

О НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ТРЕХМЕРНОЙ САПР ОБУВИ

*Д.т.н., проф. Комиссаров А.Г.,
асп. Гордеева О.В.,
асп. Горох Е.Л.*

(СПб ГУТД)

В 1980-х годах произошел взрыв в разработке и использовании компьютеров во всех областях промышленности. Различные отрасли быстро отреагировали на использование дешевых компьютеров и обувная промышленность не была исключением.

Тем не менее, большинство сегодняшних пользователей используют САД/САМ системы очень упрощенным образом - не для моделирования, а главным образом для градирования и быстрого управляемого раскроя с проектированием и разработкой опытного образца обуви традиционными методами.

Несмотря на это во всем мире поставщики САД/САМ систем продолжают разработку и усовершенствование их функций с целью автоматизации всех этапов процесса проектирования и производства обуви. При этом особое внимание уделяется использованию одного из основных преимуществ компьютерной техники - возможности быстрой модификации объектов.

Для процесса проектирования необходимо иметь изображение колодки на экране компьютера. Но т.к. колодка имеет произвольную форму, т.е. не имеет определенных линий, точек или плоскостей симметрии, то ее нельзя описать простыми геометрическими функциями. Для ввода поверхности колодки в САД систему посредством дигитайзеров производят оцифровку уже существующего образца колодки.

Наиболее распространенными из-за своей относительной дешевизны являются ручные дигитайзеры, используемые фирмами Microdynamics, Clark и Atom & Vicam [1]. Приблизительно 300 координат снимаются с размеченной поверхности колодки в известном порядке с помощью ручного щупа.

После того, как поверхность была оцифрована и обработана, она появляется на экране, обычно в виде сплайн-каркаса или реалистической затрихованной поверхности. Эта поверхность может вращаться и рассматриваться под любым углом зрения. Линии модели могут быть нанесены на поверхность колодки с помощью мыши или специального электронного карандаша.

Большинство ручных дигитайзеров также позволяют оцифровывать линии модели с поверхности колодки. При 2D оцифровке готовойgrund-модели ее линии оцифровываются и аппроксимируются при помощи динамических сплайнов или так называемой "резиновой ленты" ("rubber band"). В последнем случае, каждая последующая вводимая точка вызывает пересчет всей сплайн-функции и движение всей составной кривой.

Некоторые из существующих 3D систем предлагают функции генерации и модификации поверхности. Это означает изменение поверхности колодки или создание и изменение деталей низа. Модификация колодок может осуществляться двумя методами. Во-первых, "смешиванием" колодок, когда две математические модели колодок комбинируются для создания третьей. Это предусматривает объединение пяточной части одной колодки и носочной части дру-

гой и определение области сшивки между ними. Второй метод предполагает модификацию одной колодки. Выбираются и перемещаются отдельные точки поверхности, а затем вновь созданные участки сглаживаются.

Поскольку проектирование поверхности колодки является субъективным моментом, то модифицированная поверхность должна быть изготовлена и проверена. Возможно, что после этого потребуются дальнейшие модификации. Обычно система производит различные измерения, сравнивает их с руководствами по производству колодок (аналог российских ГОСТов) и делает вывод о влорности данной колодки [2].

Большинство систем располагает возможностью проектирования технологической оснастки для изготовления формованных деталей. Также в 3D системах существует возможность после модификаций и завершения проектирования колодки генерировать данные траектории хода режущего инструмента для обхода объемных поверхностей, после чего эта информация может быть передана на соответствующее оборудование с ЧПУ.

Интересная разработка в этом контексте - "Compu-last system" фирмы "Jones & Vining" для изготовления колодок, благодаря чему у производителей появляется выбор методов создания новых колодок. А так как колодка затем с большой точностью вырезается на станке с ЧПУ и соответствует данным о ее форме, полученным от CAD системы то возможно не только разрабатывать модели обуви и техоснастку прежде, но и иметь гарантию совместности проектируемой обуви и колодки [3].

Ортопедия - еще одна область, где обработка 3D CAD поверхностей может иметь существенные преимущества.

Однако согласно вышесказанному, все известные CAD/CAM системы для обуви используют при работе информации о поверхности обувной колодки, которая изначально изготавливается вручную модельером-колодочником, что ограничивает возможности дизайнера по созданию новой формы. Поэтому важно отметить ряд обстоятельств в пользу развития методов компьютерного проектирования колодок без использования прототипа. Это, прежде всего, появление систем индивидуального заказа обуви, включающих электронные стопомеры для полной оцифровки поверхности стопы (предлагающие возможность управлять не только контурами деталей и расцветкой, но и собственно объемной формой обуви), а также возрастающие требования к дизайну обуви.

Следует отметить, что стоимость разработки новой модели колодки намного выше стоимости разработки образца верха обуви или даже целой коллекции. Это делает экономически оправданным создание систем прямого компьютерного проектирования колодок без применения прототипа. Для повышения качества обуви весьма важно привлечь к проектированию колодок специалистов биомехаников, ортопедов, стилистов и дизайнеров, что затруднено при традиционном ручном методе создания модели колодки.

Проводимые в течение ряда лет исследовательские работы на кафедре технологии и конструирования изделий из кожи показали, что основной проблемой является невозможность использования для этих целей, как известных методик проектирования колодок, так и методов их математического описания. Поверхность колодки образована двумя гладкими криволинейными поверхностями (боковой поверхностью и поверхностью следа), разделенными ребром следа. Такая поверхность не может быть однозначно задана ограниченным набором плоских сечений, как это предусматривается известными методиками. Использование сплайн-интерполяции при описании поверхности требует 1000-10000 трехмерных отсчетов, которые могут быть получены для локальной по-

верхности только путем измерения физического образца. Модификация сплайн-поверхности, с предсказуемым результатом, так же затруднена из-за большого числа узловых точек.

Проектирование колодки без прототипа предполагает генерацию лекальной поверхности "на пустом месте". Как уже говорилось выше, это затруднительно сделать, задавая отдельно точки или сечения, так как требуется обеспечивать пространственную лекальность поверхности. Эта проблема может быть разрешена путем описания поверхности колодки минимальным числом участков, каждый из которых является двумерным параметрическим полиномом $r(U,V)$, где r -вектор, содержащий координаты точки поверхности, а U,V - параметры. Здесь важно обеспечить оператору удобство модификации каждого участка поверхности, поэтому удобно использовать представление полинома в форме Безье:

$$r(U,V) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 r_{ij} (3i-1) U^i (1-U)^{3-i} V^j (1-V)^{3-j} / ((3-i)! i! (3-j)! j!) \quad (1)$$

Смысл нового метода состоит в том, что внутри каждого участка параметрической поверхности гарантирована лекальность поверхности. И так как каждый участок покрывает значительную часть поверхности колодки, то появляется возможность генерировать лекальную поверхность путем модификации небольшого количества участков изменением векторов $r(i,j)$. В случае бикубического полинома для каждого участка таких векторов 16. Таким образом, поверхность становится управляемой - важно лишь рационально разбить ее на участки, т.е. составить схему сегментации поверхности моделируемого объекта.

В приводимом ниже примере иллюстрируется представление отдельного участка поверхности обувной колодки в виде элементарного бикубического сегмента.

Таблица 1. Координаты точек $r(i,j)$

	x(мм)	y(мм)	z(мм)
r00	-9	10	65
r10	-9	67	65
r20	12	67	65
r30	12	10	65
r01	-11	10	35
r11	-11	67	35
r21	18	67	23
r31	18	10	23
r02	-42	10	21
r12	-38	72	21
r22	47	73	17
r32	33	10	17
r03	-32	10	0
r13	-28	72	0
r23	31	73	0
r33	12	10	0

В таблице приведены координаты шестнадцати векторов $r(i,j)$, определяющих участок пяточного закругления колодки. На рисунке 1 показано расположение векторов r и участка поверхности $r(U,V)$ в декартовой системе координат. Изменяя положение векторов, можно изменять поведение поверхности при сохранении ее гладкости и лекальности. Рисунок 2 иллюстрирует гладкую математически заданную поверхность пяточной части колодки.

Были проведены эксперименты по описанию предлагаемым методом поверхности колодки и сложных поверхностей пресс-форм для формирования жестких задников обуви [4, 5]. В результате экспериментов была доказана возможность моделирования формы реальных колодок и пресс-форм с помощью бикубического полинома.

Однако высокий уровень проектирования должен предусматривать формирование поверхности колодки привычными для модельера обуви процедурами и на основе конкретной антропометрической информации о стопе.

Для получения исходной антропометрической информации используется разработанный на кафедре технологии и конструирования изделий из кожи автоматический бесконтактный столмер на основе цифровой телекамеры в системе с компьютером [6].

Математическая модель колодки предусматривает предварительное задание каркаса сечений, состоящих из следующих контуров: следа, продольного профиля, технологической площадки и горизонтального сечения по верхней границе задника. Такой подход хорошо согласуется с результатами эксперимента и позволяет задать оптимальное расположение уровня точек поперечных сечений, которые оказываются, таким образом, полностью определенными для любого поперечного сечения. Благодаря этому, в поперечных сечениях можно, изменяя только производные, управлять степенью наполненности поверхности. Это осуществляется в сечениях 0,18, 0,68 и 0,9 Дст. Могут использоваться дополнительные сечения 0,5 и 0,4 Дст для формирования области подъема. Радиальная схема сегментации поверхности колодки представлена на рис.3.

Поверхность образована элементарными участками бикубической поверхности, обозначенными 1 и 1', 2 и 2', 3 и 3' и т.д. для наружной и внутренней сторон колодки соответственно. Для сегмента 2 представлен массив узловых точек и векторов параметрических производных, обозначенных $r(i, j, k)$, где i и j - индексы точек в производных кривой, k - индекс бикубического сегмента. Вектор $r(222)$ - пример перекрестной производной для одной из узловых точек.

После задания каркаса производится расчет поверхности колодки, исходя из основного условия согласования поверхности, выраженного векторной суммой:

$$\frac{d^2 r}{du dv} = \frac{dr}{du} + \frac{dr}{dv} \quad (2)$$

где $\frac{dr}{du}, \frac{dr}{dv}$ - вектора параметрических производных,

$\frac{d^2 r}{du dv}$ - вектор перекрестной производной.

Для определения поверхности колодки используется не более 20-24 элементарных участка бикубической поверхности, при этом сохраняется традиционная форма проектирования сечений колодки. Важным преимуществом предлагаемой методики является гарантия плавности обводов поверхности колодки, чего непросто достичь при любом ином методе проектирования по поперечным сечениям или интерполяцией по образцу, заданному числовыми отметками. Если учесть практику унификации пяточно-гелевой части колодки, то при модифицировании изменения коснутся 2-6 участков поверхности.

Процедуры проектирования высокого уровня, в частности, предусматривают развороты и смещения групп опорных точек $r(i, j)$, определяющих форму таких частей колодки как пятка и носочная часть при помощи координатных преобразований [7].

В приведенных ниже формулах все вектора представлены в однородных координатах.

$$r'_{i,j} = T(t) * R_x(\beta) * T(-t) * r_{i,j}, \quad (3)$$

где

$$T(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & tx \\ 0 & 1 & 0 & ty \\ 0 & 0 & 1 & tz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$R_x(\beta) = \begin{bmatrix} \cos(\beta) & -\sin(\beta) & 0 & 0 \\ \sin(\beta) & \cos(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $r_{i,j}$ - исходный вектор,

$r'_{i,j}$ - результирующий вектор,

$T(t)$ - матрица (4x4) переноса в точку с координатами вектора t ,

$R_x(\beta)$ - матрица (4x4) разворота на угол β вокруг оси X.

Это позволяет, в частности, регулировать высоту каблука изменением одного параметра (в данном случае - угла β).

Подобная процедура является важной для перехода от стопы, стоящей на опорной плоскости, к колодке с пространственным следом.

Таким образом, приведенные результаты исследований позволяют создать новый инструмент для проектирования колодок, на основе которого можно создать новый тип САПР для производства обуви. Это позволяет автоматизировать также проектирование колодки и оснастки с учетом оперативной антропометрической информации. Такая система должна включать помимо традиционных средств машинной графики также автоматическое устройство для цифровки стопы, развитые средства визуализации объектов и "дружественный" интерфейс, специализированный для проектирования колодок. Центральной задачей здесь является разработка методологии формирования колодки новым методом на основе антропометрических данных и без использования прототипа.

Литература:

1. CAD/CAM spreads its wings. // World Footwear, сентябрь/октябрь 1995, 16-18 с.
2. CAD/CAM update. // SATRA FTC. Modern Shoemaking. N35.
3. The impact of technology on pre-production engineering. // World Footwear, май/июнь, 1994, 14-22 с.
4. Комиссаров А.Г. Автоматизация проектирования колодок по данным антропометрии // Кожевенно-обувная пр-ть, 1992, N12, с. 21-22
5. Голанд А.Л., Комиссаров А.Г., Горюх Е.Л. Математическая модель рабочей поверхности пресс-формы для жестких задников // Кожевенно-обувная промышленность, 1994, N9-10, с. 32-33.
6. А.с. 1480799 СССР, МКВ А43D 1/02. Способ бесконтактного измерения поверхности стопы и голени / Комиссаров А.Г. - заявл. 22.06.87, обл. 23.05.89, Вул. N19.
7. Голанд А.Л., Данилов Е.Н., Комиссаров А.Г. Проектирование формующей оснастки для производства задников // Кожевенно-обувная промышленность, 1994, N5-8, с. 39.

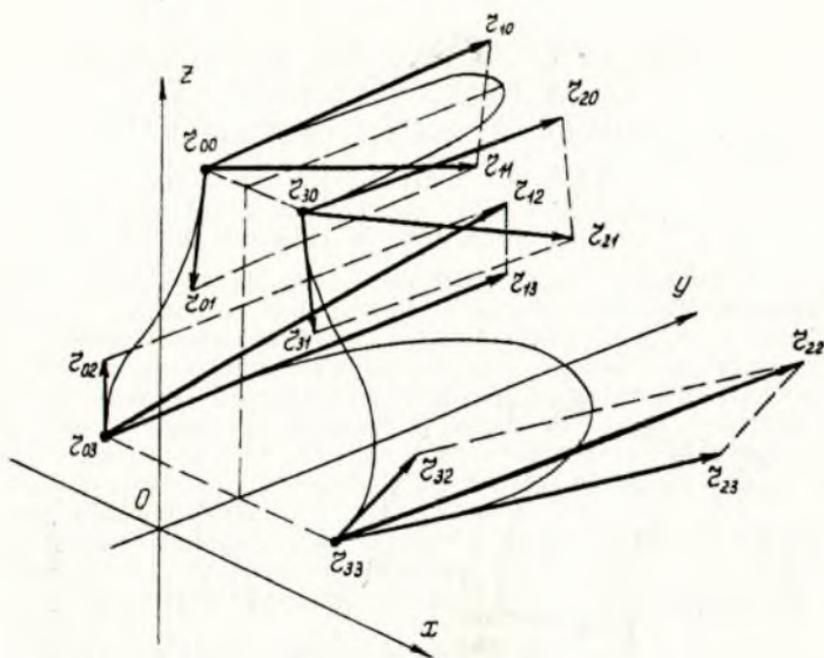


Рис. 1. Задание элементарного участка поверхности.



Рис. 2. Результат машинного проектирования единичного участка.

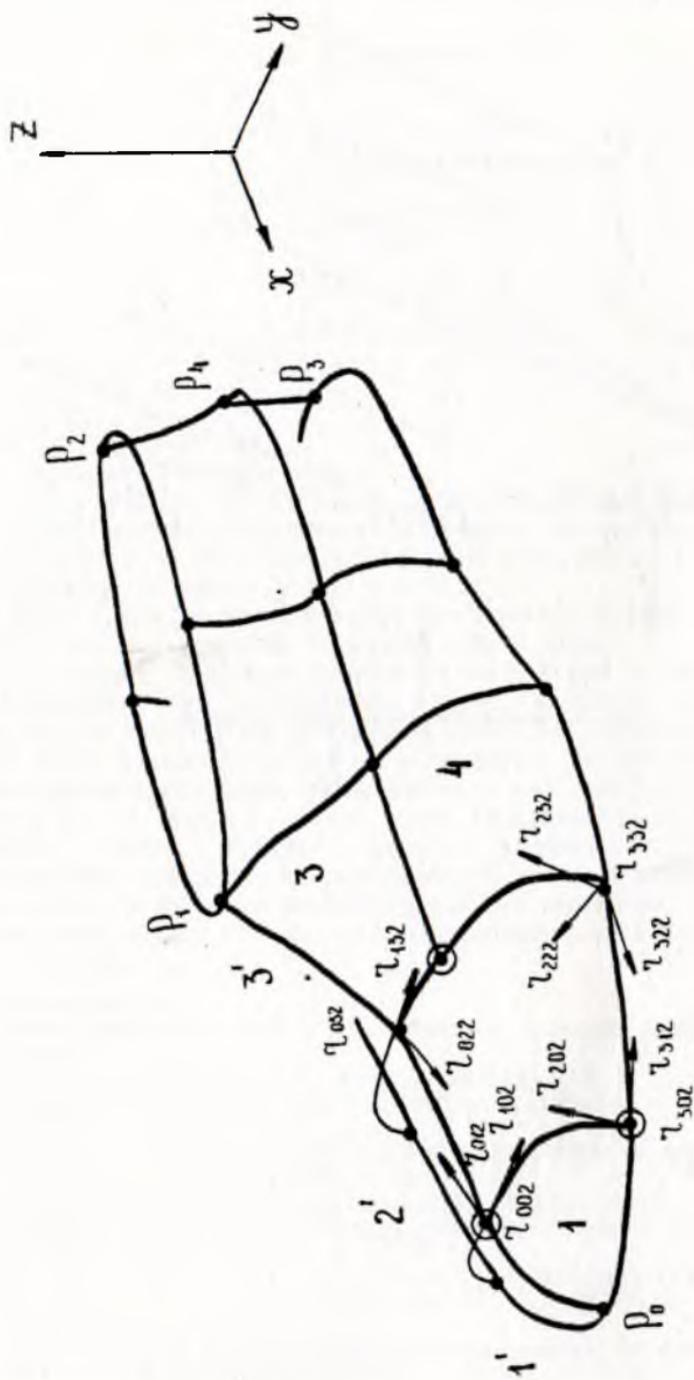


Рис. 3. Объемный каркас поверхности колодки.