 1 – яркость (brightness) – содержание черного; 2 – хроматизм (chroma) – насколько оттенок близок к чисто-

му цвету; 3 – цвет (hue) – смесь двух из четырех основных цветов: красного (Red), желтого (Yellow), синего (Blue) и зеленого (Green). Например, аббревиатура "S 3040 B70G" означает: "30" – сколько черного, «40» – сколько цвета, "B70G" – означает, что чистый цвет состоит из 30 частей синего и 70 зеленого, а "S" – указывает на принадлежность ко второй редакции каталога NCS. Рассмотрим эту систему более подробно. Классификацию стекла следует базировать на существующих системах подбора цвета. Одной из таких систем является Природная цветовая система (Natural Color System – NCS), основанная на психофизическом восприятии цвета человеком. Цветовая палитра этой системы состоит из 1950 предложенных цветов. Основой этой системы стал метод, по которому любой цвет можно описать по принципу визуального сходства с шестью основными цветами: желтый (Yellow, Y), красный (Red, R), синий (Blue, B), зеленый (Green, G) и два нехроматических – белый (White, W) и черный (Swarthy, S). Остальные цвета можно разделить по их визуальному сходству. Это сходство называется элементарными признаками цвета: желтизна (yellowness), краснота (redness), белизна (whiteness,) чернота (blackness) [100].

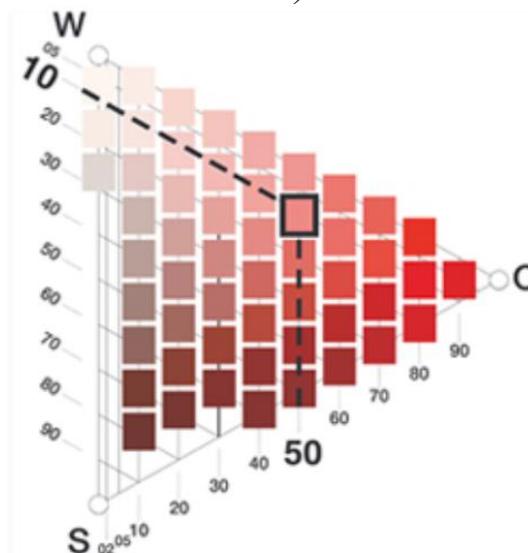
NCS Navigator состоит в заполнении цветовых эталонов системы конкретным цветом стекла. Цветовое пространство NCS для более понятного и доступного обозначения изображения заключено в виде цветового треугольника и круга. Точное обозначение цветового пространства NCS представлено на рисунке 61 [101]. На рисунке 62 хорошо видно, как распознается цвет по цветовому кругу и оттенки по цветовому треугольнику в рабочем поле системы NCS Navigator. В растровом изображении пространственного поля NCS вводятся образцы стекла, и программа автоматически распознает и выводит название цвета.

Каждый десятый шаг в цветовом круге имеет свое обозначение, по нему узнается тон цвета, определяется чистота цвета или содержащиеся в ней примеси. По цветовому треугольнику можно определить и оттенок цвета,

который показывает, какое количество белого или черного содержится в цвете.



*a)*



*б)*

Рисунок 61 – Обозначение цветового пространства NCS:

*a)* – цветовой круг; *б)* – цветовой треугольник

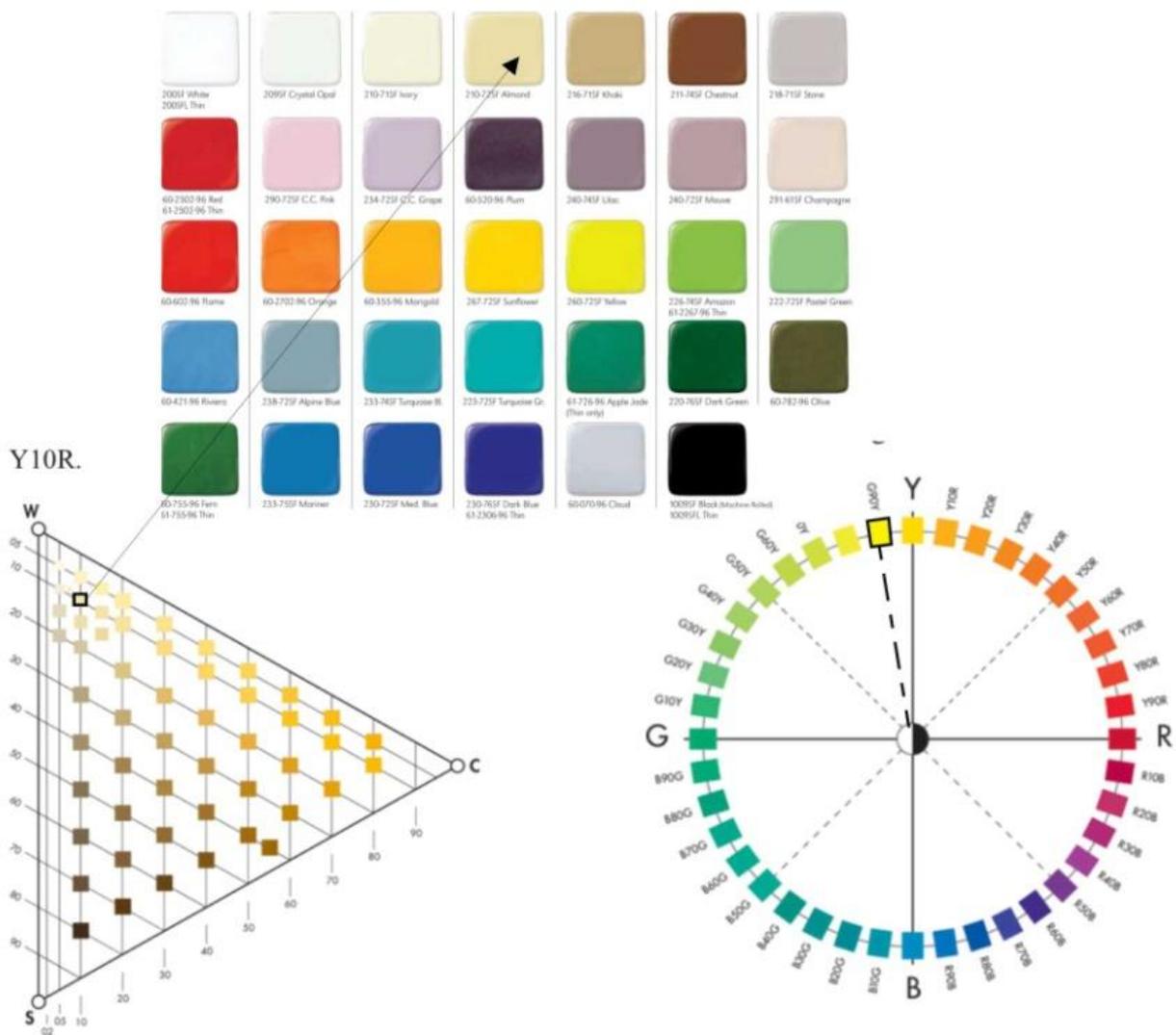


Рисунок 62 – Построение цветовой типологии образцов стекла на основе системы NCS

На рисунке 63 показано обозначение цвета S 2555-B60G, где 2555 описывает оттенок цвета, количество черного цвета (25 %), хроматичность (55 %). Количество белого не показано, но его можно вычислить:  $100 - 25 - 55 = 35$  (%). B60G означает, что данный цвет – бирюзовый. Буква S в начале означает, что данный образец является стандартным образцом цвета NCS, выпущенным в Скандинавском институте цвета под контролем Центра качества в соответствии со стандартами Edition 2.

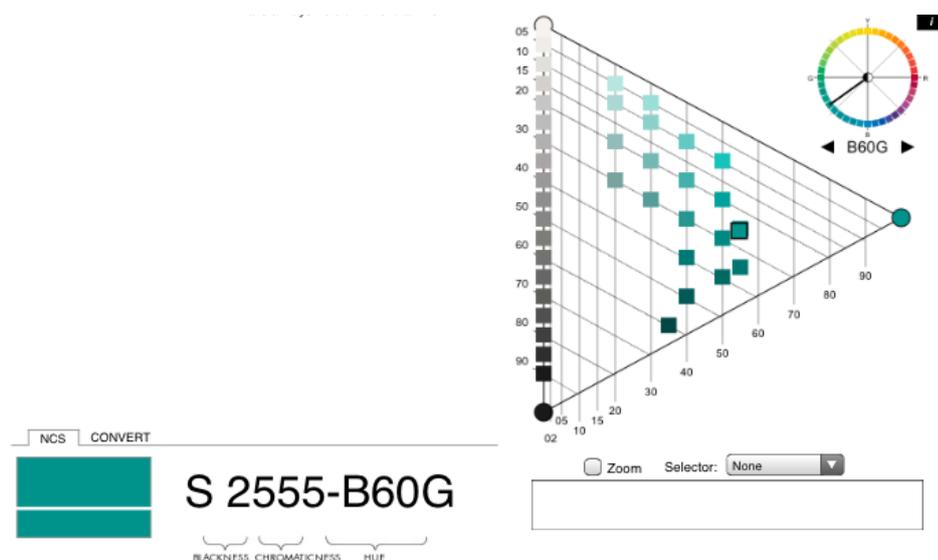


Рисунок 63 – Цветовой треугольник NCS с обозначением цвета

В настоящее время для определения количества цвета и его насыщенности удобнее всего пользоваться не визуальными способами колориметрии, а именно средствами графических программ.

Для эффективности подбора необходимого цвета стекла и для раскрытия технических и эстетических свойств возникла необходимость в проведении экспериментального исследования различных цветных стекол выбранной фирмы. При создании изделий из стекла в технологии фьюзинга использовались варианты цветовых решений стекла выбранной фирмы, представленные на рисунке 64 [29, 36, 100, 101].



Рисунок 64 – Таблицы цветов NCS, используемые при анализе цветовых характеристик изделий

Применение цифровых программ значения цвета позволяет преобразовывать различные цветовые модели, которые удобно использовать в современных графических пакетах для дизайна. Хотя при подборе стекла не достаточно ориентироваться только на доминирующий цвет: в стекле могут присутствовать и другие дополнительные оттенки. Предлагается уточнять эти особенности посредством таких приложений, как Color Helper (<http://www.color-helper.com/index.php>).

Для работы над созданием изделий нами были выбраны следующие цвета стекол, представленных на рисунке 65.



Рисунок 65 – Цветное стекло для фьюзинга с коэффициентом расширения 96, применяемое в исследовании

Принципом работы программы Color Helper является обнаружение и фиксация цветов любых предметов и их распознавание. После фиксации изделия на камеру программа распознает и фиксирует любую цветовую точку, и можно увидеть название этого цвета и обозначение в цветовых координатах RGB, по желанию в программе можно создать свою цветовую палитру по выполненным фотоснимкам объектов [43, 47, 65, 69, 99, 101, 104].

На рисунке 66 представлены образцы цвета и его название в цветовых координатах RGB, технологии фиксации цвета на участках изделий. Для создания образцов исследования стекла прошли обработку в программе Color

Helper. После этого в программах, о которых говорилось выше, были зафиксированы значения цветов и созданы эскизы изделий.

Для определения цвета, его характеристик существуют другие приложения – Adobe Kuler, SpectrumLite. В этих приложениях также удобно формировать типологию цвета стекол при создании эскиза и уже готовых изделий. На рисунке 67 показан захват цвета стекла в приложение Adobe Kuler. На рисунке 68, 69 хорошо видно, как программа захватывает цвет и определяет его характеристики.

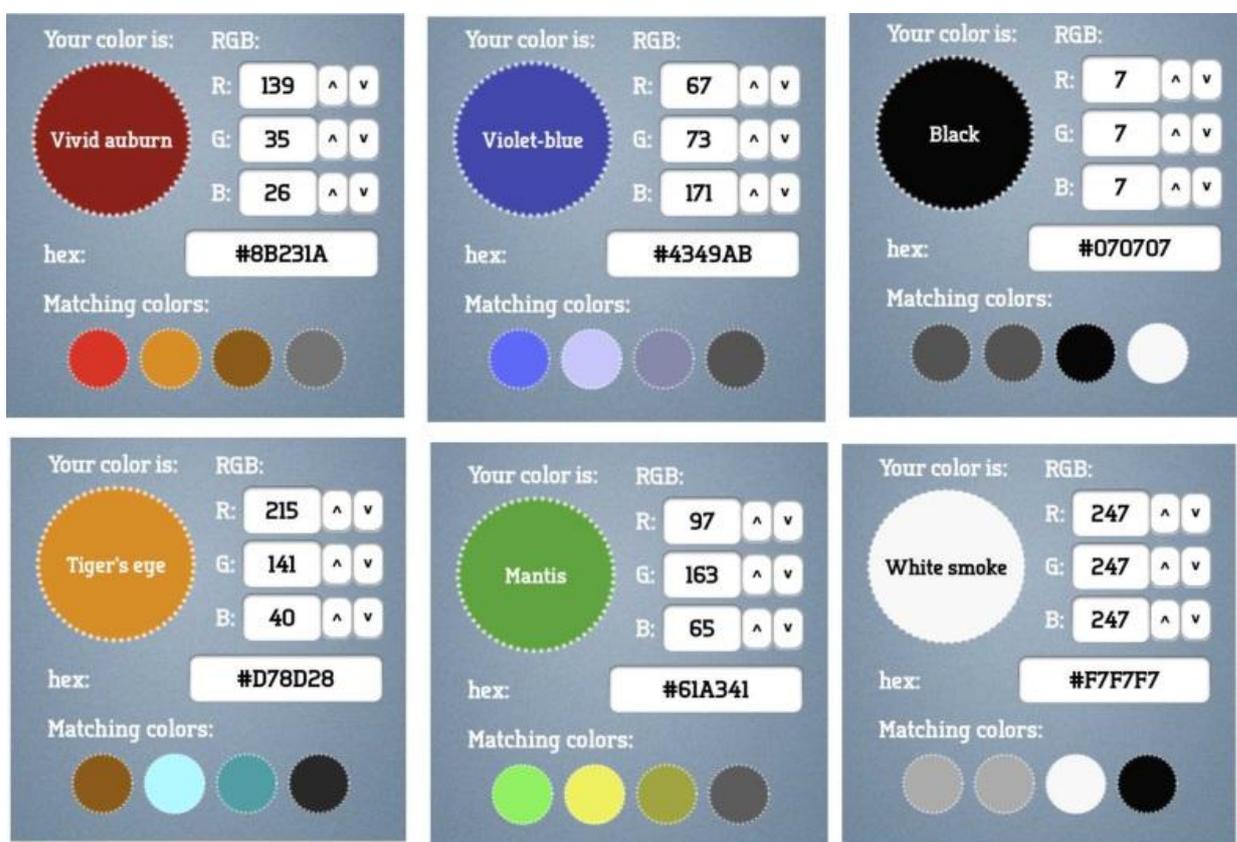


Рисунок 66 – Образцы цвета и его название в цветовых координатах RGB, зафиксированные в программе Color Helper

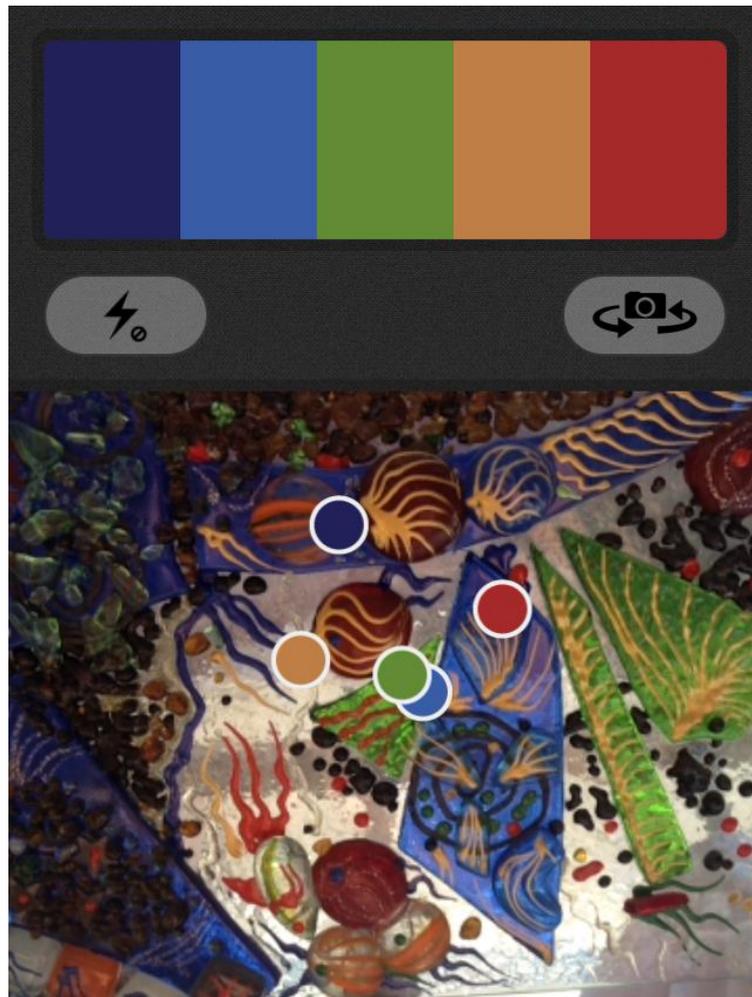


Рисунок 67 – Захват цвета стекла в приложение Adobe Kuler

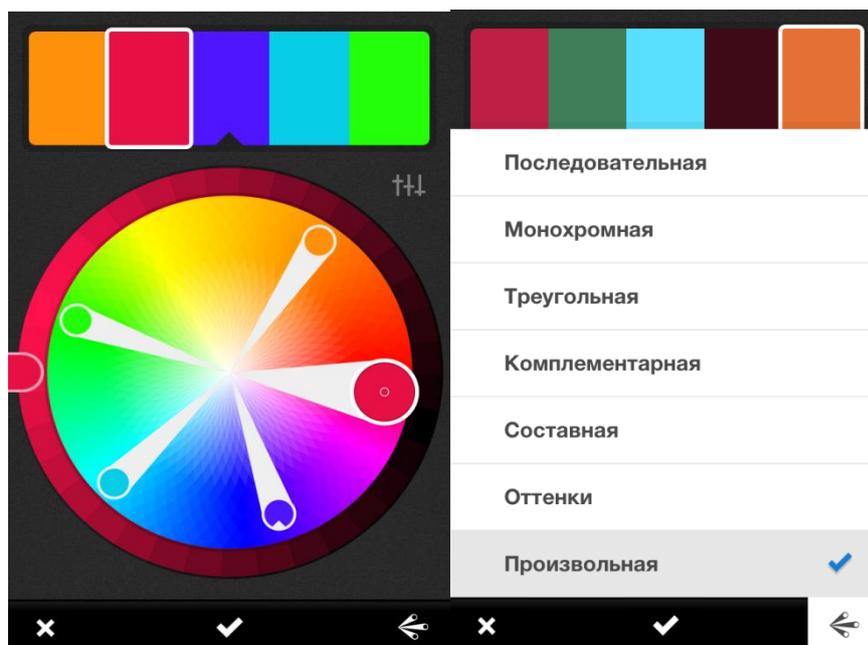


Рисунок 68 – Цветовое пространство системы определения цвета программы Adobe Kuler

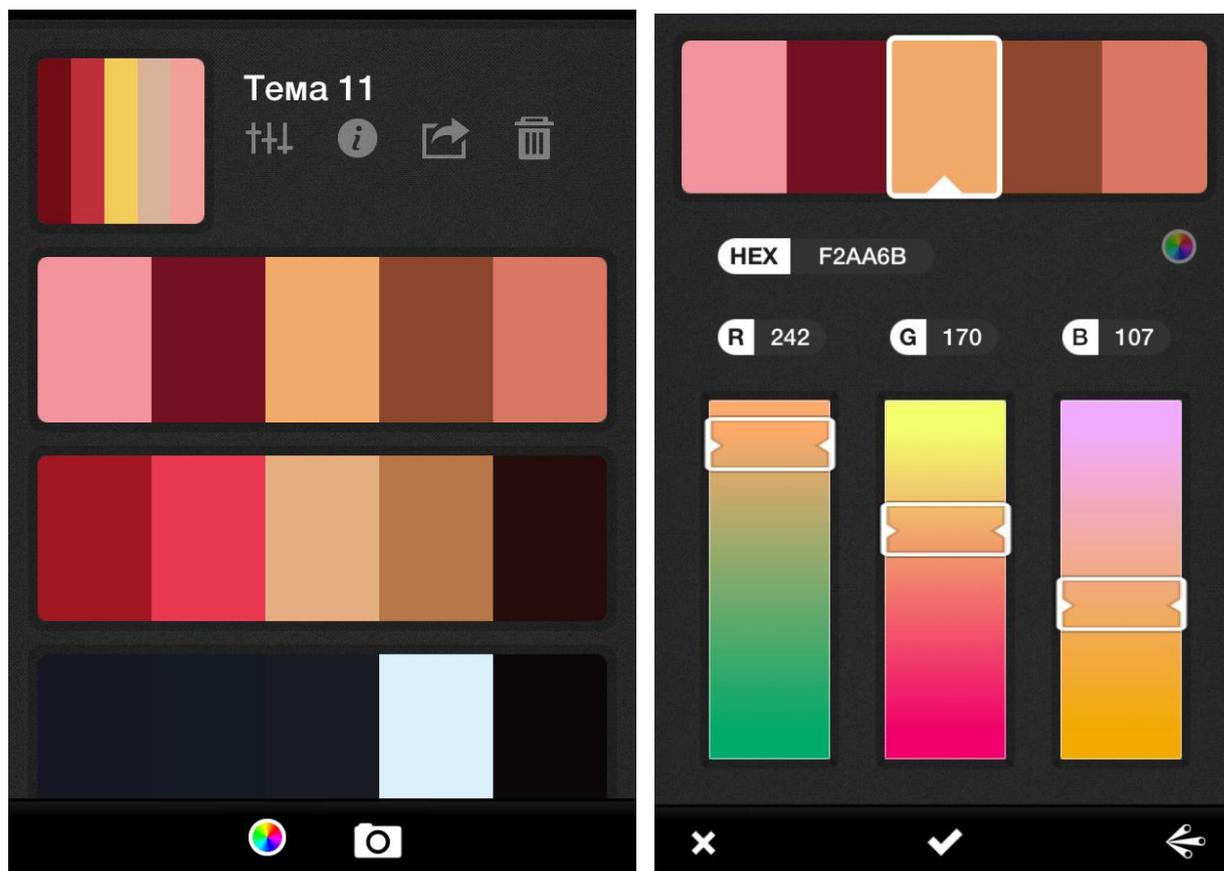


Рисунок 69 – Цветовое пространство системы определения цвета программы Adobe Kuler

В исследовании нами были выбраны конкретные цвета стекла для фьюзинга. Изделия, созданные в процессе работы, предназначались для конкретных интерьеров. Нами была проведена последовательная работа по изучению цвета в конкретном помещении и сочетанию цветного стекла в интерьере. Был проведен анализ не только стекла, но и стен, пола, потолка интерьера. В процессе исследования были выявлены возможности определения цвета посредством нового высокотехнологичного оборудования, что позволило облегчить работу над эскизом и подбором цветного стекла для него. Создавать стеклянное произведение в цвете – значит расположить рядом несколько цветов таким образом, чтобы их сочетание было предельно выразительным. Для общего решения цветовой композиции имеет значение выбор цветов, их отношение друг к другу, их место и направ-

ление в пределах данной композиции, конфигурация форм, размеры цветных площадей и контрастные отношения в целом.

Для удобства создания цветовой композиции эскиза или изделия, можно воспользоваться цветовым кругом. Можно воспользоваться основными сочетаниями цветов, которые дают бесконечное множество оттенков, рисунок 70.

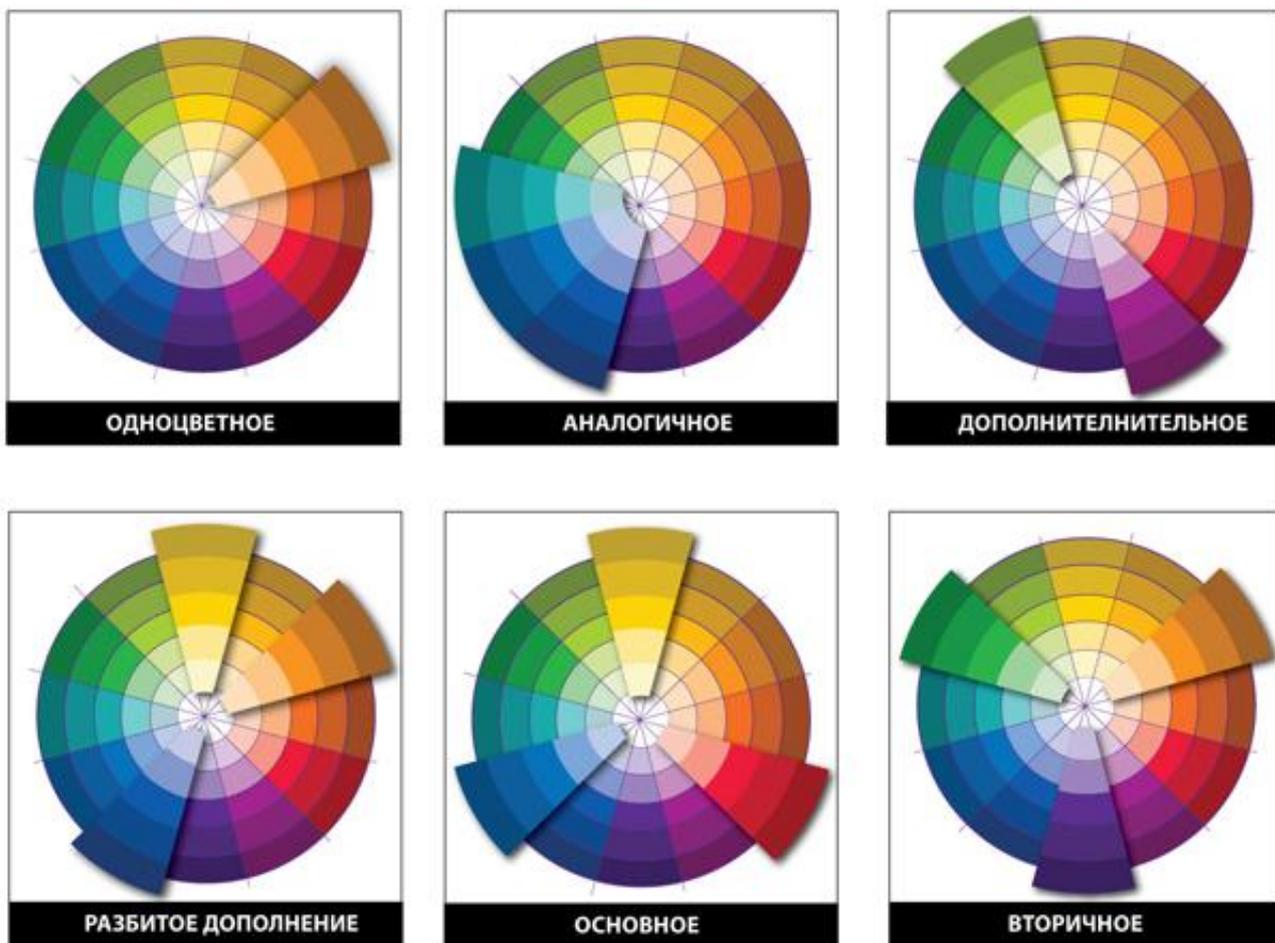


Рисунок 70 – 6 основных способов сочетания цвета

В процессе работы были выполнены изделия из цветного стекла. В таблице 13 приведены цветовые характеристики стекла, выявленные по приведенным выше системам, удобным для использования при создании эскиза в компьютерной графике или вручную.

Таблица 13 – Цветовые характеристики стекла

| Название стекла<br>(фирма-<br>производитель)          | Название цвета<br>в системе NCS<br>по его свойствам<br>(кол-во белого,<br>насыщенность, тон) | Название цвета по<br>системе RGB |
|---|--|----------------------------------|
| Clear Sheet Glass<br>(основа, подложка)<br>прозрачная | NCS S 0300-N   | Прозрачное стек-<br>ло           |
| Синее Transparent<br>(прозрачное)                     | NCS S 3560-R90B  | Violet-blue<br>R-67 G-73 B-171   |
| Зеленое Transparent<br>(прозрачное)                   | NCS S 2060-G20Y  | Mantis<br>R-97 G-163 B-65        |
| Желтое Transparent<br>(прозрачное)                    | NCS S 0570-Y30R  | Tigers eye<br>R-215 G-141 B-40   |
| Оранжевое Trans-<br>parent (прозрачное)               | NCS S 0585-Y30R  | Mango Tango<br>R-251 G-120 B-52  |
| Красное<br>СтеклЯнные камуш-<br>ки System 96          | NCS S 0580-Y70R  | Vivid auburn<br>R-139 G-35 B-26  |
| Коричневый<br>СтеклЯнная крошка<br>System 96 (геммы)  | NSC S 7020 –Y70R   | Seal Brown<br>R-57 G-26 B-21     |
| Черное<br>СтеклЯнна крошка<br>System 96 (геммы)       | NCS S 8502-R   | Black<br>R-7 G-7 B-7             |

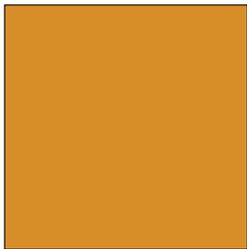
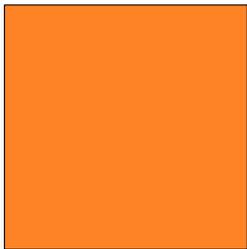
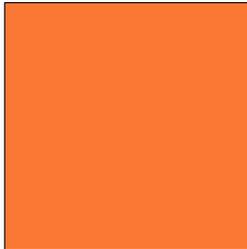
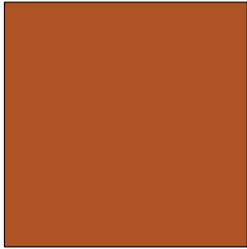
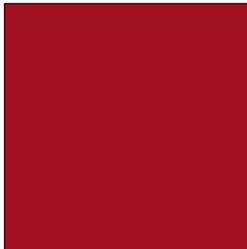
В настоящее время существует множество способов подбора цвета по специальным таблицам, веерам, и т.д., но рассмотренная нами система кодировки цвета и идентификация его непосредственно для декоративных изделий из стекла кажется наиболее удобной.

Описанные нами способы процесса создания цветовых сочетаний и нахождения цвета используемых стекол раскрывают методику создания цветовых предпочтений на практике. Подобная методика рассматривалась в работах и других авторов [35, 66, 90, 91, 101].

### 4.3. Изменение цвета стекла после обработки при высоких температурах

При изготовлении изделий в технологии фьюзинга все стекла сохраняют свой цвет практически без изменений, но в процессе работы над исследованием нами были выявлены изменения насыщенности цветов в стеклянном изделии после обработки в печи. В таблице 14 представлены цвет стекла до спекания и изменения насыщенности цвета после обработки его в печи для фьюзинга.

Таблица 14 – Цветовые характеристики стекла

| 1. Название стекла<br>(фирма-производитель)    | 2. Название цвета в системе NCS по его свойствам (кол-во белого, насыщенность, тон) | 3. Название цвета по системе RGB  | 4. Изменение насыщенности, цвета после запекания  |
|--|---|---|---|
| Желтое Transparent (прозрачное)<br>Листовое    | NCS S 0570-Y30R   | Tigers eye<br>R-215 G-141 B-40<br>  | University of Tennessee Orange<br>R-254 G-131 B-37<br> |
| Оранжевое Transparent (прозрачное)<br>Листовое | NCS S 0585-Y30R   | Mango Tango<br>R-251 G-120 B-52<br> | Ruddy brown<br>R-174 G-83 B-36<br>                     |
| Красное<br>Стеклянные камушки System 96        | NCS S 0580-Y70R   | Vivid auburn<br>R-139 G-35 B-26<br> | Ruby red<br>R-162 G-17 B-34<br>                        |

При использовании цветного стекла в процессе изготовления изделий в технологии фьюзинга возникают дефекты, свойственные только этой технологии:

1. Помутнение прозрачной подложки цветного стекла (поскольку у стекла, как у любого изделия, имеется лицевая и изнаночная сторона, при запекании изнаночная сторона мутнеет, этого можно избежать, если перед спеканием произвести шлифовку стекла (шлифовальные и полирующие инструменты типа 3М™ 268ХА и 3М™ 568ХА), а определить лицевую сторону стекла можно при помощи специального оборудования. При дополнительной обработке стекла одной из основных задач является получить стабильную и качественную адгезию к глянцевой поверхности стекла различных материалов: красок, эмалей, клеев и т.д. После проведения исследований выяснилось, что та сторона стекла, которая в процессе производства взаимодействует с расплавленным оловом, покрываясь микроскопическим оловянным слоем, имеет определенные особенности. Такую сторону листового стекла называют "оловянной". Вторая же сторона взаимодействует с воздухом, поэтому называется "воздушной". Поскольку лакокрасочные материалы для окрашивания стекла изначально разрабатываются для создания адгезии непосредственно с поверхностью стекла, химическое сцепление краски с воздушной стороной будет стойким. А наличие на поверхности пленки, содержащей олово будет значительно затруднять адгезивные процессы и сшивка лакокрасочного покрытия с оловянной стороной будет несравнимо хуже или вообще может отсутствовать.

Определение оловянной стороны стекла происходит с применением специальных приборов. Прибор чаще всего состоит из УФ-лампы и оптического фильтра. Если в затемненном помещении поднести прибор к оловянной стороне стекла, то в месте попадания УФ-лучей на поверхности стекла можно увидеть молочно-белое матовое свечение. Можно пользоваться прибором и при дневном свете, но в этом случае оптический эффект будет менее ярким и заметным.

На сегодняшний день метод определения оловянной стороны стекла широко известен и играет важную роль не только при изготовлении изделий методом фьюзинга, при окрашивании и нанесении рисунков на стекло, но и при раскросе, при приклеивании УФ-клеем декоративных элементов [35, 89, 66].

2. Изменение цвета стекла: при температуре спекания некоторые стекла меняют цвет (красное, желтое и оранжевое), что происходит в связи с изменениями структуры красителей.

Итак, определены условия сохранения цветовых характеристик стекла после спекания в различных цветовых системах, дано обоснование метода подбора цветного стекла для создания гармоничной декоративной композиции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дизайн изделий из стекла в технологии фьюзинга, которому посвящено настоящее исследование, а также достижение поставленной в работе цели совершенствования дизайна изделий из стекла, выполняемых в технологии фьюзинга на основе оптимизации конструкции и прочностных характеристик креплений типа петлеобразных подвесов и сквозных отверстий, использования системы натуральных цветов для формирования колористических характеристик изделий, рассматривается в рамках решения следующих проблемных вопросов:

- формирование основы для изучения типологии художественных изделий из стекла в технологии фьюзинга и классификации их по видам и формам;

- изучение оптимальных режимов спекания и условий появления дефектов прозрачности и деформаций формы изделий при внедрении креплений;

- проектирование конструктивных решений петлевых металлических подвесов и экспериментальная проверка надежности креплений подвесов художественных изделий из стекла;

- обоснование технологии сохранения при спекании положения исходных технологических отверстий для крепления изделий;

- поиск наиболее приемлемых и разработка новых методик подбора цветного стекла для создания декоративной композиции с применением современных цветовых систем и технологий поиска гармонических сочетаний.

К числу результатов проведенного исследования, частично являющихся оригинальными или новыми, можно отнести определение условий совместности спекаемого стекла для различных образцов и предложение конструкций креплений художественных изделий из стекла.

Результаты проведенных исследований дизайна изделий из стекла в технологии фьюзинга позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложена типология художественных изделий из стекла, допускающая классификацию изделий по технологическим характеристикам, конструктивным особенностям, структуре используемых в процессе фьюзинга стекол.

2. Определены условия совместимости спекаемого стекла для различных образцов и причины появления дефектов прозрачности и формы при внедрении креплений.

3. Предложены конструктивные решения петлевых металлических подвесов художественных изделий из стекла и проведена экспериментальная проверка надежности креплений, свидетельствующая об отсутствии разрушений в области подвеса, приводящих к изменению внешнего вида образца, определены условия сохранения при спекании положения технологических отверстий для крепления изделий.

4. Данные испытаний показывают, что для всех образцов наблюдается достаточная прочность крепления подвеса в стекле в сравнении с весовой нагрузкой, обычно не более 50 Н (масса изделий из стекла – до 5 кг). На прочности крепления, сказывается длина подвеса в стеклянном теле изделия, но практически не заметно влияние длины подвеса вне стекла. Для образцов с длинами подвесов 50 мм вне стекла и 20 и 40 мм в стекле различие в максимальной нагрузке составляет около 70 Н.

5. Определены условия сохранения цветовых характеристик стекла до и после спекания с применением современных цветовых систем, дано обоснование метода подбора цветного стекла для создания декоративной композиции и технологий поиска гармонических сочетаний.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 111-90 (СТ СЭВ 544-85). Стекло листовое. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 11 с.
2. ГОСТ 111-2001. Стекло листовое. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 12 с.
3. ГОСТ 23932-90. Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – С. 2–19.
4. ГОСТ 26302-93. Стекло. Методы определения коэффициентов направленного пропускания и отражения света. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1993. – 5 с.
5. ГОСТ 30826-2001. Стекло триплекс. Стекло многослойное строительного назначения. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 30 с.
6. ГОСТ 4.200-78. Система показателей качества продукции. Строительство. СПКП. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – С. 13
7. ГОСТ EN 572-8:2004 (54170-2010). Стекло листовое бесцветное. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2010. – С. 40 с.
8. Автоматизированное детектирование пороков листового стекла на основе технологии технического зрения / В.В. Булатов, И.И. Абакумов, А.А. Кульчицкий, В.А. Шабанов. // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 2 (61). – С. 21–26.
9. Агостон, Ж. Теория цвета и ее применение в искусстве и дизайне / пер. с англ. – М. : Мир, 1982. – 184 с.
10. Алексеенко, М.П. Когезия и адгезия горячего стекла / под ред. К.С. Евстропьева. – М. : Машиностроение, 1969. – 187 с.
11. Аль-Нуман, Л.А. Витраж в архитектуре. – М. : АМА-Пресс, 2006. – 208 с.

12. Баинова, А.Б. Особенности релаксационных процессов в макроскопически неоднородных и аморфных материалах: дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.04.07. – Красноярск, 2004. – 118 с.
13. Байер, В.Е. Архитектурное материаловедение : учеб. пособие для вузов. – М. : Архитектура-С, 2005. – 254 с.
14. Безбородов, М.А. Самопроизвольная кристаллизация силикатных стекол. – Минск : Наука и техника, 1981. – 248 с.
15. Бондарев, Б.В. Курс общей физики : в 3 кн. Кн. 3. Термодинамика. Статистическая физика. Строение вещества : учеб. пособие / Б.В. Бондарев, Н.П. Калашников, Г.Г. Спирин. – 2-е изд., стереотип. – М. : Высш. шк., 2005. – 366 с.
16. Быстрова, Т.Ю. Вещь. Форма. Стиль : введение в философию дизайна : учеб. пособие. – Екатеринбург, 2001. – 143 с.
17. Васьков, М.Е. Отделка фасадов жилых и гражданских зданий : монография / М.Е. Васьков, А.Л. Губенко, А.П. Баглай. – Киев : Будівельник, 1979. – 118 с.
18. Виды брака в производстве стекла / Х. Бах [и др.]; под ред. Г. Иебсена-Марведеля и Р. Брюкнера; сокр. пер. с нем. Л.Г. Байбурт [и др.] под ред. Н.Н. Рохлина. – М. : Стройиздат, 1986. – 648 с.
19. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов. – 10-е изд., стереотип. – М. : Высш. шк., 2004. – 479 с.
20. Голованова, С.П. Физическая химия в технологии художественной обработки материалов : учеб. пособие. – Новочеркасск : Изд-во ЮРГТУ, 2002. – 116 с.
21. Гропиус, В. Обучение формообразованию. Психологическое влияние формы и цвета // Изобразительное искусство в школе. – 2009. – № 5. – С. 42–43.
22. Гулоян, Ю.А. Выработка выдувных изделий из стекла : учеб. пособие для проф.-тех. училищ. – М. : Стройиздат, 1988. – 256 с.

23. Гуляян, Ю.А. Декоративная обработка стекла и стеклоизделий: учебник для средн., проф.-тех. училищ. – М. : Высш. шк., 1984. – 191 с.
24. Гуляян, Ю.А. Некоторые особенности явлений переноса в стекловаренных печах // Стекло и керамика. 2009. – № 6. – С. 3–7.
25. Гуляян, Ю.А. Особенности изменения деформационных характеристик стеклообразующих расплавов // Стекло и керамика. – 2009. – № 8. – С. 3–8.
26. Гуляян, Ю.А. Твердение стекла при формовании (обзор) // Стекло и керамика. – 2004. – № 11. – С. 3–8.
27. Гуляян, Ю.А. Физико-химические основы технологии стекла : учеб. пособие для высш. и средн.-спец. учеб. заведений, систем науч. и производств. обучения. – Владимир : Транзит-ИКС, 2008. – 736 с.
28. Гуляян, Ю.А. Справочник молодого рабочего по производству к обработке стекла и стеклоизделий / Ю.А. Гуляян, О.А. Голозубов. – М. : Высш. шк., 1989. – 224 с.
29. Гуревич, М.М. Цвет и его измерение. – М. ; Л. : Изд-во Академии наук СССР. – 1950. – 267 с.
30. Дайнеко, В.В. Виды художественной обработки стекла // Актуальные проблемы технических наук : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, сентябрь 2014). – Уфа, 2014. – С. 15–17.
31. Дайнеко, В.В. Декоративные изделия из стекла в технологии фьюзинга // Технические науки в мире : от теории к практике : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Ростов н/Д., август 2014). – Ростов н/Д., 2014. – С. 55–57.
32. Дайнеко, В.В. Дефекты декоративных изделий из стекла в технологии фьюзинга // Междунар. науч.-популярный вестник. Европа – Азия (Москва, июль 2014). – Москва, 2014. – С. 48–52.
33. Дайнеко В.В. Изделия из стекла в технологии фьюзинга и дефекты изготовления // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2014. – № 3 (8). – С. 96–104.

34. Дайнеко, В.В. Область применения декоративных изделий из стекла // Современные научные исследования : инновации и опыт : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, сентябрь 2014). – Екатеринбург, 2014. – С. 182–185.
35. Дайнеко, В.В. Способы крепления изделий из стекла в технологии фьюзинга // Междунар. науч.-популярный вестник. Европа –Азия (Новосибирск, июль 2014). – Новосибирск, 2014. – С. 36–38.
36. Дайнеко, В.В. Способы подбора цвета стекла с использованием разных систем // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 11 (90). – С.133–136.
37. Дайнеко, В.В. Стекланные изделия, выполненные в технологии фьюзинга //Актуальные проблемы технических наук : мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. (Уфа, июль 2014). – Уфа, 2014. – С. 10–12.
38. Дайнеко, В.В. Надежность крепления металлических подвесов художественных изделий из стекла / В.В. Дайнеко, А.Д. Калихман // Дизайн. Теория и практика [Электронный ресурс]. – 2014. – Вып. 17. – С. 52–60. – Режим доступа : URL: <http://enidtp.mgupi.ru> .
39. Дайнеко, В.В. Типология используемых технологий декоративной обработки стекла / В.В. Дайнеко, А.Д. Калихман // Дизайн. Материалы. Технология. – 2015. – № 4 (34). – С.
40. Дайнеко, В.В. Художественные изделия из стекла в технологии спекания для декоративного оформления интерьеров / В.В. Дайнеко, А.Д. Калихман // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2013. – № 2 (5). – С. 144–151.
41. Дворникова, О.К. Витраж: возможности современных технологий / О.К. Дворникова, О.В. Кириленко, Н.В. Туголукова // Тр XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых : в 3 т. – Томск, 2008. – Т. 3. – С. 503–506.
42. Дворникова, О.К. Стеклообразование / О.К. Дворникова, О.В. Кириленко, Н.В. Туголукова. – М. : Наука, 1990. – 277 с.

43. Джадд, Д. Цвет в науке и технике / Д. Джадд, Г. Вышецки. – М.: Мир, 1978. – 231 с.
44. Ермоленко, Н.Н. Термические свойства стекла. – Минск : Изд-во Мин-ва высш., средн.-спец. и проф. образования БССР, 1962. – 235 с.
45. Жерновая, Н.Ф. Химия твердого тела : конспект лекций. – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 2002. – 193 с.
46. Зимин, В.С. Стеклодувное дело и стеклянная аппаратура для физико-химического эксперимента. – М. : Химия, 1974. – 328 с.
47. Зисман, Г.А. Курс общей физики : учеб. пособие : в 3 т. – Механика. Молекулярная физика. Колебания и волны / Г.А. Зисман, О.М. Тодес. – 7-е изд., стереотип. – СПб. : Лань, 2007. – 352 с.
48. Золоторевский, В.С. Механические испытания и свойства металлов. – М. : Металлургия, 1974. – 304 с.
49. Казакова, Л.В. Мировое художественное стекло XX века. Основные тенденции. Ведущие мастера. – М. : Пинакотека, 2007. – 272 с.
50. Казакова, Л.В. Скульптура из стекла XX – начала XXI веков // Стекло. – 2008. – № 3. – С. 6–11.
51. Калитеевский, Н.И. Волновая оптика : учеб. пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1995. – 463 с.
52. Клиндт, Л. Стекло в строительстве. Свойства, применение, расчеты / Л. Клиндт, В. Клейн; пер. с нем. П.И. Глазунова, Т.Ф. Гусевой, З.А. Липкинда; под ред. И.П. Трохимовской, Ф.Л. Шехтера. – М. : Стройиздат, 1981. – 287 с.
53. Колейчук, В.Ф. Художественные проблемы формообразования // Техническая эстетика. – 1989. – № 6. – С. 5–6.
54. Клиндт, Л. Напряжения в стекле в вершинах трещин / Л. Клиндт, В. Клейн // Стекло и керамика. – 2001. – № 8. – С. 3–5.
55. Кудряков, О.В. Строение неметаллических материалов: керамика, стекла, ситаллы : учеб. пособие. – Ростов н/Д. : Изд-во ИЦ ДГТУ, 2002. – 51 с.

56. Лазарева, Е.А. Технология изготовления художественных изделий из стекла : учеб. пособие. – Новочеркасск : Изд-во ЮРГТУ, 2002. – 99 с.
57. Литвиненко, С. Технология фьюзинга. – Киев : Витражная мастерская, 2005. –150 с.
58. Легошин, А.Я. Стеклодувное дело : учеб. пособие для техникумов / А.Я. Легошин, Л.А. Мануйлов. – 3-е изд., перераб. – М. : Высш. шк., 1976. – 119 с.
59. Матвеев, А.Н. Оптика. – М. : Высш. шк., 1985. – 351 с.
60. Матосян, Л.С. Дизайн и современное художественное стекло // Стекло и керамика. – 2000. – № 8. – С. 27–28.
61. Минько, Н.И. Контроль производства и качества продукции: учеб. пособие / Н.И. Минько, В.И. Онищук, Н.Ф. Жерновая. – Белгород : Изд-во БелГТАСМ, 1998. –109 с.
62. Мотовилова, М.В. Исследование термического расширения листовых стекол для отработки технологии спекания «фьюзинг» / М.В. Мотовилова, О.А. Артемьева, Л.Ю. Штирц // Современные техника и технологии : тр. XIV Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых : в 3 т. – Томск, 2008. – Т. 3. – С. 516–518.
63. Нагибина, И.М. Интерференция и дифракция света. Основы теории и применения : учеб. пособие для вузов. – Л. :Машиностроение, 1974. – 360 с.
64. Панкова, Н.А. Теория и практика промышленного стекловарения: учеб. пособие / Н.А. Панкова, Н.Ю. Михайленко. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во РХТУ, 2003. – 104 с.
65. Пенова, И.В. Теория и практика профессионального применения цвета в дизайн-проектировании : метод. пособие. – М. : ВНИИТЭ, 2010. – 96 с.
66. Повитков, Г.Ф. Технология производства керамики (огнеупорные материалы и изделия) : учеб. пособие. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2004. – 66 с.

67. Повитков, Г.Ф. Технология производства керамики (огнеупорные материалы и изделия) : учеб. пособие. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2004. – 66 с.
68. Райли, Н. Элементы дизайна. Развитие дизайна и элементов стиля от Ренессанса до Постмодернизма / пер. с англ. А. Анохина [и др.]. – М. : ООО «Магма», 2004. – 544 с.
69. Рашин, Г.А. Диагностика пороков сортовых и тарных стекол / Г.А. Рашин, Е.П. Рашина, Н.Н. Рохлин. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 144 с.
70. Романенко, Н.Г. Цвет и его психологическое воздействие на человека / Н.Г. Романенко, И.А. Яковец // Вісник ХДАДМ. – 2004. – № 1. – С. 151–154.
71. Саркисов, П.Д. Стекло и материалы на основе стекла. – М. : ИД «Интеллект», 2010. – 210 с.
72. Саркисов, П.Д. Технологии стеклодувных работ / П.Д. Саркисов, В.Д. Казаков. – М. : Высш. шк., 1973. – 222 с.
73. Сергеев, Ю.П. Выполнение художественных изделий из стекла : учеб. пособие для художественных вузов и училищ. – М. : Высш. шк., 1984. – 240 с.
74. Солинов, В.Ф. Новые представления о процессах стекловарения // Стекло и керамика. – 2004. – № 10. – С. 5–7.
75. Солнцев, С.С., Морозов Е.М. Разрушение стекла. 2-е изд., испр. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 152 с.
76. Соловьев, С.П. Стекло в архитектуре / С.П. Соловьев, Ю.М. Динеева. – М. : Стройиздат, 1981. – 191 с.
77. Официальный сайт компании «Софит» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.sofit-trade.ru>. – Заглавие с экрана.
78. Справочник по производству стекла : в 2 т. / под ред. И.И. Китайгородского, С.И. Сильвестровича. – М. : Гос. изд-во лит-ры по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1963. – 815 с.

79. Стекла: сырьевые материалы, основы технологии, свойства и методы их определения : учеб. пособие / Э.Р. Галимов [и др.]. – Казань : Изд-во КазГТУ, 2002. – 80 с.
80. Стекло. Инструмент. Технологии : каталог [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.rusglazier.ru> . – Заглавие с экрана.
81. Стекло : справочник / А.А. Аппен [и др.]; под ред. Н.М. Павлушкина. – М. : Стройиздат, 1973. – 487 с.
82. Стельмашенко, В.И. Методы и средства исследований в процессах оказания услуг. Практикум : учеб. пособие. / В.И. Стельмашенко, Н.В. Воронцова, Т.Н. Шушунова. – М. : ИД «ФОРУМ»; ИНФРА-М, 2007. 384 с.
83. Сулименко, Л.М. Основы технологии тугоплавких неметаллических силикатных материалов: учеб. пособие / Л.М. Сулименко, Е.М. Акимова. – М. : Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 116 с.
84. Сурнина Н.А. Взаимосвязь эстетических свойств художественных изделий из стекла с технологическими факторами спекания. материалах [Текст]: дис. кандидата технических наук: 17.00.06. – Ижевск, 2010. – 175 с.
85. Тенденции развития современных способов декорирования стекла и изделий из него (обзор) / В.С. Бессмертный [и др.] // Стекло и керамика. – 2003. – № 11. – С. 13.
86. Технология изготовления и художественной обработки стекла. Введение в специальность : учеб. пособие / А.П. Зубехин [и др.]; под ред. А.П. Зубехина. – Новочеркасск : ЮРГТУ, 2004. – 160 с.
87. Технология стекла / И.И. Китайгородский [и др.]; под ред. И.И. Китайгородского. – М. : Изд-во лит-ры по строит-ву, 1967. – 564 с.
88. Фролов Е.С., Минайчев В.Е., Александрова А.Т. и др. Вакуумная техника. Справочник. – М.: Машиностроение. 1985. – 360 с.
89. Цумпе, К.А. Машины и приспособления для выработки стеклянных изделий / пер. с нем. Г.Е. Гладштейна; под ред. А.Я. Школьников. – М. : Гос. науч.-техн. изд-во лит-ры по легкой промышленности, 1957. –124 с.

90. Чубарова, М.В. Цвет в дизайне и колористическое образование: мат-лы Всесоюзн. Семинара / М.В. Чубарова, В.Б. Солянин. –М. : ВНИИТЭ, 1990. – 96 с.
91. Шелби, Дж. Структура, свойства и технология стекла / пер. с англ. Е.Ф. Медведева. – М. : Мир, 2006. – 288 с.
92. Шерклифф, У. Поляризованный свет / пер. с англ. – М. : Мир, 1965. – 430 с.
93. Шиффман, Х. Р. Ощущение и восприятие. – СПб. : Питер, 2003. – 928 с.
94. Шпачек, Я. Ручная выработка сортовой посуды и бытового художественного стекла / Я. Шпачек, К. Пешек; пер. с чешского. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 128 с.
95. Шульц, М.М. Современные представления о строении стекол и их свойствах / М.М. Шульц, О.В. Мазурин. – Л. : Наука, 1988. – 200 с.
96. Энтелис, Ф.С. Формование и горячее декорирование стекла. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Изд-во Инж.-строит. ин-та, 1992. – 140 с.
97. Bullseye Glass Co. Bullseye TechBook [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: [www.bullseyeglass.com](http://www.bullseyeglass.com) (10 сентяб. 2009). Заглавие с экрана.
98. Grants glass – изделия и игрушки из стекла [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.grantsglass.blogspot.ru>. – Заглавие с экрана.
99. Idearemount [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.idearemount.ru>. – Заглавие с экрана.
100. Linawel [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.linawel>. – Заглавие с экрана.
101. LiveInternet [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.liveinternet.ru>. – Заглавие с экрана.
102. NCS Colour centre Russia [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.ncscolour.ru> (5 июля 2014). Заглавие с экрана.
103. System 96. Firing Guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: [www.system96.com](http://www.system96.com) (11 нояб. 2009). – Заглавие с экрана.

104. Uroboros Glass. Kiln Firing Guidelines [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : [www.uroboros.com](http://www.uroboros.com) (11 нояб. 2009). –Заглавие с экрана.

105. Warm Tips [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.warmtips.com> (16 марта 2010). –Заглавие с экрана.