



АДАПТАЦИЯ МЕТОДОВ СНЯТИЯ ЛЕКАЛ И РАЗВЕРТКИ СЛОЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЛЯ ВЫСОКОТОЧНОЙ ПЕСКОСТРУЙНОЙ ГАВИРОВКИ

*Саркисян Сергей Степанович,
владелец, основатель компании
ООО «S.V. Company»,
г. Гюмри, Армения*

E-mail: sergei.sarkisian77@gmail.com

Аннотация. В статье рассматривается проблема адаптации методов снятия лекал и построения разверток сложных стеклянных поверхностей для высокоточной пескоструйной гравировки. Актуальность исследования связана с тем, что при обработке изделий сложной формы основная трудность заключается не только в выполнении абразивного матирования, но и в точном переносе орнамента на криволинейную, коническую, граненую или комбинированную поверхность. Рассмотрены геометрические основы построения разверток, различие между развертываемыми и неразвертываемыми поверхностями, а также значение осевых линий, образующих, сечений и контрольных точек при подготовке лекала. Особое внимание уделено сегментации сложной поверхности, построению локальных фрагментов шаблона, переводу физического лекала в плоскость и последующей цифровой корректировке. Показано, что применение адаптированной методики позволяет снизить риск смещения, перекоса и нарушения симметрии орнамента при пескоструйной гравировке стеклянных изделий сложной формы.

Ключевые слова: пескоструйная гравировка, стеклянные изделия, лекало, развертка поверхности, сложная поверхность, трафарет, орнамент, геометрическое моделирование, сегментация поверхности, цифровая подготовка шаблона.

Актуальность исследования

Актуальность исследования обусловлена тем, что пескоструйная обработка уже является признанным способом декоративного матирования стекла и используется в практике обработки стеклянных изделий, что подтверждается как техническими нормативами, так и отраслевой терминологией. В стандартах прямо упоминаются стекла, подвергнутые пескоструйной обработке, следовательно, речь идет не о частном ремесленном приеме, а о реально применяемой технологии обработки стеклянной поверхности.

При этом для изделий со сложной геометрией основная технологическая трудность связана не столько с самим процессом абразивной обработки, сколько

с точным переносом изображения на криволинейную или комбинированную поверхность. В исследованиях по реверс-инжинирингу подчеркивается, что получение информации о геометрии физического объекта и последующее восстановление его цифровой модели является самостоятельной и методически значимой задачей. Это особенно важно в тех случаях, когда требуется не просто декорировать изделие, а обеспечить точное совмещение орнамента с реальной формой предмета.

Дополнительную значимость теме придает геометрическая специфика сложных поверхностей. Для поверхностей двойной кривизны и переходных участков прямая развертка в плоскость без искажений затруднена, поэтому в инженерной практике такие формы нередко предварительно делят на отдельные участки или патчи, пригодные для более точного преобразования и последующего изготовления. Следовательно, адаптация методов снятия лекал и развертки для пескоструйной гравировки представляет собой актуальную научно-практическую задачу на стыке художественной обработки стекла, прикладной геометрии и цифровой подготовки шаблонов.

Цель исследования

Целью данного исследования является обоснование и описание адаптированной методики снятия лекал и построения разверток сложных стеклянных поверхностей для повышения точности переноса орнамента при пескоструйной гравировке.

Материалы и методы исследования

Материалами исследования послужили стеклянные изделия с цилиндрическими, коническими, гранеными и комбинированными поверхностями, а также учебные и научные материалы по инженерной графике, начертательной геометрии, разверткам поверхностей и технологической подготовке трафаретов для пескоструйной обработки.

В работе использованы методы анализа геометрической формы изделия, классификации поверхностей по возможности точной развертки, сегментации сложной поверхности, построения лекал по контрольным ориентирам, перевода физического шаблона в плоскость, цифровой корректировки развертки и пробной примерки трафарета перед пескоструйной обработкой.

Результаты исследования

Точность переноса изображения на стеклянное изделие определяется прежде всего геометрическими свойствами поверхности. В начертательной геометрии разверткой называется плоская фигура, полученная из поверхности без складок, разрывов, растяжения и сжатия материала. Развертываемыми считаются плоскость, многогранные поверхности, а также цилиндрические и конические поверхности. Для них возможно построение точной развертки, при которой сохраняются линейные размеры и взаимное расположение элементов. Поверхности двойной кривизны, к которым относится, например, сфера, не допускают такой развертки без искажений. Это различие имеет принципиальное значение при подготовке лекала для пескоструйной гравировки, поскольку возможность точного совмещения орнамента с формой изделия напрямую

зависит от того, к какому геометрическому типу относится обрабатываемый участок.

Для цилиндрических и призматических поверхностей применяется метод параллельных линий. Его геометрическая основа состоит в том, что образующие таких поверхностей параллельны друг другу, поэтому при разворачивании боковая поверхность цилиндра преобразуется в прямоугольник. Длина этого прямоугольника равна длине окружности основания, а высота соответствует высоте цилиндра. Для конических и пирамидальных поверхностей используется метод радиальных линий: образующие в развертке располагаются как радиусы, исходящие из вершины. Эти способы относятся к классическим и лежат в основе построения точных лекал для тел вращения и гранных форм, если их поверхность не осложнена дополнительными переходами, фасками, скруглениями или сочетанием нескольких типов кривизны.

Реальные стеклянные изделия редко сводятся к одной простой геометрической форме. В одной и той же вещи могут сочетаться цилиндрический корпус, коническое сужение, многогранные участки, ребра, утолщения, горловина и основание с иным радиусом. В такой ситуации точное лекало не может строиться по одной универсальной схеме. Каждый участок поверхности требует отдельного геометрического определения, потому что цилиндрическая часть допускает одну логику развертки, коническая – другую, а переходная или криволинейная зона вообще не позволяет получить плоский шаблон без приближения [3, с. 677]. Поэтому основой точного лекального построения становится не декоративный рисунок сам по себе, а предварительный анализ формы изделия по его образующим, оси симметрии, сечениям и линиям сопряжения.

С точки зрения дифференциальной геометрии разворачиваемые поверхности характеризуются нулевой гауссовой кривизной. К ним относятся плоскости, цилиндрические, конические и касательные разворачиваемые поверхности. Такие поверхности могут быть перенесены на плоскость без внутренней деформации. Если же поверхность имеет двойную кривизну, при попытке перевода в плоскость возникают неизбежные изменения расстояний или формы контуров. Для практики пескоструйной гравировки это означает, что плоский трафарет, точно работающий на цилиндре, на сложной выпукло-вогнутой форме даст смещение, перекося или нарушение симметрии рисунка. Поэтому геометрическое различие между разворачиваемыми и неразворачиваемыми поверхностями является не абстрактным теоретическим положением, а прямым условием точности технологического результата [1, с. 86].

Для различных типов стеклянных изделий выбор способа построения лекала напрямую зависит от геометрических особенностей поверхности и возможности ее точной развертки в плоскость. Основные типы поверхностей стеклянных изделий и соответствующие им схемы развертки представлены на рисунке ниже.

Типы поверхности	Цилиндрическая поверхность	Коническая поверхность	Многогранная поверхность (призматическая)	Комбинированная поверхность (цилиндр + конус)	Комбинированная поверхность (цилиндр + сфера)
Пример изделия					
Схема развертки (плоский шаблон)	<p>Прямоугольник</p> <p>Дно (основание)</p>	<p>Круговой сектор</p> <p>Дно (основание)</p>	<p>Развертка граней (полосы)</p> <p>Дно (основание)</p>	<p>Комбинированная развертка</p> <p>Дно (основание)</p>	<p>Комбинированная развертка</p> <p>Дно (основание)</p>

Обозначения:
 R – радиус основания цилиндра или конуса;
 H – высота цилиндрической части;
 α – центральный угол сектора развертки конуса ($\alpha = 360^\circ \cdot R / L_k$, где L_k – длина образующей конуса);
 L – длина дуги развертки;
 $H_{ц}$ – высота цилиндрической части;
 $L_{ц}$ – длина развертки цилиндрической части ($L_{ц} = 2\pi R$).

Рис. 1 Основные типы поверхностей стеклянных изделий и соответствующие им схемы развертки

Источник: разработано автором на основе материалов по инженерной графике, начертательной геометрии и методам развертки поверхностей.

Для построения лекал на сложных формах особое значение имеют образующая, направляющая, ось поверхности и сечение. Образующие позволяют задать направление переноса точек с пространственной поверхности на плоскость. Ось симметрии служит базой для центрирования орнамента и проверки зеркальности композиции. Поперечные сечения дают возможность контролировать изменение ширины формы по высоте и заранее выявлять участки, на которых рисунок будет деформироваться при попытке механического наложения шаблона. Линии пересечения граней, ребра и зоны сопряжения выполняют функцию естественных границ, по которым поверхность может быть разделена на отдельные фрагменты для последующего развертывания. Именно такая геометрическая сетка делает возможным точный перенос композиции на сложную поверхность без произвольной подгонки.

Когда поверхность не допускает точной единой развертки, применяется сегментация. Ее сущность состоит в разделении формы на отдельные участки, каждый из которых либо относится к развертываемым, либо допускает приближенное развертывание с контролируемой погрешностью. В инженерной графике и геометрическом моделировании такой подход используется при работе

с переходными поверхностями и сложными оболочками. На практике это позволяет уменьшить искажения, потому что вместо одного большого шаблона строится несколько согласованных фрагментов. Их размеры, границы и положение проверяются по контрольным линиям, после чего отдельные части соединяются в общую композицию. Для стеклянных изделий с изменяющимся радиусом, многогранностью или сложным профилем такой подход является наиболее обоснованным.

В таблице 1 приведена классификация поверхностей по возможности точной развертки и значению для построения лекала.

Таблица 1

Классификация поверхностей по возможности точной развертки и значению для построения лекала

Тип поверхности	Геометрическая характеристика	Возможность точной развертки в плоскость	Значение для лекала
Плоская	Нулевая кривизна, плоская форма	Да	Шаблон переносится без геометрической коррекции
Многогранная	Состоит из плоских граней	Да	Лекало строится по граням и линиям сгиба
Цилиндрическая	Однокриволинейная поверхность, образующие параллельны	Да	Боковая поверхность разворачивается по методу параллельных линий
Коническая	Однокриволинейная поверхность, образующие сходятся в вершине	Да	Развертка строится по методу радиальных линий
Сферическая	Поверхность двойной кривизны	Нет	Нужна приближенная развертка или деление на участки
Свободная или переходная сложная поверхность	Комбинация участков разной кривизны	Как правило, нет в виде одной точной развертки	Нужны сегментация поверхности и согласование фрагментов лекала

Источник: составлено на основе учебной и научной литературы по инженерной графике, дескриптивной геометрии и современным обзорам по развертываемым поверхностям.

Методика адаптированного снятия лекал начинается с фиксации реальной формы изделия, потому что точность трафарета зависит не только от художественного рисунка, но и от совпадения шаблона с фактической геометрией поверхности. В практике инженерного проектирования и реверс-инжиниринга для сложных объектов используется получение данных о форме физического предмета с последующим переводом этих данных в цифровую модель или рабочий чертеж. При этом для изделий со сложной свободной геометрией ручные измерения имеют ограничения, а трехмерное сканирование применяется именно тогда, когда поверхность трудно точно описать обычными средствами измерения.

Перед снятием лекала поверхность изделия целесообразно разделять на функциональные зоны: основная цилиндрическая часть, коническое сужение, граненые участки, переходные радиусы, горловина, основание, места изменения

толщины и зоны сопряжения. Такое деление соответствует общему подходу геометрического моделирования, где сложная форма разбивается на более простые участки, пригодные для последующего уплощения или приближенного построения плоской выкройки. В современных работах по разворачиваемым поверхностям этот процесс описывается как сегментация формы, после которой отдельные участки переводятся в плоскость с минимизацией ошибки.

Физическое снятие лекала выполняется через нанесение на изделие контрольных ориентиров: вертикальной осевой линии, горизонтальных поясов, границ будущего орнамента, линий стыков и точек совмещения. Эти ориентиры позволяют связать плоскостной шаблон с реальной поверхностью и избежать произвольного смещения рисунка при наклейке трафарета. Для цилиндрических участков базовая ширина развертки определяется по длине окружности, а высота – по фактической высоте рабочей зоны. Для конических участков используются радиальные построения, поскольку образующие конуса сходятся к вершине. Для переходных и сложных зон применяются приближенные методы, включая триангуляцию и локальное деление поверхности на фрагменты [5, с. 33].

При снятии лекала с изделия сложной формы важно учитывать не только общий контур, но и поведение материала шаблона при наложении на поверхность. Бумага, пленка или малярный материал могут образовывать складки на участках двойной кривизны, поэтому единый шаблон заменяется системой отдельных фрагментов. Каждый фрагмент должен иметь собственные контрольные точки и границы совмещения.

После снятия первичного физического лекала выполняется его перевод в плоскость. Контур лекала расправляется без растяжения, переносится на бумагу или в векторную программу, после чего сверяется с контрольными размерами: высотой рабочей зоны, шириной по верхнему и нижнему поясу, положением оси, расстояниями между стыками и границами орнамента. При цифровой подготовке шаблона важно сохранять масштаб 1:1, так как пескоструйная гравировка выполняется по трафарету, который непосредственно определяет границы матирования. В технических условиях на изделия из стекла контрольный шаблон определяется как шаблон в натуральную величину будущего стеклоизделия, а матирование описывается как нанесение матового рисунка путем пескоструйной обработки [4, с. 183].

Для высокоточной пескоструйной гравировки итоговая развертка должна учитывать технологические требования к трафарету: четкость линии реза, сохранение мелких элементов, отсутствие лишних разрывов, удобство удаления фрагментов маски и надежное прилегание к стеклу. Если поверхность имеет выраженное сужение или изгиб, орнамент корректируется не по визуальное впечатлению на плоскости, а по контрольным линиям изделия. На практике это означает, что один и тот же рисунок может иметь разную ширину в верхней, средней и нижней части шаблона, чтобы после наклейки на объемную форму он воспринимался как ровный и симметричный [2, с. 250].

Построение итоговой развертки завершается пробной примеркой. Шаблон накладывается на изделие без пескоструйной обработки, проверяется совпадение осевых линий, симметрия орнамента, положение верхней и нижней границы рисунка, отсутствие складок и расхождений в местах стыков. Если трафарет уходит по оси, не совпадает по поясам или дает перекосяк на переходном участке, корректируется не весь рисунок, а конкретная зона развертки. Такой способ позволяет сохранить общую композицию и одновременно устранить локальную геометрическую ошибку.

Перед выбором конкретного способа построения лекала необходимо соотнести форму обрабатываемого участка с тем методом развертки, который позволяет получить наименьшее искажение шаблона (таблица 2).

Таблица 2

**Выбор способа построения лекала
в зависимости от формы участка изделия**

Форма участка изделия	Способ построения лекала	Особенность применения
Ровная цилиндрическая часть	Метод параллельных линий	Ширина развертки связана с длиной окружности
Коническое сужение	Метод радиальных линий	Учитывается изменение радиуса по высоте
Граненая поверхность	Построение по отдельным граням	Каждая грань может иметь собственный фрагмент шаблона
Переход от корпуса к горловине	Сегментация и приближенное построение	Нужны контрольные точки и примерка
Поверхность двойной кривизны	Триангуляция или локальные фрагменты	Единая точная развертка обычно невозможна
Комбинированная форма	Сочетание нескольких методов	Развертка собирается из согласованных частей

Источник: разработано автором на основе материалов по инженерной графике, начертательной геометрии и методам развертки поверхностей.

Адаптированное снятие лекал отличается от обычного копирования поверхности тем, что шаблон не просто повторяет контур изделия, а строится как система проверяемых геометрических соответствий. Точность обеспечивается последовательностью: измерение формы, разметка ориентиров, сегментация, получение первичного лекала, перевод в плоскость, цифровая корректировка и пробная примерка. Для пескоструйной гравировки такая последовательность особенно важна, потому что после обработки стекла исправить смещение орнамента практически невозможно без ухудшения внешнего вида изделия.

Выводы

Проведенное исследование показало, что точность пескоструйной гравировки на стеклянных изделиях сложной формы во многом зависит от правильного построения лекала и учета геометрии поверхности. Универсальный

плоский шаблон не обеспечивает надежного результата на изделиях с изменяющимся радиусом, гранями, переходными зонами и участками двойной кривизны. Наиболее обоснованным является адаптированный подход, включающий анализ формы изделия, разметку контрольных ориентиров, деление поверхности на отдельные участки, построение локальных разверток, цифровую корректировку и обязательную пробную примерку. Такая методика позволяет повысить точность совмещения орнамента с поверхностью изделия, сохранить симметрию композиции и снизить вероятность технологических дефектов при пескоструйной обработке.

Литература:

1. Артемьева Н.Е., Безденежных А.Г. Современные технологии декорирования стекла // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 85-87.
2. Жарикова В.А., Фисунова Л.В. Применение разверток поверхностей // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: Сборник материалов ЛШ Международной студенческой научно-практической конференции. – 2019. – С. 248-252.
3. Климова Л.В., Колесниченко К.В. Стекло: история и современность // Технология художественной обработки материалов: материалы XXIV всероссийской научно-практической конференции. – 2021. – С. 674-681.
4. Рахаева Е.М., Сомова Л., Коняшкина А.Ю. Технологии матирования стекла для средового дизайна // Наука и образование в области технической эстетики, дизайна и технологии художественной обработки материалов: Материалы X международной научно-практической конференции вузов России. – 2018. – С. 181-185.
5. Ульченко Т.В. Развертка сферы методом многогранников с применением AUTOCAD 3D // Современные исследования в гуманитарных и естественнонаучных отраслях: Сборник научных статей. – 2020. – С. 30-35.