

УДК 514.182.3

ТЕНЕВОЕ ПРОЕЦИРОВАНИЕ

Васильченко Фёдор Вячеславович, студент, направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: vasilcenkofedor17@gmail.com

Еремина Дарья Олеговна, студент, направление подготовки 24.03.01 Ракетные комплексы и космонавтика, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: daraeremina@mail.ru

Научный руководитель: **Семагина Юлия Владимировна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры архитектуры, Оренбургский государственный университет, Оренбург
e-mail: semagina@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение теневого проецирования в контексте определения метрических параметров объектов. Дается определение теневого проецирования и анализируется его механизм. Особое внимание уделено применению данного метода в различных областях, рассмотрены его достоинства и недостатки. Акцент сделан на определении метрических параметров объектов с использованием теневого проецирования в контексте решения геометрических задач. Новизна исследования заключается в разработке схем теневого проецирования для различных типов поверхностей. Также предложен коэффициент теневого проецирования, позволяющий определять размеры различных тел на основе известных параметров тени. Кроме представленных в статье схем проецирования на плоскость и сферическую поверхность, в последующих работах теневое проецирование может быть распространено на другие поверхности, включая конические, цилиндрические и поверхности непостоянной формы. Статья является началом исследования, направленного на изучение методологии теневого проецирования как с аналитической, так и с геометрической точек зрения. В дальнейшем, аналитическая модель может быть преобразована с использованием методов программирования для автоматизации проектирования инженерных систем.

Ключевые слова: теневое проецирование, метрические параметры, коэффициент теневого проецирования, схемы теневого проецирования, типы поверхностей.

Для цитирования: Васильченко Ф. В., Еремина Д. О. Теневое проецирование // Шаг в науку. – 2025. – № 4. – С. 15–21.

SHADOW PROJECTION

Vasilchenko Fyodor Vyacheslavovich, student, training program 24.03.01 Rocket Systems and Cosmonautics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: vasilcenkofedor17@gmail.com

Eremina Daria Olegovna, student, training program 24.03.01 Rocket Systems and Cosmonautics, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: daraeremina@mail.ru

Research advisor: **Semagina Yulia Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architecture, Orenburg State University, Orenburg
e-mail: semagina@mail.ru

Abstract. The article deals with the application of shadow projection in the context of determining metric parameters of objects. The definition of shadow projection is given and its mechanism is analyzed. Special attention is paid to the application of this method in various fields, its advantages and disadvantages are considered. Emphasis

is placed on the determination of metric parameters of objects using shadow projection in the context of solving geometric problems. The novelty of the study lies in the development of shadow projection schemes for different types of surfaces. A shadow projection coefficient is also proposed, which allows us to determine the dimensions of various bodies based on known shadow parameters. In addition to the schemes of projection on a plane and spherical surface presented in the paper, shadow projection can be extended to other surfaces, including conical, cylindrical, and surfaces of non-constant shape, in future works. The paper is the beginning of a study aimed at exploring the methodology of shadow projection from both analytical and geometric perspectives. In the future, the analytical model can be transformed using programming techniques to automate the design of engineering systems.

Key words: shadow projection, metric parameters, shadow projection coefficient, shadow projection schemes, surface types.

Cite as: Vasilchenko, F. V., Eremina, D. O. (2025) [Shadow projection]. *Shag v nauku* [Step into science]. Vol. 4, pp. 15–21.

Анализ литературных данных позволил сформулировать цель проведенной работы: рассмотреть практическое применение теневого проецирования в контексте определения метрических параметров объекта.

Достижение поставленной цели потребовало решения ряда задач:

- дать определение теневого проецирования и изучить его механизм;
- рассмотреть области применения теневого проецирования;
- определить возможности определения метрических параметров объектов с применением теневого проецирования.

Проектирование объекта на поверхность – это процесс установления взаимно-однозначного соответствия между точками пространства и точками плоскости (поверхности). В строительстве и инженерной практике используются способы проектирования, базирующиеся на методе двух изображений [1].

Показано, что теневое проецирование создается путем получения тени объекта на поверхности или плоскости. Объект для этого помещают между источником света и экраном.

Физики говорят, что тень выражается зрителю уловимым силуэтом, возникающим на произвольной поверхности благодаря присутствию объекта (тела или вещества; например, в газообразном или жидким состоянии) между ней и источником света. Контурами своими тень в той или иной степени, с учётом ряда условий, повторяет контуры этой преграды света [4].

Метод теневого проецирования был взят на вооружение для создания систем визуализации. Одними из первых они нашли применение в аэрокосмической области. А. Н. Предтеченский и В. В. Родченко рассматривают теневую систему имитации визуальной обстановки для пилотажных стендов и тренажеров,

которая создает на экране изображение, наблюдаемое летчиком из кабины стендса [5].

Теневые проекции также широко используются в медицине, например, в томографии [6].

Теневое проецирование редко используется для описания метрических характеристик объектов. Более широко применяются методы, в основе которых лежат матрицы линейных преобразований [2] и аппроксимирование [3].

Авторы предлагают разрешить эту проблему за счет специального коэффициента, который с достаточной точностью позволит определять габариты тела по его теневой проекции.

Точного определения термина «теневое проецирование» в источниках не дано. На основе совокупных данных предлагаем следующее определение.

Теневое проецирование – это получение на экране теневой проекции объекта с помощью осветительных приборов и оптико-электронного оборудования.

В качестве «инструмента» для теневого проецирования воспользуемся методом построения изображений в линейной перспективе. И. И. Тошев описывает алгоритм использования метода, начиная с простейших случаев [7].

Рассмотрим метод теневого проецирования при решении практических задач. В действительности источник света не всегда может быть расположен на нормали ко всем точкам поверхности.

Определим тень как область картинной плоскости, в которую не проникает свет от источника. При попадании тела на освещенное пространство на поверхность за телом падает тень. Контур тени будет определять основные размеры прообраза. При рассмотрении теневых проекций будем использовать точечный источник света, расположенный позади среза плоскости. Один из вариантов показан на рисунке 1.

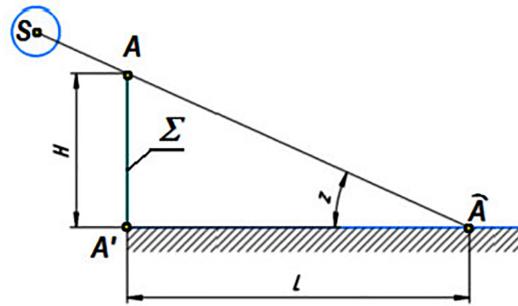


Рисунок 1. Определение размерных характеристик вертикального плоского отсека
Источник: разработано авторами

В этом случае высота рассматриваемого отсека плоскости H будет связана с длиной тени L формулой

$$H = L * \tan(z), \quad (1)$$

где

S – источник света,
 Ω – отсек плоскости высотой H ,
 L – длина падающей тени,
 Z – угол падения лучей света.

В случае наклона плоскости Σ к картинной плоскости (поверхности) под углом λ высота UA рассма-

триваемого отсека плоскости определится следующим образом, показанным на рисунке 2.

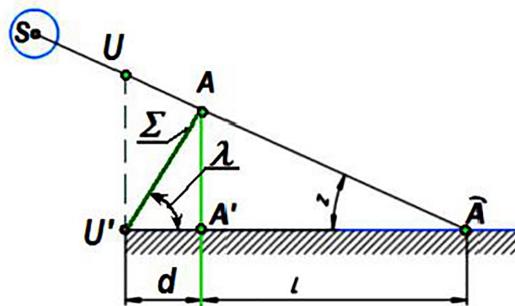


Рисунок 2. Определение размерных характеристик наклонного плоского отсека
Источник: разработано авторами

По схеме, показанной на рисунке 1, находится величина отрезка $A'A$. Искомая величина $U'A$ (высота отсека плоскости Σ , рисунок 2) определится, как гипотенуза треугольника $U'AA'$.

$$U'A = \sqrt{(U'A^2 + d^2)}. \quad (2)$$

Если нужно определить ширину или толщину, то воспользуемся следующим соотношением, показанным на рисунке 3.

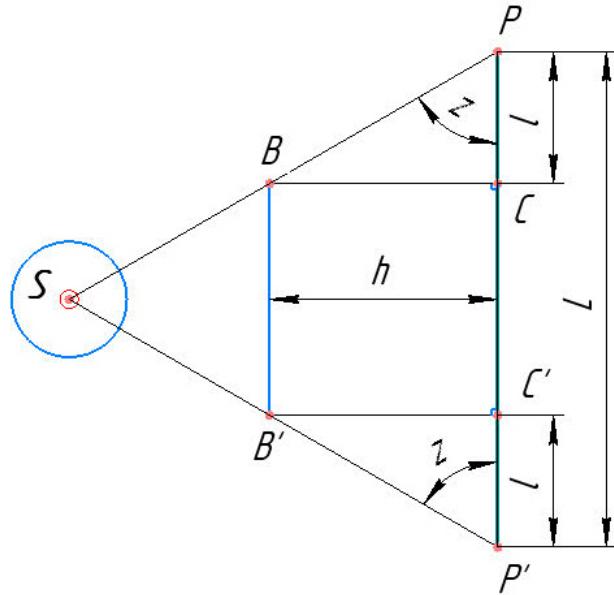


Рисунок 3. Расчёт поперечного измерения плоскости

Источник: разработано авторами

Рассмотрим картинную плоскость, искомая величина – BB' (ширина/толщина отсека плоскости).

BB' определяется, как разница величины тени PP' и отрезков теневой деформации CP и $C'P'$.

$$CP = C'P' = h * \tan(z), \quad (3)$$

$$BB' = L - 2 * l, \quad (4)$$

$$BB' = L - 2 * [h / \tan(z)], \quad (5)$$

где

S – источник света,

L – ширина падающей тени,

h – расстояние до очерка тени,

l – величина отрезков деформации,

z – угол падения лучей света.

Одним из вопросов начертательной геометрии является проецирование на криволинейные поверхности. Сфера, как и плоскость, имеет во всех своих точках постоянную кривизну, поэтому рассмотрим теневое проецирование на полусферическую поверхность. При этом важно отметить, что в перспективе способ может быть адаптирован и к другим типам

поверхностей. Для упрощения и стандартизации отсек плоскости помещается у основания сферы нормально к горизонтальной поверхности. При проецировании на полусферу в качестве картинной плоскости принимается поверхность сферы. Рассмотрим проецирование прямого отсека плоскости на поверхность сферы на рисунке 4.

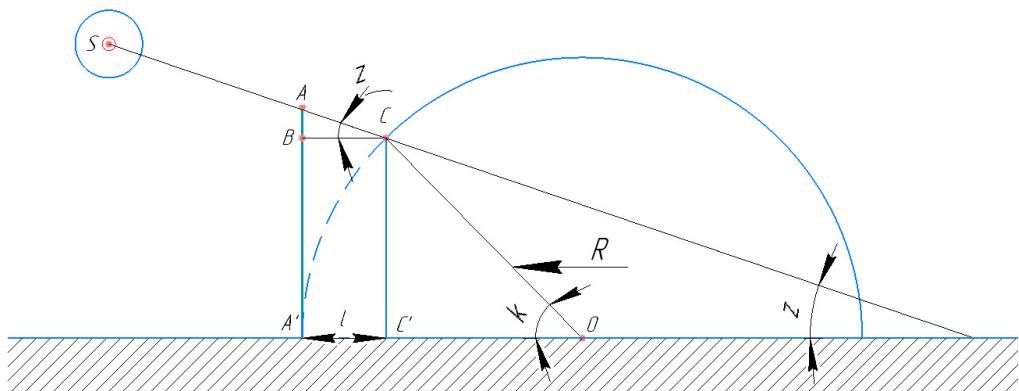


Рисунок 4. Проецирование прямого отсека плоскости на поверхность сферы

Источник: разработано авторами

Рассмотрим картинную плоскость, изображенную на рисунке 4, искомая величина – AA' (высота отсека плоскости).

$$CC' = BA' = R * \sin(k), \quad (6)$$

$$A'C' = l = R * [1 - \cos(k)]. \quad (7)$$

В треугольнике ABC:

$$A'C' = BC = l; AB = l * \tan(z), \quad (8)$$

$$AA' = A'B + AB = R * \sin(k) + l * \tan(z), \quad (9)$$

где

S – источник света,

l – расстояние до хорды отсеченной дуги,

k – градусная мера затененной дуги,

R – радиус сферы,

Z – угол падения лучей света.

При необходимости нахождения ширины или толщины воспользуемся рядом формул и схемой, изображенной на рисунке 5.

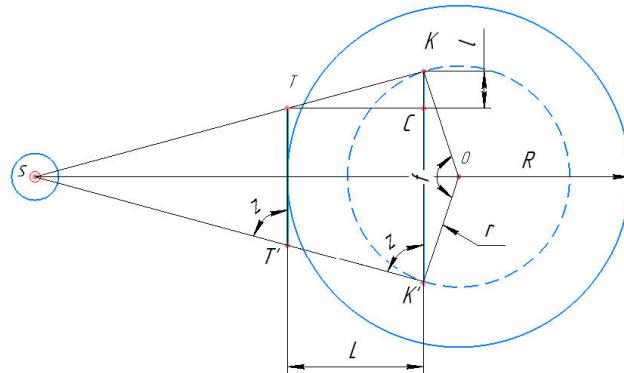


Рисунок 5. Процедура вычисления линейного параметра отсека при его отображении на сферическую поверхность

Источник: разработано авторами

Рассмотрим картинную плоскость, искомая величина – ТТ' (ширина\толщина отсека плоскости). ТТ'

определится, как разница величины тени КК' и двух отрезков теневой деформации СК.

$$KK' = 2R * \sin(f/2), \quad (10)$$

$$L = R - r * \sin((180 - f)/2), \quad (11)$$

$$l = L / \tan(z), \quad (12)$$

$$TT' = KK' - 2l \text{ или } TT' = 2R * \sin(f/2) - 2L / \tan(z), \quad (13)$$

где

S – источник света,

L – ширина падающей тени,

h – расстояние до очерка тени,

l – величина отрезков деформации,

Z – угол падения лучей света.

Построение теней на криволинейных поверхностях связано с преобразованием картинной плоскости в поверхность. В ходе рассмотрения проблемы теневого проецирования предложен коэффициент

$k_t = \tan(z)$ – коэффициент теневого проецирования, указанный в таблице 1. Он позволяет с достаточной точностью определять габариты различных тел при известных габаритах тени.

Таблица 1. Обобщенные формулы с коэффициентом теневого проецирования

Поверхности	Высота	Ширина (толщина)
Горизонтальная	$L * k_t$	$L - 2 * [h/k_t]$
Сферическая	$R * \sin(k) + l * k_t$	$2R * \sin(f/2) - 2L/k_t$

Источник: разработано авторами

Теневое проецирование обладает рядом важных преимуществ. Гибкость настройки позволяет точно регулировать интенсивность и направление теней, настраивать их прозрачность и цвет, а также адаптировать под разные материалы в реальном времени. Эта техника эффективно демонстрирует как статичные, так и динамические объекты, улучшая восприятие их формы и объёма. В статике чётко визуализируется положение предметов в пространстве, а при движении можно отслеживать траектории через тени. Кроме того, теневое проецирование значительно расширяет возможности визуализации: создаёт реалистичную атмосферу в 3D-сценах, улучшает восприятие глубины пространства, помогает выделять важные элементы композиции. С его помощью можно передавать время суток и погодные условия, повышать качество архитектурных визуализаций

и улучшать восприятие текстур объектов.

Выводы

В результате исследования сформировано определение метода теневого проецирования и выявлены основные сферы его применения. Разработаны алгоритмы для определения метрических параметров различных геометрических объектов, таких как отсеки плоскостей и сферические поверхности. Особое внимание уделено разработке алгоритмов проецирования и аналитического обоснования. Существенным достижением стало введение коэффициента теневого проецирования, учитывающего геометрические особенности объектов и параметры системы проецирования. Это позволяет корректировать искажения и повышать точность измерений. Практическая ценность работы заключается в возможности

применения разработанных методик как для ручного проектирования, так и для автоматизации процессов с помощью компьютерных систем. Полученные ре-

зультаты расширяют теоретические основы метода и создают базу для его эффективного использования в инженерной практике.

Литература

1. Вученович А. Взаимодействие света и тени как проекции в процессе создания теневого спектакля, фотографии и фильма // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Социальные, гуманитарные, медико-биологические науки. – 2022. – Т. 24, № 84. – С. 40–51. – <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2022-24-84-40-51>.
2. Глотова В. В., Лебедева И. М. Механизм центрального проецирования в компьютерной графике // Вестник МГСУ. – 2011. – № 2–2. – С. 342–346.
3. Гончарова Т. В. Метод аппроксимации сложных поверхностей развертывающимися поверхностями // Universum: технические науки. – 2017. – № 5(38). – С. 4–7.
4. Ксанфомалити Л. В. Светлые тени // Наука из первых рук. – 2010. – № 6(36). – С. 54–63.
5. Предтеченский А. Н., Родченко В. В. Метод теневой имитации визуальной обстановки для пилотажных стендов и тренажеров // Ученые записки ЦАГИ. – 1975. – Т. 6, № 6. – С. 66–73.
6. Способ получения теневых проекций при томографическом исследовании объектов: пат. SU1396021A1 СССР. №864025558/08; заявл. 1986.01.02; опубл. 1988.05.15 – 3 с.
7. Тошев И. И., Очилова Н. Т., Солиева Н. Ш. Построение теней в перспективе // Молодой ученый. – 2014. – № 11. – С. 118–122.

Статья поступила в редакцию: 15.05.2025; принята в печать: 13.10.2025.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.