Розглядається гра переслідування з одним втікачем і одним переслідувачем. Конфлікто-керований процес описується системою диференціально-різницевих рівнянь нейтрального типу. Розроблена модифікація методу розв'язуючих функцій для диференціально-різницевих ігор переслідування нейтрального типу. Знайдено достатні умови на параметри процесу для завершення гри за певний скінченний час

Ключові слова: диференціальні ігри переслідування, диференціально-різницеві рівняння, метод розв'язуючих функцій

Рассматривается групповая игра преследования с одним убегающим и одним преследователем. Конфликтно-управляемый процесс описывается системой дифференциально-разностных уравнений нейтрального типа. Разработана модификация метода разрешающих функций для дифференциально-разностных игр преследования нейтрального типа. Найдены достаточные условия на параметры процесса для завершения игры за определенное конечное время

Ключевые слова: дифференциальные игры преследования, дифференциально-разностные уравнения, метод разрешающих функций

УДК 518.9
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.39355

МЕТОД РАЗРЕШАЮЩИХ ФУНКЦИЙ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА ЗАДАЧ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ

Л. В. Барановская
Кандидат физико-математических наук, доцент
Кафедра математической физики
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»
пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056
E-mail: Lesia@baranovsky.org

1. Введение

Сегодня при создании и исследовании математических моделей в большинстве случаев использование обыкновенных дифференциальных уравнений уже недостаточно. Более адекватным является использование аппарата дифференциально-разностных уравнений. Многочисленные содержательные примеры стимулировали развитие математической теории управления, в том числе теории динамических игр. В них изучены игры, которые описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями. Но на практике сегодня возникла необходимость в моделировании игр преследования дифференциально-разностными уравнениями, в которых учитывается предыстория состояния системы, что позволяет более адекватно отображать динамику.

Одним из актуальных применением таких систем в теории управления являются беспилотные летательные аппараты самолетной и вертолетной схем, которые разрабатываются сегодня более чем в 30 странах. К аварийности таких аппаратов приводит ручной радиокомандный режим, пренебрежение сложными программными режимами управления полетами, объективные ошибки операторов такие, как, например, запаздывание и помехи в радиолинии управления.

В дифференциально-разностных играх преследования с одним обегающим и одним преследователем целью является нахождение условий на параметры процесса и начальное состояние системы, при которых преследователь «поймает» убегающего в конкретный момент времени. Для решения таких задач разработан метод разрешающих функций [1, 2], который развивает первый прямой метод Л. С. Понтрягина. Метод разрешающих функций дает обоснование классического правила параллельного преследования (рис. 1), давно известного инженерам-проектировщикам авиационной и ракетной техники.

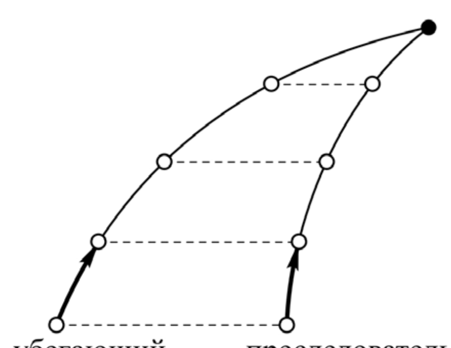

Рис. 1. Схема параллельного преследования

Более сложным классом являются конфликтно-управляемые процессы, которые описываются дифференциально-разностными уравнениями нейтрального типа, содержащими неизвестную функцию и её производные в разные моменты времени. В связи с этим возникает необходимость модифицировать метод разрешающих функций для такого класса задач.

© Л. В. Барановская, 2015

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Монография Р. Айзекса [3] положила начало теоретическим исследованиям динамических игровых задач. В работе Н. Н. Красовского [4] развит позиционный подход к их исследованию. Основу данного подхода составляет построение специальных множеств позиций – стабильных мостов. Решение игровой задачи сводится к последовательному выбору экстремальных управлений, сохраняющих траекторию динамической системы на стабильном мосту. Однако, как показано в [5], построение таких мостов для исследования реальных задач весьма затруднено. Другой подход к решению дифференциальных игр преследования был предложен Б. Н. Пшеничным [6]. Его метод предлагает использование игроками так называемых ε-стратегий и базируется на построении специальных операторов, обладающих полугрупповыми свойствами.

Указанные выше методы ориентированы на получение управления, оптимального в некотором смысле. Этим обусловлено то, что круг задач, которые можно исследовать такими способами, весьма узок. Поэтому Л. С. Понтрягин [7] предложил заняться получением достаточных условий окончания игры, но для более широких классов задач. Во главу угла был положен принцип гарантированного результата.

Первый прямой метод Л. С. Понтрягина наиболее прост и эффективен при решении конкретных игровых задач преследования. Этот метод дает удобно проверяемые достаточные условия завершения преследования и реализован в классе контруправлений [8]. С первым прямым методом Л. С. Понтрягина тесно связан метод разрешающих функций [9–11], который был перенесен на дифференциально-разностные игры группового сближения запаздывающего типа [12–14]. Этот метод основан на использовании обратных функционалов Минковского [15], а разрешающие функции характеризуют течение игры.

В работе [16] рассматриваются дифференциальные игры с запаздыванием в гильбертовом пространстве, а в работе [17] система дифференциально-разностных уравнений задана в форме интеграла Римана-Стилтьеса.

Для дифференциально-разностных игр преследования ранее в работе [18] получены необходимые условия оптимальности, выраженные в виде уравнения Беллмана-Айзекс.

В данной работе конфликтно-управляемый процесс описывается в евклидовом пространстве системой дифференциально-разностных уравнений нейтрального типа и требуется выполнение условия Л. С. Понтрягина.

3. Цель и задачи исследования

Ввиду особенностей структуры фундаментальной матрицы системы дифференциально-разностных уравнений нейтрального типа актуальным является модификация метода разрешающих функций для игры сближения данного типа.

Целью работы является найти достаточных условий на параметры процесса и начальное состояние системы для завершения игры за определенное конечное время.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

– сформулировать задачу преследования, процесс которой описывается системой дифференциально-разностных уравнений нейтрального типа;

– построить метод разрешающих функций;

– получить достаточные условия завершения игры преследования.

4. Постановка задачи

Пусть движение вектора z в n-мерном евклидовом пространстве R^n описывается системой линейных дифференциально-разностных уравнений нейтрального типа [19], содержащей неизвестную функцию и её производные в разные моменты времени:

$$\dot{z}(t)=\sum_{i=1}^{m}A_i\dot{z}(t-\omega_i)+\sum_{i=0}^{m}B_i z(t-\omega_i)-u(t)+v(t), \qquad (1)$$

где A_i $(i=1,\dots,m)$, B_i $(i=0,\dots,m)$ – постоянные квадратные матрицы порядка n; $0=\omega_0<\omega_1<\dots<\omega_m$ – константы; $u\in U$, $v\in V$ – управляющие векторы. Вектором $u(t)$ распоряжается догоняющий объект, вектором $v(t)$ распоряжается убегающий объект; U, V – непустые компакты.

В R^n задано терминальное множество в виде цилиндра

$$M^*=M_0+M,$$

где M_0 – линейное подпространство из R^n, *M* – непустой выпуклый компакт из ортогонального дополнения L к M_0.

Начальным состоянием для сближения является n-мерная абсолютно непрерывная функция $g(t)$, определённая на отрезке $[-\omega_m, 0]$.

Будем считать, что сближение может быть закончено из начального состояния $g(\cdot)$ за конечное время, если существует такое число $t(g(\cdot))$, что при произвольном измеримом изменении управляющего вектора $v(t)$ можно подобрать такое измеримое изменение управляющего вектора $u(t)$, что точка *z* попадёт на терминальное множество M^* в момент $t(g(\cdot))$ [1]. При этом для построения управляющего вектора $u(t)$ в каждый момент времени t используются функции $z(s)$, $t-\omega_m\le s\le t$, $v(s)$, $0\le s\le t$.

Получим некоторых достаточные условия, при выполнении которых для данного начального состояния $g(\cdot)$ гарантируется, что сближение из него может быть закончено за определённое конечное время.

5. Схема метода разрешающих функций

Обозначим через π ортопроектор, действующий из R^n на подпространство L. Положим при $t\ge 0$ $W(t)=\pi K(t)U \underline{*} \pi K(t)V$, где $\underline{*}$ означает операцию геометрического вычитания [1], а $K(t)$ – матричная функция, обладающая свойствами [15]:

a) $K(t)=0,\ t<0;$

b) $K(0)=E;$

c) функция $\sum_{i=0}^{m} A_i K(t-\omega_i)$ непрерывна на $[0,\infty);$

d) $K(t)$ при $t>0$ удовлетворяет уравнению

$$\dot{K}(t)=\sum_{i=1}^{m} A_i\cdot\dot{K}(t-\omega_i)+\sum_{i=0}^{m} B_i K(t-\omega_i).$$

Предположение Понтрягина.

Пусть $\operatorname{dom}W(t)=[0,\infty).$

Из полунепрерывности сверху отображения $\pi K(t)U$ и полунепрерывности снизу отображения $\pi K(t)v$ следует полунепрерывность сверху $W(t)$ на множестве $\operatorname{dom}W(t)$ [1]. Следовательно, отображение $W(t)$ борелевское. Тогда из следствия теоремы Майкла [1] существует хотя бы один борелевский селектор $\gamma(t)$ такой, что $\gamma(t)\in W(t),\quad t\geq 0$. Обозначим через Γ совокупность борелевских селекторов многозначного отображения W(t), зафиксируем некоторый элемент $\gamma(\cdot)\in\Gamma$ и положим

$$\xi(t,g(\cdot),\gamma(\cdot))=-\sum_{i=0}^{m}\pi K(t-\omega_i)A_i\cdot g(0)+$$
$$+\sum_{i=1}^{m}\int_{-\omega_i}^{0}\pi K(t-s-\omega_i)\left[A_i\dot{g}(s)+B_i g(s)\right]ds+\int_0^t\gamma(s)ds,$$

где $A_0=-E,\quad E$ – единичная матрица порядка n.

Разрешающую функцию введём как функцию, обратную к калибровочной [20]

$$\alpha(t,s,g(\cdot),v,m,\gamma(\cdot))=\alpha_{W(t-s,v)-\gamma(t-s)}\left(m-\xi\left(t,g(\cdot),\gamma(\cdot)\right)\right),$$

где

$$t\geq s\geq 0,\ v\in V,\ m\in M,\ \gamma(\cdot)\in\Gamma,\ W(t,v)=\pi K(t)(U-v(t)).$$

В силу свойств суперпозиции многозначных отображений и функций она является борелевской по совокупности s, v и полунепрерывной сверху по совокупности v, m.

Положив

$$\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))=\max_{m\in M}\alpha(t,s,g(\cdot),v,m,\gamma(\cdot)),$$

получим представление

$$\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))=$$
$$=\sup\{\alpha\geq 0:\left[W(t-s,v)-\gamma(t-s)\right]\cap$$
$$\cap\alpha\left[M-\xi(t,g(\cdot),\gamma(\cdot))\right]\neq\varnothing\}. \tag{2}$$

Отсюда следует, что поскольку в силу построений многозначное отображение $W(t-s,v)-\gamma(t-s)$ содержит 0, то для того, чтобы функция $\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))$ принимала значение $+\infty$ при некотором t, необходимо и достаточно, чтобы $\xi(t,g(\cdot),\gamma(\cdot))\in M$. Если же $\xi(t,g(\cdot),\gamma(\cdot))\notin M$, то функция $\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))$ принимает конечные значения при любых s, v.

Введём в рассмотрение функцию

$$T(g(\cdot),\gamma(\cdot))=i,$$
$$\mathrm{nf}\left\{t\geq 0:\ \int_0^t\inf_{v\in V}\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))ds\geq 1\right\},$$
$$\gamma(\cdot)\in\Gamma. \tag{3}$$

Если неравенство в фигурных скобках не выполняется при всех $t\geq 0$, то будем полагать $T(g(\cdot),\gamma(\cdot))=+\infty$. Заметим, что если $\xi(t,g(\cdot),\gamma(\cdot))\notin M$, то функция $\inf_{v\in V}\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))$ измерима по s, так как $\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))$ является борелевской по совокупности s, v и равномерно ограниченной по s, а, значит, функция $\inf_{v\in V}\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))$ интегрируема на интервале $[0,t]$.

Если же $\xi(t,g(\cdot),\gamma(\cdot))\in M$, то $\inf_{v\in V}\alpha(t,s,g(\cdot),v,\gamma(\cdot))\equiv+\infty,\ s\in[0,t]$, и в этом случае значение интеграла естественно положить равным $+\infty$, а, следовательно, неравенство в определении функции $T(g(\cdot),\gamma(\cdot))$ выполнено автоматически.

6. Основной результат исследования

Сформулируем достаточные условия завершения игры преследования.

Теорема. *Пусть для конфликтно-управляемого процесса (1) выполнено предположение Понтрягина, множество M является выпуклым, для начального состояния* $g(\cdot)$ *и некоторого селектора* $\gamma^0(\cdot)\in\Gamma$ $T=T(g(\cdot),\gamma^0(\cdot))<+\infty$.

Тогда задача сближения разрешима из заданного начального положения в момент T.

Доказательство. Пусть v – произвольная измеримая по Лебегу функция, принимающая значения из области управления V. Момент T – расчётное время окончания игры. Рассмотрим случай, когда $\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))\notin M$.

Введём контрольную функцию

$$h(t)=1-\int_0^t\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))ds,\quad t\geq 0.$$

Она непрерывна как функция верхнего предела, не возрастает, так как функция $\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))$ по определению неотрицательна, и $h(0)=1$.

Из определения времени T и непрерывности контрольной функции следует, что существует такой момент $t_*=t_*(v(\cdot)),\ 0<t_*\leq T$, что $h(t_*)=0$.

Весь процесс преследования разобьём на два участка: $[0,t_*]$ – активный и $(t_*,T]$ – пассивный. Заметим, что для определения времени t_* – момента переключения с активного участка на пассивный, – необходима информация о предыстории управления убегающего, так как t_* является корнем уравнения $\int_0^t\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))ds=1.$

Опишем закон выбора управления преследователем на активном и пассивном участках.

Для этого рассмотрим многозначное отображение

$$U_1(s,v)=$$
$$=\{u\in U:\pi K(T-s)\varphi(u(s),v(s))-$$
$$-\gamma^0(T-s)\in\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))\times$$
$$\times[M-\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))]\}. \qquad (4)$$

Поскольку функция $\pi K(T-s)\varphi(u(s),v(s))-\gamma^0(T-s)$ борелевская по *s* и непрерывная по *u*, а многозначное отображение $\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))[M-\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))]$ является борелевским по *s, v* в силу полунепрерывности сверху по *v* функции $\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))$, то отображение $U_1(s,v)$ является борелевским по совокупности переменных [1].

Тогда его селектор $u_1(s,v)=\operatorname{lex}\min U_1(s,v)$ является борелевской функцией по совокупности переменных.

Управление преследователя на интервале $[0,t_*]$ положим равным

$$u(s)=u_1(s,v). \qquad (5)$$

Это измеримая по Лебегу функция, так как она получена как суперпозиция внешней борелевской и измеримой функций.

Перейдём к пассивному участку сближения $(t_*,T]$. Положим $\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))\equiv 0$ при $s\in(t_*,T]$.

Рассмотрим многозначное отображение

$$U_2(s,v)=\{u\in U:\pi K(T-s)\varphi(u(s),v(s))-\gamma^0(T-s)=0\}. \qquad (6)$$

Это отображение и его селектор

$$u_2(s,v)=\operatorname{lex}\min U_2(s,v)$$

являются борелевскими по совокупности аргументов.

Управление преследователя на участке $(t_*,T]$ положим равным

$$u(s)=u_2(s,v). \qquad (7)$$

Оно является измеримой по Лебегу функцией.

Пусть $\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))\in M$. В этом случае управление преследователя на интервале $[0,T]$ выберем в виде (7).

Таким образом, определён закон управления преследователя для любых из возможных ситуаций.

Покажем, что при этом траектория процесса (1) попадёт на терминальное множество M^* в момент T.

Рассмотрим случай, когда $\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))\notin M$.

Из формулы Коши [16] следует представление

$$\pi z(T)=-\sum_{i=0}^{m}\pi K(T-\omega_i)A_i\cdot g(0)+$$
$$+\sum_{i=0}^{m}\int_{-\omega_i}^{0}\pi K(T-s-\omega_i)[A_i\dot g(s)+B_i g(s)]ds+$$
$$+\int_0^T\pi K(t-s)[-u(s)+v(s)]ds. \qquad (8)$$

Прибавим и вычтем из правой части равенства (8) вектор $\int_0^T\gamma^0(T-s)ds.$ Пусть преследователь на активном и пассивном участках выбирает управление согласно описанному выше закону. Тогда получим включение

$$\pi z(T)\in\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))\left[1-\int_0^{t_*}\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))ds\right]+$$
$$+\int_0^{t_*}\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))Mds.$$

Но так как $\int_0^{t_*}\alpha(T,s,g(\cdot),v,\gamma^0(\cdot))ds=1,$ а $M=\operatorname{co}M,$ то из последнего включения следует $\pi z(T)\in M.$ Если же $\xi(T,g(\cdot),\gamma^0(\cdot))\in M$, то, учитывая закон управления преследователя, из формулы Коши немедленно получим включение $\pi z(T)\in M.$ Последнее равносильно включению $z(T)\in M^*.$ Теорема доказана.

7. Выводы

Сформулирована дифференциально-разностная игра преследования нейтрального типа. Ввиду особенностей структуры фундаментальной матрицы системы дифференциально-разностных уравнений нейтрального типа ранее такая задача не рассматривалась.

Построен метод разрешающих функций для данного типа задач, при этом учтены особенности системы.

Получены достаточные условия разрешимости задачи преследования, которые реализуются в классе квазистратегий. При этом процесс преследования разделяется на два участка: на первом работает собственно метод разрешающих функций, на втором – первый прямой метод Л. С. Понтрягина.

Литература

1. Чикрий, А. А. Конфликтно управляемые процессы [Текст] / А. А. Чикрий. – К.: Наук. думка, 1992. – 384 с.
2. Chikrii, A. A. On a method of pursuit in «trachs» [Text] / A. A. Chikrii // Доп. Нац. АН Укр. – 2000. – № 6. – С. 109–113.
3. Айзекс, Р. Дифференциальные игры [Текст] / Р. Айзекс. – М.: Мир, 1967. – 480 с.
4. Красовский, Н. Н. Игровые задачи о встрече движений [Текст] / Н. Н. Красовский. – М.: Наука, 1970. – 420 с.
5. Krasovskii, N. N. Game-theoretical control problems [Text] / N. N. Krasovskii, A. I. Subbotin. – N. Y.; Berlin: Springer-Verlag, 1988. – 517 p. doi: 10.1007/978-1-4612-3716-7
6. Pschenitchny, B. N. ε-Strategies in differential games [Text] / B. N. Pschenitchny. – Topics in Differential Games. – New York; London; Amsterdam: North Holland, 1973. – P. 45–99.

7. Понтрягин, Л. С. Линейные дифференциальные игры. I [Текст] / Л. С. Понтрягин // ДАН СССР. –1967. – Т. 174, № 6. – С. 1278–1281.
8. Никольский, М. С. Первый прямой метод Л. С. Понтрягина в дифференциальных играх [Текст] / М. С. Никольский. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 65 с.
9. Chikrii, A. A. Conflict-Controlled Processes [Text] / A. A. Chikrii. – Boston; London; Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1997. – 427 p. doi: 10.1007/978-94-017-1135-7
10. Chikrii, A. A. Quasilinear Controlled Processes under Conflict [Text] / A. A. Chikrii // Journal of Mathematical Sciences. – 1996. – Vol. 80, Issue 1. – P. 1489–1518. doi: 10.1007/bf02363923
11. Chikrii, A. A. Quasilinear Guaranteed Result in Differential Games with Terminal Payoff [Text] / A. A. Chikrii, J. S. Rappoport // New Trends in Dynamic Games and Applications. – 1995. – Vol. 3. – P. 323–330. doi: 10.1007/978-1-4612-4274-1_16
12. Барановская, Л. В. О дифференциально-разностной игре группового преследования [Текст] / Л. В. Барановская, Г. Г. Барановская // Доповіді Національної академії наук України. – 1997. – № 3. – С. 12–15.
13. Барановская, Л. В. Локальная дифференциальная игра сближения с запаздывающим аргументом и фиксированным временем [Текст]: матер. III межд. науч.-практ. конф. / Л. В. Барановская // Fundamental and applied sciences today III. – North Charlston, USA, т. 2, 2014. – С. 129–131.
14. Барановская, Л. В. Об одном классе дифференциально-разностных игр группового сближения с нефиксированным временем [Текст] / Л. В. Барановская // Наука и мир. – 2015. – Т. 1, № 2 (18). – С. 10–12.
15. Чикрий, А. А. Функционалы Минковского в теории преследования [Текст] / А. А. Чикрий // Докл. РАН. – 1993. – Т. 329, № 3. – С. 281–284.
16. Tukhtasinov, M. On an invariant set in the heat conductivity problem with time lag [Text] / M. Tukhtasinov, G. Ibragimov, N. O. Mamadaliev // Abstract and Applied Analysis. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–7. doi: 10.1155/2013/108482
17. Liubarshchuk, I. The problem of approach in differential-difference games [Text] / I. Liubarshchuk, I. Althofer // International Journal of Game Theory, 2015. doi: 10.1007/s00182-015-0467-9
18. Hovakimyan, N. Game problems on rotation surfaces [Text] / N. Hovakimyan, L. Harutunian // International Journal of Mathematics, Game Theory and Algebra. – 1999. – Vol. 2. – P. 117—129.
19. Беллман, Р. Дифференциально-разностные уравнения [Текст] / Р. Беллман, К. Кук. – М.: Мир, 1967. – 254 с.
20. Иоффе, А. Д. Теория экстремальных задач [Текст] / А. Д. Иоффе, В. М. Тихомиров. – М.: Наука, 1974. – 479 с.

УДК 004.925.8
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.39964

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ СТВОРЕННЯ БАЗОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ОДЯГУ

Г. Ф. Сафонова
Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра природничо-наукової підготовки
Одеський національний політехнічний університет
пр. Шевченка, 1, г. Одеса, Україна, 65044
E-mail: Safonova_2014@bigmir.net

Розроблена математична модель комбінованого методу створення базових лекал. Описані вхідні дані задачі побудови креслень. Для врахуванням індивідуальних особливостей фігури створені алгоритми геометричних побудов базових конструкцій з уточненням креслень. Визначені точні координати вузлових точок конструкцій на координатній площині з метою подальшої автоматизації методу

Ключові слова: методи конструювання, комбінований метод, базові лекала, побудова креслень, вузлові точки

Разработана математическая модель комбинированного метода создания базовых лекал. Описаны входные данные задачи построения чертежей. Для учета индивидуальных особенностей фигуры созданы алгоритмы геометрических построений базовых конструкций с уточнением чертежей. Определены точные координаты узловых точек конструкций на координатной плоскости с целью дальнейшей автоматизации метода

Ключевые слова: методы конструирования, комбинированный метод, базовые лекала, построение чертежей, узловые точки

1. Вступ

Розробка базового комплекту лекал є початковим етапом створення швейного виробу. Незважаючи на дотримання усіх принципів моделювання, невдалий вибір або неправильне застосування методу конструювання базових лекал може суттєво вплинути на якість результату швейного виробу. Адже від крою залежить,

© Г. Ф. Сафонова, 2015