

УДК 658.512.23.012

**Б.И. Черников**, канд. техн. наук**В.С. Волик**, ассистент

Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### ГЕОМЕТРИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СВЕТОВЫХ БЛИКОВ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТЕХНИЧЕСКИХ ФОРМ

**Б.І. Черніков**, канд. техн. наук**В.С. Волик**, асистент

Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### ГЕОМЕТРИЯ УТВОРЕННЯ СВІТЛОВИХ ВІДБЛИСКІВ НА ПОВЕРХНЯХ ТЕХНІЧНИХ ФОРМ

**Boris Chernikov**, PhD in Technical Sciences**Viktor Volik**, assistant

Chernigov National Technology University, Chernigov, Ukraine

### GEOMETRY OF LIGHT REFLECTION ON TECHNICAL FORMS SURFACES

*Представлены обобщенные результаты исследований по определению светотеневого строения поверхности. Показана геометрия образования отражений (световых бликов) при моделировании поверхностей технических форм. Изложен подход к практическому построению отражений на сложной криволинейной поверхности.*

**Ключевые слова:** блик, свет, техническая форма, тень, формообразование.

*Представлено узагальнені результати досліджень за визначенням світлотіньової структури поверхні. Показано геометрія утворення відображень (світлових відблисків) під час моделювання поверхонь технічних форм. Наведено підхід до практичної побудови відблисків на складній криволінійній поверхні.*

**Ключові слова:** відблиск, світло, технічна форма, тінь, формоутворення.

*The results of studies to determine the cut-off of the surface structure are summarized. The geometry of the formation of reflections (glare of light) in the modeling of surfaces technical forms showing. An approach to the practical construction of reflections on the complex curved surface is described.*

**Key words:** light, modeling of surfaces, reflection, shadow, technical form.

**Постановка проблемы.** Весь предметный мир мы воспринимаем с помощью света. Поэтому, разрабатывая объемно-пространственные композиции, необходимо умело использовать функционально-эстетические возможности светораспределения на поверхности.

При разработке сложных поверхностей в процессе художественного конструирования нельзя не учитывать влияния световых бликов. Основное внимание при этом необходимо акцентировать на соблюдении закономерностей в геометрическом построении сложных поверхностей, ибо здесь световой блик служит самым строгим контролером. Объект становится особенно рельефным и выразительным, когда он оптимально освещен, только тогда тени и блики связывают воедино все элементы формы. Методы разработки сложных поверхностей по существу связаны с распределением на них света и тени с учетом поведения световых бликов.

Особенно велико значение светового блика для изделий со сложными криволинейными поверхностями. Переходя по образующим поверхности, он подчеркивает и выявляет особенности рельефа, обозначает кромки в местах примыкания различных деталей. Когда блик сбивается, становится неровным, меняет свои очертания, пересекает контуры поверхности, форма смотрится мятой, строгость и четкость линий исчезает. Природа деформации светового блика может быть различной. Чаще всего нарушение линии блика – следствие нарушения геометрической основы формы.

Хорошим примером для демонстрации бликов является легковой автомобиль. В вечернее и ночное время, когда контуры кузова мало заметны или не видны – на первый план выходят блики (рис. 1). Именно блики в этом случае подчеркивают динамику и пластику формы, создают эффект выразительности формы. С помощью бликов мы "читаем" форму, определяя, насколько она выразительна и современна.

Формы легковых автомобилей стали настолько изысканы, переходы формообразующих линий настолько сложны и разнообразны, что малейшая неточность в построении

формы – нарушение ее геометрии – будет обнажена светом. Форма, найденная без строгого учета распределения света и тени, может оказаться ложной из-за появления бликов в тех местах, которые нежелательно выявлять. Поэтому лучшие автомобильные модельеры тщательно работают над светотеневой структурой, проверяя пластику кузова "на свет".



Рис. 1. Примеры образования светотени на поверхности корпусных деталей автомобиля

Еще одно применение бликов – проверка качества окраски поверхностей. Все дефекты поверхности легко обнаружить с помощью света путем визуального наблюдения за поведением блика.

В процессе формообразования могут возникнуть задачи, связанные с устранением бликов с поверхности. Это те случаи, когда световой блик ослепляет оператора и создает визуальные помехи в работе.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Дизайн поверхностей технических форм начинается с рисунка. Дизайнер, полагаясь на свой опыт и интуицию, задает обводы и показывает светотеневую структуру поверхности. Действительное появление тени и бликов на поверхности можно проверить только на модели.

Чтобы предварительно оценить форму и место появления блика следует проанализировать геометрию поверхности и найти те закономерности, которые связаны с образованием отражений. Такой анализ можно провести на примерах простых поверхностей.

В каждой точке криволинейной поверхности существует два перпендикулярных направления  $I_1$  и  $I_2$  (рис. 2), в которых нормальная кривизна\* принимает минимальные и максимальные значения [1]. Эти направления называются главными. Исключение составляет случай, когда нормальная кривизна по всем направлениям одинакова (например, у сферы), тогда все направления в точке – главные. Нормальные кривизны в главных направлениях называют главными кривизнами. Именно главные кривизны определяют форму и размеры светового блика. Если принять, что блик на поверхности это видимое отражение источника света, то можно определить некоторые закономерности в построении отражений. Так, луч падающий SA (рис. 3), отраженный AC и нормаль N будут принадлежать одной плоскости. Свет от источника к наблюдателю идет через отражение кратчайшим путем (закон сохранения энергии).

Поведение светового блика на поверхности с учетом главной кривизны можно показать на примере гладкого цилиндра. Цилиндр, одна главная кривизна – нулевая (в продольном осевом сечении), другая (в поперечном) – обратный радиус. В случае удаленного источника света на цилиндре увидим полоску света, совпадающую с направлением одной прямолинейной образующей [2]. Если источник света – окружность, то на боковой поверхности цилиндра наблюдатель увидит отражение в форме эллипса, большая ось ко-

\* Для разных направлений в заданной точке поверхности получается разная кривизна нормального сечения, которая называется нормальной кривизной.

того совпадает с направлением нулевой кривизны. Ориентация эллипса привязана к главной кривизне поверхности, в чем можно убедиться, если поворачивать цилиндр относительно источника света. Исключение может иметь место, когда на поверхности цилиндра имеется шероховатость, которая искажает форму и размеры блика [2].

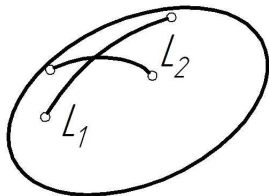


Рис. 2. Схема расположения главных кривизн на поверхности эллипсоида

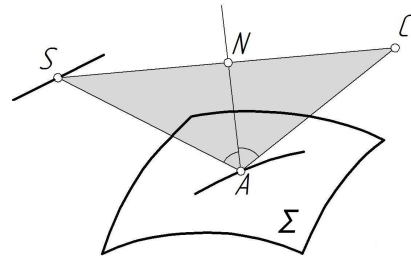


Рис. 3. Схема определения отражения точки  $S$  на поверхности  $\Sigma$  при заданной точке зрения  $C$

Те же замечания справедливы для поверхности конуса, где световой блик так же совпадает по направлению с прямолинейной образующей поверхности.

Экспериментально замечено, что световой блик на составных поверхностях (конусы и цилиндры) проходит по всем поверхностям без разрывов, а тени при переходе с одной поверхности на другую имеют разрыв (скачок).

Изложенное относится больше к рисованию поверхности. В промышленных условиях следует использовать компьютерную графику. В статье дана краткая характеристика некоторых графических пакетов для построения светотени на 3D-модели, которые содержат специальные средства создания фотореалистичного изображения. Средства фотореалистики позволяют оценить внешний вид изделия, максимально приближенный к реальному, без изготовления дорогих макетов и прототипов.

Среди наиболее распространенных систем трехмерного моделирования из можно выделить такие программные продукты, как SolidWorks компании Dassault Systemes, Inventor компании Autodesk, КОМПАС-3D ЗАО "Аскон", T-Flex компании ЗАО "Топ Системы" и другие. Рассмотрим возможности каждого программного продукта, которые дают возможность задавать оптические свойства изделий.

Программа SolidWorks дает возможность задать ряд настроек для 3D-модели, среди которых [3]:

- Детализация. Руководит плотностью точек, которые собирают свет, и определяет, насколько явно видны быстрые изменения между светлыми и темными значениями.

- Точность. Изменяет расстояние между последовательными расчетами в точках, которые собирают свет. Увеличение близости точек увеличивает число расчетов. Это улучшает эффект фотореалистичности, но увеличивает время обработки.

- Отблеск. Определяет, сколько раз свет передается из одной поверхности на другую. При увеличении значения интенсивности отблеска распространяется больше света; слишком высокое значение приводит к смещению цветов.

Дополнительно в программе SolidWorks есть возможность использования модуля PhotoWorks, для которого можно задавать такие оптические свойства объектов:

- Указание источников рассеянного света, прожекторов, точечных и отдаленных источников.

- Простое управление тенями с учетом прозрачности объектов.

- Назначение и редактирование цвета и интенсивности любого источника света.

- Сохранение настроек света и тени в файле модели.

- Имитация реалистичных лучей света.

Система трехмерного моделирования КОМПАС-3D дает возможность установки дополнительной библиотеки Artisan Rendering, созданной совместно с английской ком-

панією Lightworks [4]. Нове рішення призначено для створення фотореалістичних зображень машинобудівних виробів і будівельних об'єктів, спроектованих в системі КОМПАС-3D V13 і вище.

Цей модуль включає бібліотеку матеріалів і текстур, джерел користувачів світла і тіней, оптичних властивостей поверхонь виробу, обстановки і багато чого іншого.

Серед основних можливостей можна відзначити:

– вибір відповідних оптичних характеристик матеріалу для деталей і збірочних одиниць;

– попередній перегляд матеріалів і їх параметрів;

– налаштування сцени і умов освітлення;

– управління оптичними властивостями виробу, такими як тіні, відблиски і т. п.

Для програмного продукту Autodesk Inventor можливості задання оптичних властивостей поверхонь виробу реалізовані в середовищі візуалізації і анімації деталей і збірочних одиниць Inventor Studio [5]. Програма дозволяє створювати фотореалістичні зображення. Крім статичних зображень можна створювати анімацію, яка демонструє роботу проекту. При створенні зображень можна використовувати стандартне освітлення і стилі сцени або визначити власні налаштування. Існує можливість індивідуальних налаштувань освітлення, кольорів і стилів. Змінюючи налаштування, можна задати як зовнішнє середовище (джерела і інтенсивність світла, колір сцени), так і оптичні властивості самого об'єкта проектування – колір, тіні, відблиски.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** В літературних джерелах, присвячених цій темі, надаються дуже короткі і обережні дані з області формування блисків. Найчастіше блики показують на прикладах готових поверхонь, при цьому нічого не повідомляють про геометрію їх формування. Відомо тільки те, що формою і динамікою блика керує кривизна поверхні [6]. Тому подальше розв'язання цієї тематики є важливим завданням сучасного художнього конструювання.

**Ціль даної статті** – показати геометричну основу світлового блика, як засіб організації форми поверхні.

**Изложение основного материала.** В загальному випадку геометрію блика на поверхні можна зв'язати з побудовою відображень. На практиці побудова тіні і блисків відбувається на завершальній стадії проектування поверхні, коли виконуються наступні умови:

1) поверхня задана теоретично на чертежі;

2) визначено алгоритм побудови нормалі в кожній точці поверхні;

3) відомі координати джерела світла і точки зору.

Використовуючи методи начертальної геометрії, можна будувати форму блика, а також визначити його місцезнаходження на поверхні. Як приклад розглянемо побудову відображення прямих ліній  $m$  і  $n$  на поверхні сфери при заданій точці зору  $C$  (рис. 4). Побудову ведемо по окремим точкам, належачим вказаним прямим, використовуючи схему на рис. 3. Точка зору задана на глибинній прямій, що проходить через центр сфери. Тоді точку  $C$  можна розглядати як джерело світла і направляти через цю точку пучок падаючих променів на сферу. На сфері пучок падаючих променів розпадається на плоскі пучки, перпендикулярні площинам, що проходять через точку зору і центр сфери. Відбиті промені будують в площині екватора сфери. На горизонтальному розрізі сфери довільно вибираємо точку  $A$ . Використовуючи закон відображення, будують падаючий  $AC$  і відбитий  $AS$  промені (можливо використовувати огинаючу відбитих променів [7]).

Щоб знайти дійсне відображення точки, належачої прямій  $n$ , необхідно повернути площину, в якій побудовано відбитий промінь  $AS$ , навколо осі  $CO$  до

совмещенного положения с проекцией прямой  $n_2$ . Перемещение на горизонтальной проекции точки  $S$  происходит по прямой, перпендикулярной оси  $OC$ .

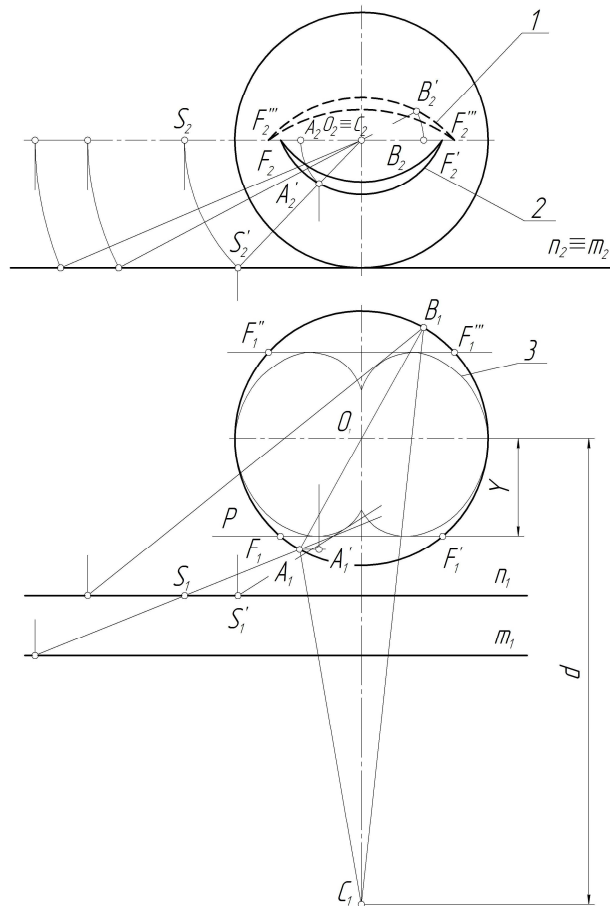


Рис. 4. Отражение прямых  $n$  и  $m$  на поверхности сферы: 1 – отражение на внутренней поверхности сферы; 2 – отражение на внешней поверхности сферы; 3 – огибающая отраженных лучей

Такая же схема построения предусмотрена для остальных точек прямых  $m$  и  $n$ , как показано на рис. 4. Отражение прямых построено как на выпуклой, так и на вогнутой частях поверхности.

Указанное построение дает для каждой прямой две точки схода на отражающей поверхности. Точки схода  $F, F', F'', F'''$  соответствуют отраженно несобственной точки прямых  $m$  и  $n$ .

Точки схода принадлежат плоскости  $P$ , касательной фокальной поверхности конгруэнции отраженных лучей. Если точка зрения несобственная. То положение плоскости  $P$  определяется по формуле [8]

$$Y = \frac{r}{\sqrt{2}}.$$

Если точка  $C$  расположена на конечном расстоянии  $d$  от оси сферы, то формула имеет вид:

$$Y = r \frac{1 + (1 + 8d^2)^{\frac{1}{2}}}{4d},$$

где  $r$  – радиус окружности,  $d=CO$ .

Используя предложенный алгоритм, можно строить отражения на поверхностях второго порядка от любых контуров отражаемых объектов, произвольно расположенных в пространстве.

### Выводы и предложения

1. Строить изображение блика в процессе проектирования поверхности возможно с учетом параметров дифференциальной геометрии. Для этого необходимо иметь теоретический чертеж поверхности (3D-модель).

2. Форму и динамику блика задает главная кривизна поверхности. Положение источников света и точки зрения особого значения не имеют.

3. Расположение и форма блика не всегда совпадает с образующей поверхности. Все зависит от того, какая линия принята за образующую. Блик выбирает образующую с минимальной кривизной.

### Список использованных источников

1. Гильберт Д. Наглядная геометрия / Д. Гильберт, С. Кон-Фоссен. – М. : Наука, 1981. – 344 с.
2. Черніков Б. І. Графоаналітичне дослідження віддзеркалень на лінійчатих поверхнях / Б. І. Черніков, Я. В. Жарій // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2002. – № 15. – С. 5-10.
3. Режим доступа : <http://help.solidworks.com>.
4. Малюх В. Тестируем Artisan Rendering для КОМПАС-3D / В. Малюх // САПР и графика. – 2011. – № 12. – С. 52-56.
5. Режим доступа : <http://wikihelp.autodesk.com/Inventor>.
6. Черніков Б. І. Ідентифікація ліній кривизни на поверхні з врахуванням утворення світлової лінії / Б. І. Черніков, Я. В. Жарій // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 76. – С. 122-127.
7. Савелов А. А. Плоские кривые / А. А. Савелов. – М. : Госиздат физико-математической литературы, 1960.
8. Снисаренко Н. Н. Построение лучей, отраженных поверхностями вращения / Н. Н. Снисаренко // Прикладная геометрия и инженерная графика. – К. : КИСИ, 1968. – Вып. 8. – С. 27-28.

УДК 539.3:534.1

**Oksana Horbatko**, PhD in Technical Sciences  
Chernihiv National Technological University, Chernihiv, Ukraine

### MODELING OF TWILL-STRUCTURE OF REINFORCEMENT FOR PLAIN WOVEN GLASS FIBRE/EPOXY RESIN TEXTILE COMPOSITE

**О.О. Горбатко**, канд. техн. наук  
Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

### МОДЕЛЮВАННЯ TWILL-СТРУКТУРИ АРМУВАННЯ ТКАНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО ПОЛІМЕРНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ЗІ СКЛОВОЛОКНАМИ

**О.А. Горбатко**, канд. техн. наук  
Черниговский национальный технологический университет, г. Чернигов, Украина

### МОДЕЛИРОВАНИЕ TWILL-СТРУКТУРЫ АРМИРОВАНИЯ ТКАНОГО ТЕКСТИЛЬНОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СО СТЕКЛОВОЛОКНАМИ

*This paper presents results of investigations plain woven glass-fibre/epoxy resin textile composite material. The geometric characteristics of Twill-structure of reinforcement with MIMAS software were obtained. The structure of one layer of textile composite material was modeled with ANSYS software complex.*

**Key words:** textile composite material, modeling, Twill-structure of reinforcement, glass-fibre, epoxy resin.

*Ця робота представляє результати досліджень полімерного текстильного композиційного матеріалу з тканим наповнювачем у вигляді скловолокна. Геометричні характеристики Twill-структури армування одержано за допомогою програмного забезпечення MIMAS. Структуру одного шару текстильного полімерного композиційного матеріалу змодельовано за допомогою комплексу ANSYS.*

**Ключові слова:** текстильний композиційний матеріал, моделювання, Twill-структура армування, скловолокно, епоксидна смола.