

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 681.3.06

Б. А. УСОВ
(Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Для формирования математических моделей поверхностей кузова автомобиля можно использовать формализованные описания известных графических методов разработки поверхностей. Формализация таких методов, не используемых в настоящее время в машинной графике, может быть осуществлена с помощью аппарата параметризации алгебраических кривых. Это позволяет внедрить процессы автоматизации в художественное конструирование, используя математические методы и критерии для корректировки, уточнения формы (в отношении ее гладкости, симметричности, закономерности построения, пропорциональности и т. д.) в соответствии с замыслами дизайнера и под его контролем.

Прежде чем перейти к изложению методов моделирования поверхностей кузова автомобиля, сделаем небольшой анализ традиционных процессов получения форм реальной поверхности кузова в ходе проектирования автомобиля.

Проектирование кузова автомобиля начинается на стадии разработки технического задания после того, как готов эскизный компоновочный чертеж. На начальных этапах проектирования поверхности кузова автомобиля его удобно представлять упрощенной геометрической моделью, элементами которой могут быть параллелепипеды.

Упрощенную модель легкового автомобиля классической компоновки можно представить как два или три прямоугольных параллелепипеда, автобуса вагонной компоновки — в виде одного параллелепипеда [1].

Скульптурная обработка этих параллелепипедов, определяющая продольный, поперечный и горизонтальные контуры кузова, может быть разнообразной во взаимных пропорциях их главных линий, характера округлых и плоских поверхностей.

Проблема поверхности кузова и его формы — одна из наиболее существенных проблем в кузовостроении. Одной из первых скульптурных задач является задача выбора колесной базы, переднего и заднего свесов, длины кузова [2]. Для автобусов выбираются высота стены и оконной части, шаг окон и др. [3].

Если сравнивать кузов легкового автомобиля и автобуса современного типа, то, так как форма последнего не так сложна, как форма кузова легкового автомобиля, можно сделать вывод, что разработка поверхностей автобуса не представляет трудности и может быть выполнена элементарными графическими методами [4]. Такое заключение не будет соответствовать действительности. Кузов легкового автомобиля представляет собой комбинацию поверхностей разнообразной формы, и один из первых этапов разработки состоит в разбиении этого комплекса на ряд

отдельных поверхностей (наиболее простой способ образования), после чего разработка каждой части кузова легкового автомобиля становится не сложнее разработки отдельных поверхностей автобуса.

Деление поверхности кузова на отдельные участки объясняется следующим:

необходимостью предусмотреть проемы для дверей, окон и прочие элементы, обеспечивающие функциональность кузова;

технологией сборки кузова из ряда штампуемых деталей, линии раздела которых скрыть нельзя, но они необходимы с точки зрения технологичности штампуемых деталей;

возможностью разработки формы поверхности кузова только для поверхностей, которые не меняют знак кривизны.

Из приведенных выше соображений исходными кривыми становятся обычно естественные линии кузова [1]. Это могут быть габаритные линии, линии усиливающих углублений и кромки проемов. От числа исходных линий зависит число чертежей графической разработки поверхности.

На заре автомобильной промышленности инженеры, проектирующие двигатели и шасси, оказывали решающее влияние на конструкцию автомобиля. Их мнение было окончательным в те времена, когда основным требованием к автомобилю считалась функциональность. В этом случае классическим примером является автомобиль модели «Форд-7», его отличительная черта — функциональность [5].

В пятидесятые годы произошли значительные перемены в конструировании автомобилей, однако не менее существенными были перемены и в сознании тех, кто эти автомобили создавал. В автомобильной промышленности появился художник-конструктор, который должен был только оформлять изделие. Это направление получило название «стайлинг». По определению видного английского дизайнера Хилла, «термин „стайлинг“ обозначает придание изделию формы безотносительно к функции изделия».

Критикуя такое направление, Ю. С. Сомов писал, что «...художественное конструирование — это не наведение косметического глянца на уже сконструированную вещь. Эстетическое никак не может быть принесено потом, применено к законченной конструкции» [6].

Основное направление, которого придерживается большинство ведущих специалистов в области художественного конструирования, основано на стремлении художников-конструкторов создать совместно с другими специалистами изделия, отвечающие потребностям человека. Такой подход приводит к появлению изделий с новыми потребительскими качествами, к которым относятся удобства и безопасность их обслуживания, привлекательный внешний вид, невысокая стоимость [7].

Графическая разработка поверхности кузова автомобиля — очень трудоемкая и трудная задача. Чертежи поверхностей выполняются приемами геометрического и проекционного черчения. Однако, несмотря на точность этих приемов, каждый способ построения позволяет получить только одну из множества подходящих поверхностей, ограниченных заданными линиями [2].

Практика современного кузовостроения показывает, что только редко и случайно поверхность, полученная элементарными графическими построениями, имеет форму, отвечающую требованиям эстетики и конструктивных форм. Практические построения при графической разработке не позволяют оперативно так изменять форму поверхности, как было бы желательно. Это является их характерным недостатком.

В технической литературе по графической разработке криволинейных поверхностей [4] теоретических сведений очень мало. Не имея теоретического обоснования, невозможно развить технику разработки дальше. Впервые обоснование графических методов разработки криволинейных поверхностей было сделано в [8]. В этой же работе предложен новый метод, идея которого заключается в следующем.

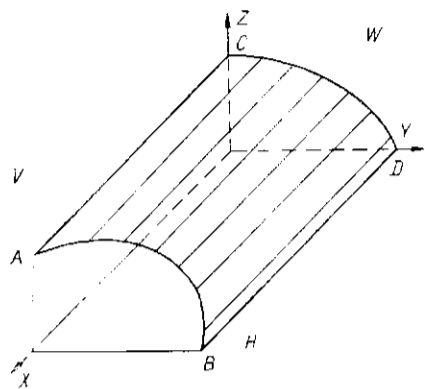


Рис. 1

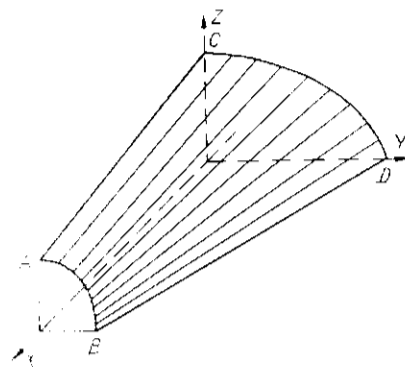


Рис. 2

Рассматривается тело, ограниченное линейчатой поверхностью, и предполагается, что оно изготовлено из материала, который может растягиваться, сжиматься и изгибаться по определенным законам. Деформируя это тело, можно получить бесчисленное количество непрерывных криволинейных поверхностей, зависящих от начальной поверхности. Прямые на линейчатой поверхности становятся кривыми на криволинейной поверхности подобно тому, как прямые линии, проведенные на куске резинки, становятся кривыми, когда резинка скручивается или изгибается.

Большая трудоемкость графических методов разработки поверхностей кузова вызвала переход к более производительным аналитическим методам, включающим математическое описание поверхностей с использованием различных математических моделей [9].

Рассмотрим методы математического моделирования поверхностей автомобильного кузова, построенные на основе деформации криволинейных поверхностей двух типов: цилиндрида и коноида.

Цилиндрод — линейчатая поверхность, образованная прямой, движущейся по двум направляющим кривым и остающейся во время движения параллельной некоторой неподвижной плоскости, которая называется плоскостью параллелизма.

Поверхность, изображенная на рис. 1, является цилиндридом. Этот цилиндрид обладает рядом особенностей: обе направляющие — кривые AB и CD — параллельны профильной плоскости проекций; крайние точки A и C этих кривых лежат на фронтальной плоскости; плоскостью параллелизма будет фронтальная плоскость проекций. Очевидно, параметрическое уравнение направляющей CD можно записать выражениями $x = 0$, $y = y_1(t)$, $z = z_1(t)$, а направляющей AB — выражениями $x = a$, $y = y_2(s)$, $z = z_2(s)$. Плоскость параллелизма задается уравнением $y = 0$. Таким образом, прямая, перемещаясь по направляющим AB и CD , остается параллельной плоскости $y = 0$ в том случае, когда параметры t и s связаны соотношением $y_2(s) - y_1(t) = 0$. Введя параметр v , можно зависимость s и t записать в параметрической форме $s = s(v)$, $t = t(v)$. Цилиндрод в этом случае задается выражениями $x = av$, $y = y_1(t(v))$, $z = (z_2(s(v)) - z_1(t(v)))v + z_1(t(v))$.

Кононд — линейчатая поверхность, образованная прямой, которая движется по двум направляющим кривым и во всех своих положениях пересекает некоторую заданную прямую. На рис. 2 изображена поверхность коноида, который имеет следующие особенности: направляющие кривые AB и CD параллельны профильной плоскости проекций, крайние точки направляющих лежат на фронтальной и горизонтальной плоскостях проекций. Если продолжить горизонтальные проекции элементов поверхности коноида $ABCD$, то они пересекутся в одной точке — горизонтальной проекции прямой линии, служащей третьей направляющей. Если направляющая CD задается выражениями $z = z_1(t)$, $y = y_1(t)$, $x = 0$, направляющая AB — выражениями $x = a$, $y = y_2(s)$, $z = z_2(s)$,

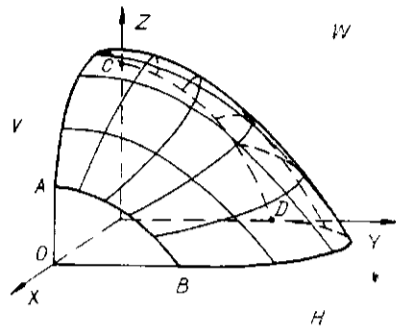


Рис. 3

а прямая — выражениями $x = c, y = 0, z = p$, то из соотношений

$$\frac{a}{y_2(s) - y_1(s)} = -\frac{c}{y_1(t)}, \frac{a}{z_2(s) - z_1(t)} = -\frac{c}{p - z_1(t)}$$

можно найти $s = s(v); t = t(v), p = p(v)$. Параметрические уравнения коноида будут иметь вид $x = au, y = y_1(t(v)) \left(-\frac{a}{c}u + 1\right), z = (z_2(s(v)) - z_1(t(v)))u + z_1(t(v))$.

Деформируя тело, ограниченное поверхностью цилиндрида или коноида, можно получить бесконечное количество непрерывных криволинейных поверхностей, зависящих от начальной поверхности. Предположим, что деформируется коноид таким образом, что линии AC и BD становятся плоскими кривыми, расположенными на фронтальной и горизонтальной плоскостях проекций (рис. 3). Одновременно тело удлиняется. Направляющие кривые AB и CD остаются такими же, как направляющие кривые коноида, но высота и длина основания кривых промежуточных сечений изменяются как значения функций $z = z(u), y = y(u)$. Если положить, что при всех значениях параметра v будут соблюдаться соотношения (все сечения пропорциональны)

$$\frac{z(u)}{(z_2(s(v_0)) - z_1(t(v_0)))u + z_1(t(v_0))} = \frac{z}{(z_2(s(v)) - z_1(t(v)))u + z_1(t(v))};$$

$$\frac{y(u)}{y_1(t(v_1)) \left(-\frac{a}{c}u + 1\right)} = \frac{y}{y_1(t(v)) \left(-\frac{a}{c}u + 1\right)},$$

то с учетом равномерного растяжения коноида с коэффициентом k по оси x получим уравнение криволинейной поверхности

$$x = aku, \quad y = \frac{y(u)y_1(t(v))}{y_1(t(v_1))}, \quad z = z(u) \frac{(z_2(s(v)) - z_1(t(v)))u + z_1(t(v))}{(z_2(s(v_0)) - z_1(t(v_0)))u + z_1(t(v_0))},$$

где $u_0 \leq u \leq u_1, v_0 \leq v \leq v_1$.

Рассмотренный метод моделирования криволинейных поверхностей имеет хорошую графическую интерпретацию [8] и является, по существу, математической формализацией элементарного метода графической разработки поверхностей с использованием трапецидального и коноидного ключей [4].

Пример. Кривая CD задана уравнениями $x = 0, y = t, z = 10 - 0,1t^2$, кривая AB — уравнениями $x = 5, y = s, z = 5 - \frac{5}{64}s^2$. Исходный коноид будет задаваться выражениями $x = 5u, y = v \left(-\frac{1}{3}u + 1\right), z = \left(-5 + \frac{1}{20}v^2\right)u - 0,1v^2 + 10$. При рассмотренном способе моделирования в том случае, когда прямая BD заменяется кривой с уравнениями $x = 10u, y = -\frac{760}{24}u^2 + \frac{712}{24}u + 10, z = 0$, а прямая AC — кривой $x = 10u, y = 0, z = -\frac{100}{6}u^2 + \frac{70}{6}u + 10$, получим следующую криволинейную поверхность: $x = 10u, y = v \left(-\frac{76}{24}u^2 + \frac{71,2}{24}u + 1\right), z = \left(-\frac{100}{6}u^2 + \frac{70}{6}u + 10\right) \frac{\left(-5 + (1/20)v^2\right)u - 0,1v^2 + 10}{(-5u + 10)}$, которая изображена на рис. 3.

Пусть деформация исходного коноида происходит в соответствии со следующими условиями [8]:

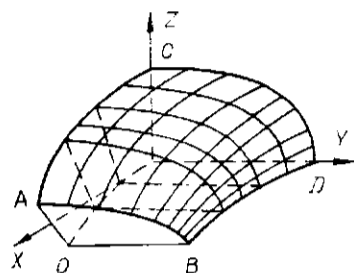


Рис. 4

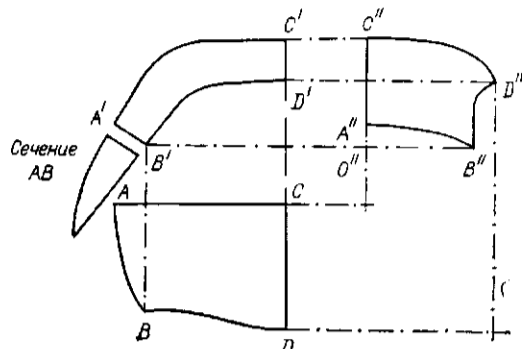


Рис. 5

горизонтальная плоскость OBD коноида (см. рис. 2) становится цилиндрической поверхностью OBD (рис. 4), образованной горизонтальной прямой, скользящей по пространственной кривой BD ;

секущие плоскости, перпендикулярные плоскости OBD коноида и одновременно параллельные плоскостям направляющих AB и CD , остаются плоскостями после деформации и будут нормальными к цилиндрической поверхности OBD ;

деформация кривых промежуточных сечений происходит равномерно по осям, т. е. кривые после деформации становятся пропорциональными кривыми соответствующих сечений коноида;

после деформации крайние точки кривых сечений профильными плоскостями располагаются по кривой BD таким образом, что их абсциссы становятся пропорциональными делениями фронтальной проекции прямой BD коноида.

Исходными данными для получения математической модели поверхности будут параметрические уравнения кривых (рис. 5)

$$BD: x = x_1(q), y = y_1(q), z = z_1(q); AC: x = x_2(p), y = 0, z = z_2(p);$$

$$CD: x = 0, y = y_3(t), z = z_3(t); AB: x = a, y = y_4(s), z = z_4(s).$$

Кривая AB повернута так, что плоскость, в которой она лежит, параллельна профильной плоскости проекций.

По мере перемещения профильной секущей плоскости коноида от плоскости сечения AB до плоскости сечения CD кривые сечений постепенно изменяются: теряют характер кривой AB и приближаются к кривой CD . Таким же образом кривые сечений производной поверхности фронтально проектирующими плоскостями постепенно изменяют свой характер в зависимости от их положения между крайними сечениями AB и CD .

Исходя из условий деформации, точки на кривых BD и AC связаны соотношением $x'_1(q)(x_2(p) - x_1(q)) + z'_1(q)(z_2(p) - z_1(q)) = 0$. Это даст нам возможность найти функции $q = q(u)$, $p = p(u)$ и записать параметрические уравнения кривых BD и AC от одного параметра: $x = x_1(u)$, $y = y_1(u)$, $z = z_1(u)$; $x = x_2(u)$, $y = y_2(u)$, $z = z_2(u)$. Соответствующие точки кривых AB и CD находятся так же, как и в случае построения коноида: $CD(x = 0, y = y_3(v), z = z_3(v))$; $AB(x = a, y = y_4(v), z = z_4(v))$. Параметрические выражения для задания производной криволинейной поверхности будут иметь следующий вид:

$$x = (x_2(u) - x_1(u)) \frac{(z_4(v) - z_3(v))u + z_3(v)}{(z_4(v_0) - z_3(v_0))u + z_3(v_0)} + x_1(u);$$

$$y = y_1(u) \frac{y_3(v)}{y_3(v_1)};$$

$$z = (z_2(u) - z_1(u)) \frac{(z_4(v) - z_3(v))u + z_3(v)}{(z_4(v_0) - z_3(v_0))u + z_3(v_0)} + z_1(u).$$

Таким образом, имея исходные кривые, ограничивающие кусок поверхности кузова, получим уравнение самой поверхности, удовлетворяющей функционалу формы (пропорциональность кривых сечений исходного коноида).

Для нахождения точек, принадлежащих поверхностям, необязательно иметь их параметрические уравнения. Можно предложить ряд алгоритмов численного нахождения координат точек. Исходными данными для решения такой задачи будут уравнения базисных кривых или множество точек, принадлежащих этим кривым.

Может показаться, что роль инженеров-разработчиков поверхностей кузова уменьшается по мере автоматизации процесса проектирования. Однако это не так.

Инженеры-разработчики — разработчики технического задания, в тесной контакте работают художники-конструкторы, инженеры-конструкторы и математики. Математик в этом случае выступает как специалист-посредник, интегрирующий знания математиков, дизайнеров, конструкторов, умеющий разработать средства общения, инструмент взаимодействия проектировщика с вычислительной машиной [10].

Предлагаемый подход к моделированию криволинейных поверхностей кузова предполагает следующую технологию взаимодействия проектировщиков.

Эскизы дизайнеров — начальный этап разработки внешних форм автомобиля. Художественная проработка ведется с помощью графического дисплея. Художник-конструктор начинает разработку с общих форм кузова, затем переходит к проработке отдельных мелких деталей [11].

По эскизам дизайнера формируются математические модели гладких и плавных поверхностей кузова. Законы формообразования, которыми пользуется дизайнер, учитываются программным и математическим обеспечением и позволяют одновременно получать эскизы на экране дисплея и математические модели поверхностей [12]. Для оценки эстетических и других качеств поверхностей кузова математические модели поверхностей преобразуются с помощью ЭВМ в чертежи кузова и его перспективные виды.

Окончательно внешние формы автомобиля выбираются только на объемном макете, так как ни чертеж, ни иллюстрация не могут дать правильного представления о действительном виде создаваемого автомобиля [13]. Процесс изготовления масштабных макетов можно автоматизировать, используя специальные макетные станки с ЧПУ.

Перечисленные выше работы связаны друг с другом циклической цепочкой: эскизы — математическая модель — перспективные виды — макеты. После оценки перспективных видов или макетов, как правило, требуется корректировка эскизов. Это, в свою очередь, приводит к изменениям в перспективных видах и макетах.

Когда разработка макета внешних форм достигает той стадии, на которой уже определены основные формы кузова, приступают к художественной разработке деталей наружной и внутренней отделки: фонарей, декоративных накладок, плафонов, арматуры и обивки сидений [2, 14]. Как и в случае изготовления макетов, в уменьшенном масштабе целесообразно изготовление отдельных элементов макета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павловский А. Автомобильные кузова. — М.: Машиностроение, 1977.
2. Долматовский Ю. А. Автомобильные кузова. — М.: Машгиз, 1950.
3. Осенчугов В. В. Автобусы. — М.: Машиностроение, 1971.

4. Кириллов А. М. Сюрфасография.— М.: Л.: ОНТИ, 1937.
5. Борднат Д. Взаимодействие художника-конструктора и инженера // Техническая эстетика.— 1970.— № 3.
6. Сомов Ю. С. Художественное конструирование промышленных изделий.— М.: Машиностроение, 1967.
7. Богданович Л. Б., Бурьян В. А., Рацман Ф. И. Художественное конструирование в машиностроении.— Киев: Техника, 1976.
8. Вальямс Д. А. Построение криволинейных поверхностей.— М.: Машиз, 1951.
9. Строганов В. Методы художественного конструирования и оптимального управления формой пространственных обводов посредством ЭВМ // Техническая эстетика.— 1971.— № 10.
10. Сильверстова С. А. Проектирование с помощью ЭВМ // Техническая эстетика.— 1980.— № 5.
11. Яницкоф В. Графические средства в различных проектировочных ситуациях // Техническая эстетика.— 1971.— № 6.
12. Суелин В. Автоматизация проектирования кузовов автомобилей // Техническая эстетика.— 1970.— № 12.
13. Болмат Л. Я. Методы макетного поиска // Техническая эстетика.— 1973.— № 1.
14. Родионов В. Ф., Фиттерман В. М. Проектирование легковых автомобилей.— М.: Машиностроение, 1980.

Поступила в редакцию 16 января 1990 г.

УДК 615.2 : 681.3

В. Н. ГУРАК, В. А. ПЛОСКИЙ
(Киев)

РАЗРАБОТКА ИНВАРИАНТНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Одним из путей расширения функциональных возможностей инвариантного ядра подсистем геометрического моделирования (ПГМ) САПР является включение в его состав методов геометрического моделирования объектов сложной формы — методов формообразования (МФ).

Заметим, что среди используемых в ПГМ геометрических алгоритмов следует выделить методы формирования сложного геометрического объекта из содержащегося в системе набора примитивов (алгебраические, кусочно-аналитические, теоретико-множественные и т. п.), а также методы формообразования, позволяющие по наперед заданным критериям получить геометрический объект (ГО) оптимальной формы с возможностью управления последней. МФ основаны на использовании положений алгебраической и начертательной геометрии, теории конгруэнций и комплексов, номографии, теории исчисления параметров, а также на формообразующих интерпретациях метода конечных элементов и метода конечных разностей [1]. Основу существующих ПГМ составляют методы формирования ГО, тогда как МФ используются достаточно редко [2]. Это в значительной степени объясняется большим разнообразием структур, форм представления, алгоритмов реализации различных МФ. Более того, для отдельно взятого МФ также существует множество различных интерпретаций и подходов, трудносовместимых с точки зрения использования в ПГМ. Таким образом, создание единых, удобных для машинной реализации форм представления МФ имеет очевидный практический интерес, поскольку это позволило бы включить данную группу методов в инвариантное ядро ПГМ и, следовательно, расширить его возможности.

© 1990 Гурак В. Н., Плоский В. А.

4 Автометрия № 4, 1990 г.

49