

УДК 519.85

*Е.Н. Проказникова*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БАЗОВОГО ЭЛЕМЕНТА КОНСТРУИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Предложено использование в качестве базового элемента конструирования системы автоматизированного проектирования для легкой промышленности выкройки базового лекала детали швейного изделия. Предложен эвристический алгоритм для построения технологического припуска для выкройки детали швейного изделия с помощью кривых Безье.*

**Ключевые слова:** *кривые Безье, базовое лекало, опорные точки, матрица опорных точек, базовый элемент конструирования системы автоматизированного проектирования для легкой промышленности, математическая модель выкройки базового лекала швейного изделия.*

**Введение.** Каждый человек уникален. Это обусловлено антропометрическими показателями. Качество одежды зависит от того, насколько при пошиве учтены индивидуальные антропометрические особенности заказчика. Историческое развитие производства одежды привело к тому, что для увеличения скорости пошива и производительности производства стали использоваться усредненные параметры или стандартные размеры. Это обстоятельство привело к снижению качества. Именно поэтому одежда, пошитая с учетом индивидуальных особенностей человека профессиональным мастером, сильно отличается от одежды, сошедшей с конвейера. Развитие компьютерной техники и увеличение объемов производства ставят задачу разработки эффективной системы автоматизированного проектирования для легкой промышленности (САПР ЛП).

Цель работы – с учетом особенностей технологического процесса разработать эффективную модель базового элемента конструирования, позволяющую создать САПР ЛП полного технологического цикла.

**Теоретическое исследование.** Технологический процесс пошива одежды содержит несколько основных этапов, реализация которых основывается на интуиции закройщика [1]:

- 1) конструирование;
- 2) моделирование;
- 3) создание изделия из ткани.

Сущность первого этапа заключается в построении чертежа основной выкройки (базового лекала). Второй этап – это создание выкройки изделия конкретной модели на базе основной

выкройки (базового лекала). Третий этап включает подготовку ткани к раскрою, раскрой, примерки и пошив. Необходимо отметить, что для построения выкроек различных моделей одежды для одного заказчика при индивидуальном пошиве закройщик может пропускать первый этап (при условии, что антропометрические параметры заказчика не изменились). Это означает, что при создании выкройки модели одежды базовым элементом конструирования являются базовые лекала выкроек, в которые закройщик вносит необходимые изменения. Комбинирование и варьирование различных базовых элементов конструирования для создания на их основе выкроек требуемой модели одежды – это суть технологического процесса пошива одежды.

Целесообразно в системе автоматизированного проектирования для легкой промышленности (САПР ЛП) воссоздать по возможности данную последовательность технологических этапов. В этом случае прикладное программное обеспечение системы автоматизированного проектирования должно содержать подсистемы:

- подсистема построения чертежа базового лекала;
- подсистема построения выкройки модели одежды;
- подсистема визуального контроля (3D-модель примерки);
- подсистема создания карт раскроя материала.

В настоящее время существующие САПР ЛП имеют ряд недостатков:

- опираются на стандартные размеры и не учитывают индивидуальные особенности, что

недопустимо в условиях индивидуального пошива;

– используют в качестве базового конструкторского элемента простейшие геометрические элементы (прямая, дуга и т.п.) [2];

– используют изображения выкроек, в которые нельзя вносить изменения интерактивно (построенные на основе простейших геометрических элементов выкройки деталей или сканкопии выкройки, построенной закройщиком на твердом носителе);

– моделируют технологический процесс по частям.

В этих системах автоматизированного проектирования при решении задачи размещения выкроек на плоскости ткани, как правило, используется математическая модель криволинейного замкнутого контура, предложенная Ю.Г. Стояном и А.А. Панасенко [14]. Согласно этой модели, криволинейный замкнутый контур выкройки детали изделия представляется в виде многоугольника. Использование именно такой модели при автоматизации приводит к накоплению погрешностей и дроблению технологического процесса. Под дроблением технологического процесса подразумевается отсутствие единой математической модели при построении выкройки швейного изделия, моделировании внешнего вида в программах 3D-графики и при решении задачи нестинга для промышленного производства. Данное обстоятельство существенно влияет на время разработки новых моделей одежды, а скапливающиеся погрешности – на качество изделий.

Однако при использовании другой математической модели представления выкройки швейного изделия и других базовых элементов конструирования можно сократить погрешность и создать специализированную САПР ЛП полного технологического цикла.

Рассмотрим возможность использования в качестве базовых элементов конструирования в САПР ЛП базовых лекал выкроек деталей швейного изделия.

В общем виде математическая модель задачи построения выкройки [11] – это отображение поверхности тела человека на плоскость. От того, какова будет погрешность при отображении, зависит точность построения лекала и посадка одежды.

Задачу построения выкройки можно сформулировать следующим образом. Пусть  $H$ ,  $F$ ,  $V$  – некоторые нормированные пространства, где  $H$  – пространство точек поверхности тела человека;  $F$  – пространство мерок или входных данных;  $V$  – пространство точек развертки на плоскости

поверхности фигуры человека. Эти множества таковы, что каждому элементу  $h \in H$  соответствует элемент  $v \in V$ . Пусть задано множество  $D$  – множество мерок одного человека, такое что  $D \subset F$ . Пусть задан элемент  $d$ , такой что  $d \in D$ .

Необходимо найти оператор  $B$ , который определяет правила перевода из  $H$  в  $V$ , такой что  $B[d] = u$ , где  $u \in V$ ;  $\|u - v\| = \Delta$ ;  $\Delta \rightarrow 0$ . Степень погрешности при построении выкройки будет зависеть от оператора  $B$ . Поиск оператора  $B$ , при котором погрешность будет минимальной, является задачей оптимизации [15, 16].

В технологическом процессе пошива одежды поиск оператора  $B$  производится следующим образом. Для построения чертежа выкройки модели одежды закройщик производит необходимые расчеты для вычисления координат опорных точек. По полученным опорным точкам строится чертеж, который в общем случае является криволинейным замкнутым контуром. Этот криволинейный замкнутый контур является выкройкой. При построении выкройки по опорным точкам на производстве и при индивидуальном пошиве форму кривой определяет закройщик, от опыта которого зависит величина погрешности.

Исходными данными для расчета опорных точек являются параметры, полученные при измерении человека. Тогда эти параметры можно представить в виде вектора размеров  $R = [r_1, r_2, \dots, r_n]$ , где  $r_i$  – мерка (числовая характеристика тела человека), полученная путем обмера по  $i$ -му правилу конкретного человека или с помощью использования известных стандартных параметров.

После математических расчетов, основанных на эвристических алгоритмах, получаем координаты опорных точек на плоскости. Тогда для удобства представления координаты опорных точек можно представить в виде матрицы параметров

$$T = \begin{bmatrix} x_1(\mathbf{R}) & y_1(\mathbf{R}) \\ \dots & \dots \\ x_i(\mathbf{R}) & y_i(\mathbf{R}) \\ \dots & \dots \\ x_n(\mathbf{R}) & y_n(\mathbf{R}) \end{bmatrix},$$

которую можно использовать для построения чертежа выкройки, где каждая пара  $[x_i(\mathbf{R}); y_i(\mathbf{R})]$  – координаты на плоскости  $i$ -й опорной точки выкройки, зависящие от матрицы исходных размеров  $R$ .

Задача выбора математической модели для САПР швейной промышленности полного технологического цикла в общем случае сводится к созданию модели объекта, информация о гео-

метрических характеристиках которого используется не только для получения графического двухмерного изображения, но и для расчета различных характеристик объекта и технологических параметров его изготовления. Если принять за базовый конструкторский элемент базовое лекало выкройки детали швейного изделия, то математическая модель выкройки детали изделия должна давать достаточно информации или давать возможность получения необходимой информации с помощью математических расчетов для работы всех подсистем САПР ЛП. Для определения возможности использования в качестве базовых конструкторских элементов выкроек базовых лекал деталей швейного изделия рассмотрим входные и выходные параметры некоторых подсистем САПР ЛП.

**Подсистема построения чертежа базового лекала.** Для этой подсистемы входными параметрами будут антропологические данные (мерки, снятые с конкретного человека). На выходе должна быть получена выкройка базового лекала детали изделия, которая в общем случае является криволинейным контуром.

**Подсистема построения выкройки модели одежды.** Для этой подсистемы входными параметрами будут выкройки различных деталей, являющихся составными частями выкройки модели одежды. На выходе – должна быть получена выкройка изделия

**Подсистема визуального контроля (3D-модель примерки).** Для этой подсистемы входными параметрами будут антропологические данные для построения 3D-модели человека и выкройка изделия. На выходе – должна быть получена 3D-модель человека, одетого в модель одежды, соответствующую выкройке изделия.

**Подсистема создания карт раскроя материала.** Для этой подсистемы входными параметрами будут выкройки деталей или изделий (в зависимости от объема производства и от модели одежды). На выходе – должна быть получена карта раскроя материала.

Таким образом, основой математической модели базового конструкторского элемента для САПР ЛП может стать математическая модель выкройки детали изделия.

Задача построения геометрической модели выкройки детали изделия относится к задаче построения приближенной функции по заданным точкам. Для построения кривой можно использовать различные методы интерполирования, степенных приближений или равномерного приближения. Однако ни один полином не имеет бесконечной производной, поэтому будут получаться сравнительно большие ошибки в окрест-

ности любой вертикальной касательной.

Объекты, которые приходится проектировать, в легкой промышленности имеют сложную форму, не допускающую описания при помощи простых аналитических функций, поэтому рационально определять кривые по частям. Их непрерывность и гладкость в местах соединения отдельных частей обеспечиваются выбором параметризации по обе стороны сочленения. Для этого нужна такая параметризация, для которой легко производится операция дифференцирования.

Большинство современных методов проектирования и подгонки основано на использовании параметризации с помощью кубических функций или сплайнов [3, 5, 10-13]. Применение сплайнов для описания выкройки детали изделия ограничивалось отсутствием алгоритмов определения опорных точек [7].

При создании выкройки детали изделия, которая будет использоваться в качестве базового конструкторского элемента в САПР ЛП, следует учесть, что при пошиве одежды существует технологический припуск на шов, который в общем случае также является криволинейным замкнутым контуром, с некоторой погрешностью повторяющим криволинейный контур выкройки детали изделия и расположенным от криволинейного контура детали изделия на расстоянии  $P = const$  [4, 6]. Припуск на шов является эквидистантой для выкройки детали изделия. При построении выкройки вручную и раскрое материала из-за погрешности параметр  $P$  находится в некотором интервале ( $const_1 \geq P \geq const_2$ ).

При решении задачи нестинга в настоящий момент используется математическая модель (подсистема создания карт раскроя материала САПР ЛП), в которой выпуклый криволинейный объект аппроксимируется многоугольником, а построение эквидистанты, соответствующей технологическому припуску, производится с помощью годографа [14].

Для построения эквидистанты невыпуклого криволинейного объекта с помощью годографа объект по некоторому алгоритму разбивается на выпуклые элементы, а затем производится процедура объединения [14].

В случае представления выкройки детали швейного изделия с помощью кривых Безье, для построения которых используются координаты опорных точек, может быть предложена другая процедура построения эквидистанты, не требующая разбиения невыпуклого криволинейного объекта (которым в общем случае является выкройка детали изделия) на выпуклые элементы.

1. Через каждую основную опорную точку

проводится касательная к кривой.

2. К каждой касательной проводится нормаль.

3. На расстоянии  $P = const$  на каждой нормали определяется точка, которая будет опорной точкой для построения эквидистанты.

4. Из координат полученных точек формируется матрица опорных точек эквидистанты.

5. По полученной матрице опорных точек эквидистанты проводится кривая Безье [3-13], которая и будет эквидистантой выкройки детали швейного изделия.

Погрешность в случае использования данной процедуры по сравнению с процедурой построения эквидистанты с помощью годографа не будет превышать 0,2 см, т.к. с технологической точки зрения в общем случае  $0,9\text{см} \geq P \geq 1,5\text{см}$ .

**Заключение.** Предложенная математическая модель представления выкройки детали швейного изделия может быть использована в качестве математической модели в САПР ЛП полного технологического цикла, опирающейся на выкройки базовых лекал деталей швейного изделия как на базовые элементы конструирования.

При поддержке Министерства по промышленности Рязанской области на основе полученной математической модели была разработана программа "Новый стиль". Этот программный продукт прошел тестирование на одном из малых предприятий г. Рязани, специализирующихся на пошиве одежды. Использование полученного программного продукта на малых предприятиях и в частных ателье позволяет облегчить работу закройщиков, снизить количество необходимых специалистов, повысить качество работы, ускорить выпуск готовой продукции и сократить издержки производства. Результаты тестирования были признаны удовлетворительными. Кроме того, на основе полученных результатов была разработана программа "Построение и редактирование выкройки базового лекала текстильного изделия", предназначенная для построения базового лекала на начальной стадии создания текстильного изделия и дальнейшего редактирования выкройки, которая была зарегистрирована в ОФАП (свидетельство об отраслевой регистрации разработки №11268).

#### **Библиографический список**

1. Лин Жак. Техника кроя. - М.: «Мега», 1992. - 80 с.
2. Киракосян В.К. Конструирование мужской верхней одежды с использованием ЭВМ. - М.: Легкая и пищевая промышленность. 1982. - 120 с.

3. Проказникова Е.Н. Применение методов интерполяции и аппроксимации при геометрическом моделировании объектов // Новые информационные технологии. Межвузовский сборник. - Рязань: РГРТА. 2000. - С. 47-53.

4. Проказникова Е.Н. Математическая модель раскроя материала для САПР легкой промышленности // Новые информационные технологии. Межвузовский сборник. - Рязань: РГРТА. 2001. - С. 192-196.

5. Проказникова Е.Н. Математическое описание выкройки изделия на основе теории приближений // Новые информационные технологии. Межвузовский сборник. - Рязань: РГРТУ. 2006. - С. 84-88.

6. Проказникова Е.Н. Математическое описание поверхности ткани для создания выкройки детали изделия // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - С. 36-40.

7. Проказникова Е.Н. Особенности построения выкройки детали текстильного изделия в САПР легкой промышленности // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета №3 (выпуск 25) 2008. - С. 97-101.

8. Проказникова Е.Н. Математическая модель взаимного расположения деталей выкройки швейного изделия на плоскости // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: Межвуз. сб. науч. тр. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008. - С. 126-129.

9. Проказникова Е.Н. Математическая модель построения выкройки детали текстильного изделия для САПР легкой промышленности // Новые информационные технологии в научных исследованиях и образовании: материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции студентов. Часть I. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2008. - С. 115-117.

10. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия: применение в проектировании и на производстве. / под ред. К.И. Бабенко. Пер. с англ. Г.П. Бабенко, Г.П. Воскресенского. - М.: Мир, 1982. - 304 с.

11. Гончаров В.Л. Теория интерполирования и приближения функций. - М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. - 327 с.

12. Ахизер Н.И. Лекции по теории аппроксимации. - М.: Наука, 1965. - 408 с.

13. Де Бор К. Практическое руководство по сплайнам. - М.: Радио и связь, 1985. - 303 с.

14. Стоян Ю.Г., Панасенко А.А. Периодическое размещение геометрических объектов. - К.: Наукова думка, 1978. - 176 с.

15. Чураков Е.П., Филатов Ю.А. Экстремальные задачи с ограничениями. Уч. пособие. - Рязань: РГРТА, 1993. - 64 с.

16. Чураков Е.П., Филатов Ю.А. Методы и алгоритмы конечномерной безусловной оптимизации в задачах управления. Уч. пособие. - Рязань: РГРТА, 1993. - 48 с.