

OPTIMIZATION OF MANUFACTURING PARAMETERS ACCORDING TO AN INTEGRAL CRITERION

TODOR KUZMANOV, GALINA NIKOLCHEVA, RACHO RACHEV, HRISTO METEV

Abstract. By the example of hole boring questions of machining conditions selection using minimum cost price and functioning limits in accordance with maximum machine-tool power, machined surface roughness and precision characteristics are considered. Calculation algorithms for hole radius-vector and boring bar deformation under action of unbalanced cutting force as well as algorithm of the optimal cutting conditions value search are given.

Key words: manufacturing parameters, cutting conditions, cost price.

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ ПО ИНТЕГРАЛЕН КРИТЕРИЙ

1. Въведение

В съвременните системи за автоматизирано програмиране е необходимо да се решават оптимизационни задачи, касаещи организацията на технологическия процес. Основната задача при оптимизиране на процеса рязане се състои в избора на такива условия на обработване, при които зададените качествени показатели на детайла се получават при минимални разходи на жив и овеществен труд. Големината на тези разходи в голяма степен зависи от режимите на рязане. При проектиране на технологическия процес могат да бъдат определени такива режими на рязане, които при осигуряване на зададените точностни показатели намаляват основното технологическо време, но увеличават разходите за инструменти в резултат на намалената им трайност, което се отразява на текущите разходи. Следователно за създаване на рационални условия на обработка е необходимо да се разкрие влиянието на технологическите фактори върху разходите, формиращи себестойността на продукцията.

2. Описание на изследването

Разходите, формиращи *технологическата себестойност*, се групират по икономически признаци в следните групи: *материални разходи (с отчитане стойността на възвратимите отпадъци); разходи за работна заплата; отчисления за социални нужди; амортизация на основните фондове; други разходи* [2].

При операциите изпълнявани върху *машини с програмно управление*, от типа на пробивно-разстъргващи и обработващи центри, технологическата себестойност може да се определи с израза [2, 3]:

$$(1) \quad \sum_{i=1}^p C_T = \sum_{i=1}^p (t_{mi} r_{zi} + t_{m.обс.} r_{1i} + t_y r_{1i} + t_c r_{2i} + R_{ni}),$$

където p е брой преходи; t_m , $t_{m.обс.}$, t_y , t_c - машинно технологическо време, време за техническо обслужване, време за установяване и снемане на детайла от машината; r_{1i} ,

r_{2i}, r_{3i} , - величини, отчитащи разходите, отнесени към 1 мин. работа на машината на i -я преход; R_{Hi} – разходи за настройване на машината, отнесени към един детайл.

В израз (1) за всеки преход:

$$r_1 = R_{AO} + R_3;$$

$$r_2 = R_{AO} + R_3 + R_{Epx} + R_{TP};$$

$$r_3 = R_{AO} + R_3 + R_{Epx} + R_{Ecx} + R_{TP} + R_{PI},$$

където $R_{AO}, R_3, R_{Epx}, R_{Ecx}, R_{TP}, R_{PI}$ са разходи за амортизация на оборудването, за работна заплата, за електроенергия при изпълнение на работните и празните ходове, за текущ ремонт, за режещ инструмент съответствено, отнесени към 1 мин работа на машината.

От (1) следва, че при неизменни $t_{m.обс}, t_y, t_c$, технологическата себестойност зависи от машинното технологическо време, което се определя от режимите на рязане.

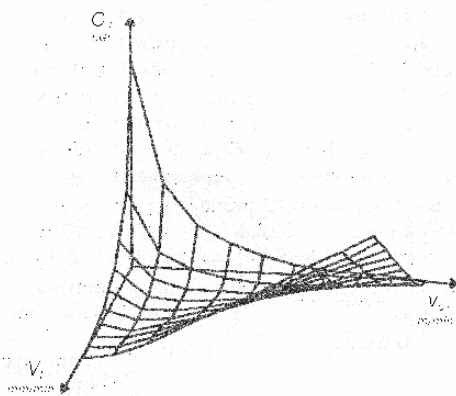
При проектиране на преходите в *програмните операции* е необходимо да се определят оптимални стойности на скоростите на рязане v_c и подаване V_f по критерия себестойност. Решаването на тази задача позволява разкриване на областта на рационалните режими на рязане.

От условието за минимална технологическа себестойност може да се запише:

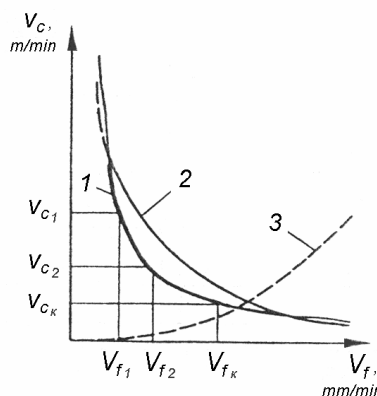
$$(2) \quad C_{T \min} = \left\{ \frac{\partial C_T}{\partial v_c} = 0; \frac{\partial C_T}{\partial V_f} \right\},$$

където $\partial C_T / \partial v_c$ и $\partial C_T / \partial V_f$ са частни производни на технологическата себестойност по скорост на рязане и подаване.

Израз (2) има множество решения, което дава възможност за различни съчетания от скорости на рязане v_c и подаване V_f , при които себестойността е минимална (*фиг. 1*). На *фиг. 2* е показана крива 1, получена от пресичането на функцията $C_T = f(v_c, V_f)$ и равнина, прекарана през точка с минимална C_T , определена с израз (2), успоредна на равнината $v_c \partial V_f$ и подаване V_f . Поради многовариантността при определянето на минималната технологическа себестойност и впредвид отсъствието на рационална методика за избор на подавателна скорост V_f и скорост на рязане v_c по критерия себестойност е необходимо налагането на ограничения на съчетанието от режими на рязане по максимална мощност на машината и грапавост на обработваната повърхнина.



Фиг. 1. Зависимост на технологическата себестойност C_T от скоростта на рязане v_c и скоростта на подаване V_f



Фиг. 2. Избор на v_c и V_f , съответстващи на минимална C_T , с отчитане на различните ограничения:
 1 – минимална себестойност;
 2 – максимална мощност на обработваната повърхнина (оптимални скорости на рязане и подаване: v_{c1} и V_{f1} , или v_{c2} и V_{f2} , или $v_{cк}$ и $V_{fк}$)

На *фиг. 2* линия 1 показва областта на търсене на оптимални режими на рязане с отчитане на приетите ограничения.

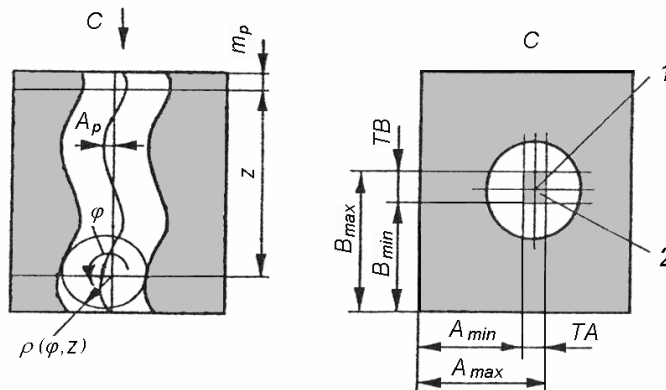
За да се стесни още областта на търсене, е необходимо внасяне на ограничения и по точностните характеристики. Очакваните точностни характеристики могат да се определят чрез математическо моделиране на процеса рязане, отчитайки действието на различни фактори.

3. Резултати, коментари и алгоритми

Като *пример* може да се разгледа методиката за оценка на точността при отделните преходи за разстъргване на отвори в програмната операция. Положението на отвора, в процеса на обработване, се определя с полето на разсейване на радиус-вектора ρ . Радиус-вектора (*фиг. 3*), описващ отвора с волнообразна централна линия, може да се определи по следния начин [5]:

$$(3) \quad \rho(\varphi, z) = \sqrt{r^2 + A_p^2 \cos^2\left(\frac{2\pi p}{L} z + m_p\right) + 2rA_p \cos\left(\frac{2\pi p}{L} z + m_p\right) \cos \varphi},$$

където r - радиус на средната окръжност; A_p, m_p - амплитуда и фаза на p -тата хармоника; L - дължина на отвора; z - разстояние, определящо положението на разглежданото сечение; φ - ъгъл на завъртане на радиус-вектора.



Фиг. 3. Схема за изчисляване на радиус-вектора:

1 – ос на въртене на инструмента; 2 – област на положение на оста на отвора

Изходните данни за изчисленията са : R - радиус на отвора; TB, TA – допускови полета на размерите, определящи положението на отвора в заготовката; R_3 - радиус на отвора в заготовката; V_f - подавателна скорост; v_c – скорост на рязане; коефициенти и показатели за изчисляване на сиите на рязане; чертеж на дорника. Алгоритъмът за изчисляване на радиус-вектора и полето му на разсейване при разстъргване на отвора е показан на *фиг. 4*.

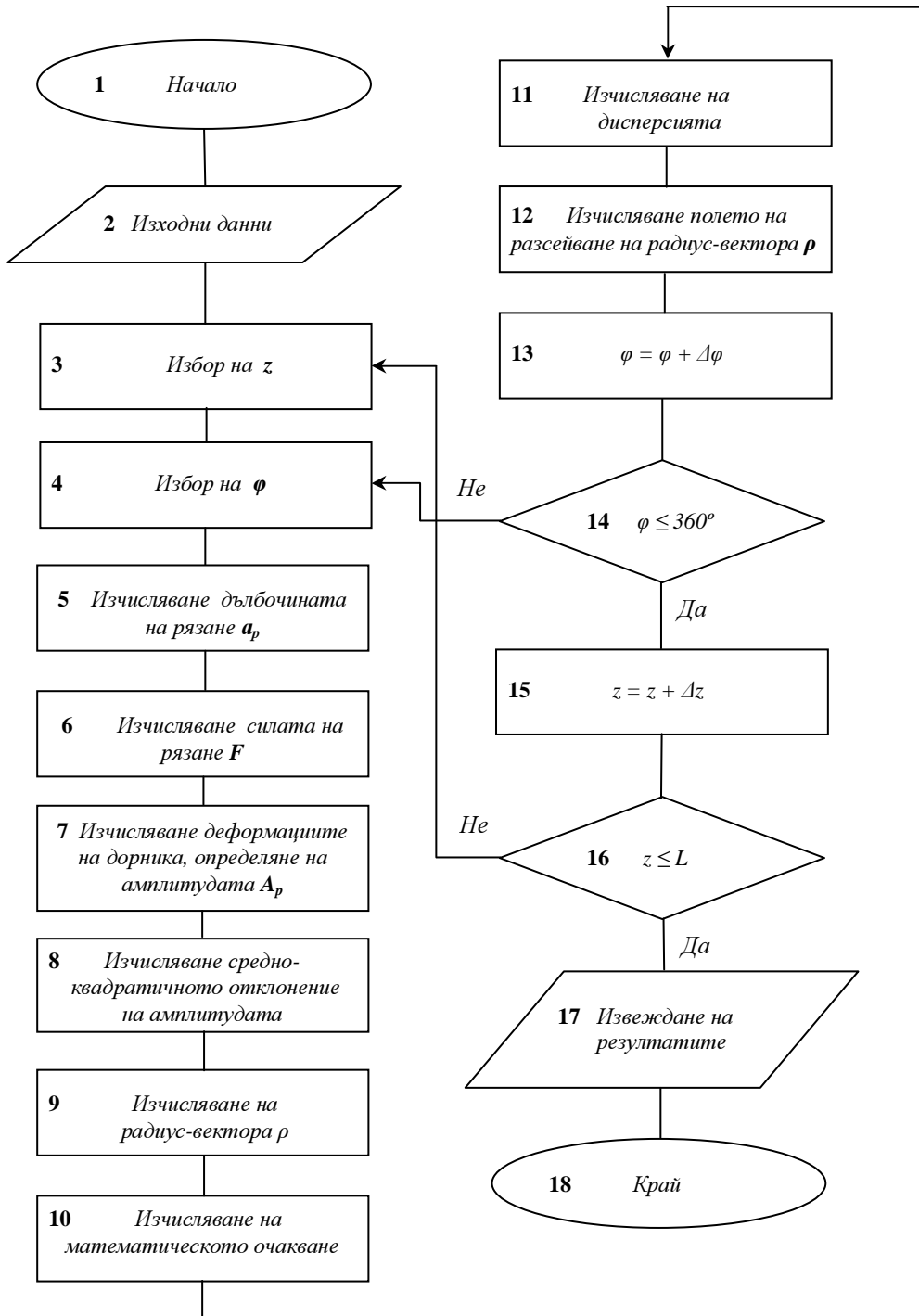
След въвеждане на изходните данни се избира положение на радиус-вектора, което се задава с напречното сечение (*оператор 3*) и началната точка в него (*оператор 4*). След това се определя дълбочината на рязане a_p (*оператор 5*)

$$a_p(\varphi) = R - \frac{R_3 \sin[\varphi + \arctg(TB / TA)] + \arcsin\left\{\frac{\sqrt{TA^2 + TB^2} \sin[\varphi + \arctg(TB / TA)]}{R_3}\right\}}{\sin[\varphi + \arctg(TB / TA)]}$$

След това в съответствие с алгоритъма се изчисляват: силата на рязане $F(a_p)$ (*оператор 6*); деформациите на разстъргващия дорник или амплитудата на преместванията A_p (*оператор 7*); средноквадратичното отклонение на амплитудата S_A (*оператор 8*); радиус-вектора ρ (*оператор 9*); математическото очакване и дисперсията

на функцията $\rho(\varphi, z)$ (оператори 11 и 12). За удобство при изчисляване на математическото очакване и дисперсията в израз (3) се означават:

$$A_p = x; \quad \cos\left(\frac{2\pi}{L}z + m_p\right) = y; \quad \rho(x, y) = \sqrt{x^2 y^2 + 2 rxy \cos \varphi + r^2}.$$



Фиг. 4. Алгоритъм за изчисляване на ρ и V_r при разстъргване на отвори

Приема се, че амплитудата A_p се подчинява на закона на Релей [4, 5], т. е. има ПЛЪТНОСТ

$$x: f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0 \\ \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} & \text{при } x \geq 0, \end{cases}$$

а фазата m_p – на закона на равната вероятност [4, 5] в интервалаот 0 до 2π и има плътност

$$y: f(y) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{1-y^2}} & \text{при } |y| < 1 \\ 0 & \text{при } |y| \geq 1. \end{cases}$$

При тези условия за математическото очакване и дисперсията на случайната функция (3) се получава:

математическо очакване

$$M = \int_0^{\infty} \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2rxy \cos \varphi + r^2}}{\sqrt{1-y^2}} \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx dy ;$$

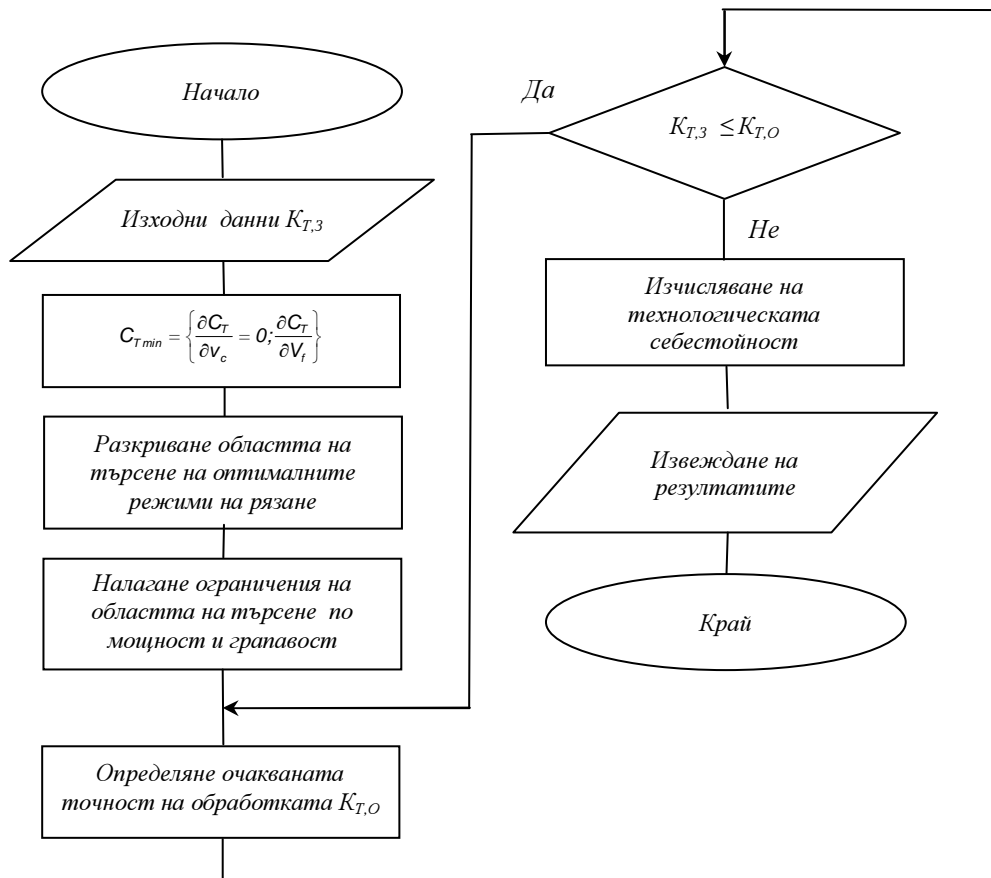
дисперсия

$$D = \int_0^{\infty} \int_{-1}^1 \frac{x^2 + y^2 + 2rxy \cos \varphi + r^2}{\sqrt{1-y^2}} \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx dy - M^2.$$

За изчисляването на горните интегралаи може да се приложи:

$$\int_b^a \int_d^c f(x, y) \approx \frac{(b-a)(d-c)}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} z_{ij},$$

където $z = f(x, y)$; $b \leq x \leq a$; $d \leq y \leq c$; m, n – брой интервали по оси Ox и Oy .



Фиг. 5. Алгоритъм за търсене на оптималните стойности на режимите на рязане

След това се определя полето на разсейване на радиус-вектора $V\rho$ (*оператор 12*):

$$V\rho = 2z_p \sigma,$$

където z_p – квантил на нормираното разпределение.

По разработеният алгоритъм се извършват изчисления за всички зададени точки в първото напречно сечение, след което се преминава към следващото напречно сечение и процедурата се повтаря до тогава, докато не се разгледат необходимия брой напречни сечения и точки в тях (*оператори 13 ÷ 16*).

4. Заключение

Разгледаният математически модел, сумира допусковите полета, координиращи положението на оста на отвора, с отчитане деформациите на централната линия на отвора и допусковото поле на радиуса на отвора в заготовката, като сумарната очаквана неточност се разглежда като случайна функция в различните точки на обработваната повърхнина и значително стеснява областта на търсене на рационални режими на рязане.

Разработеният подход дава възможност за точно решаване на различни задачи, свързани с прогнозиране на точността при различните режими на рязане.

Обобщеният алгоритъм за търсене на оптимални режими на рязане (*фиг. 5*) дава възможност за два виртуални варианта на изчисляване:

- ако очакваната неточност превишава зададената по чертежа, то в математическия модел за изчисляване на точността се преминава към други стойности на v_c и V_f от определената преди това област на търсене (*фиг. 2*);
- ако изчислената стойност, характеризираща точността, не превишава зададената, се преминава към изчисляване на очакваната минимална себестойност.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Георгиев В., Т. Кузманов.** Статистически методи за анализ и управление на технологични процеси в машиностроенето. Г., «ЕКС-ПРЕС». 2005. 116 с.
2. **Георгиев В., Ст. Пашов.** Технология на машиностроенето (основи на технологията на машиностроенето). П., 2003. 294 с.
3. **Капустин Н. М.** Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение. 1976. 288 с.
4. **Кузманов Т.** Технологически основи на управление качеството на машиностроителните изделия. Г., ТУ – Габрово, 1991. 311 с.
5. Точность производства в машиностроении и приборостроении / Под ред. **А. Н. Гаврилова.** М.: Машиностроение. 1973. 567 с.

Department of Electrical Engineering
Technical University–Sofia, Plovdiv Branch
25, Tsanko Dystabanov Str.
4000 Plovdiv
BULGARIA
E-mail:

OPTIMIZATION OF MANUFACTURING PARAMETERS ACCORDING TO AN INTEGRAL CRITERION

TODOR KUZMANOV, GALINA NIKOLCHEVA, RACHO RACHEV, HRISTO METEV

Abstract. By the example of hole boring questions of machining conditions selection using minimum cost price and functioning limits in accordance with maximum machine-tool power, machined surface roughness and precision characteristics are considered. Calculation algorithms for hole radius-vector and boring bar deformation under action of unbalanced cutting force as well as algorithm of the optimal cutting conditions value search are given.

Key words: manufacturing parameters, cutting conditions, cost price.

ОПТИМИЗАЦИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ ПО ИНТЕГРАЛЕН КРИТЕРИЙ

1. Въведение

В съвременните системи за автоматизирано програмиране е необходимо да се решават оптимизационни задачи, касаещи организацията на технологическия процес. Основната задача при оптимизиране на процеса рязане се състои в избора на такива условия на обработване, при които зададените качествени показатели на детайла се получават при минимални разходи на жив и овеществен труд. Големината на тези разходи в голяма степен зависи от режимите на рязане. При проектиране на технологическия процес могат да бъдат определени такива режими на рязане, които при осигуряване на зададените точностни показатели намаляват основното технологическо време, но увеличават разходите за инструменти в резултат на намалената им трайност, което се отразява на текущите разходи. Следователно за създаване на рационални условия на обработка е необходимо да се разкрие влиянието на технологическите фактори върху разходите, формиращи себестойността на продукцията.

2. Описание на изследването

Разходите, формиращи *технологическата себестойност*, се групират по икономически признаци в следните групи: *материални разходи (с отчитане стойността на възвратимите отпадъци); разходи за работна заплата; отчисления за социални нужди; амортизация на основните фондове; други разходи* [2].

При операциите изпълнявани върху *машини с програмно управление*, от типа на пробивно-разстъргващи и обработващи центри, технологическата себестойност може да се определи с израза [2, 3]:

$$(1) \quad \sum_{i=1}^p C_T = \sum_{i=1}^p (t_{mi} r_{zi} + t_{m.обс.} r_{1i} + t_y r_{1i} + t_c r_{2i} + R_{ni}),$$

където p е брой преходи; t_m , $t_{m.обс.}$, t_y , t_c - машинно технологическо време, време за техническо обслужване, време за установяване и снемане на детайла от машината; r_{1i} ,

r_{2i}, r_{3i} , - величини, отчитащи разходите, отнесени към 1 мин. работа на машината на i -я преход; R_{Hi} – разходи за настройване на машината, отнесени към един детайл.

В израз (1) за всеки преход:

$$r_1 = R_{AO} + R_3;$$

$$r_2 = R_{AO} + R_3 + R_{Epx} + R_{TP};$$

$$r_3 = R_{AO} + R_3 + R_{Epx} + R_{Ecx} + R_{TP} + R_{PI},$$

където $R_{AO}, R_3, R_{Epx}, R_{Ecx}, R_{TP}, R_{PI}$ са разходи за амортизация на оборудването, за работна заплата, за електроенергия при изпълнение на работните и празните ходове, за текущ ремонт, за режещ инструмент съответствено, отнесени към 1 мин работа на машината.

От (1) следва, че при неизменни $t_{m.обс}, t_y, t_c$, технологическата себестойност зависи от машинното технологическо време, което се определя от режимите на рязане.

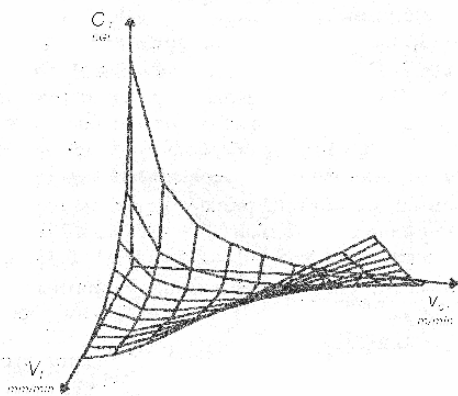
При проектиране на преходите в *програмните операции* е необходимо да се определят оптимални стойности на скоростите на рязане v_c и подаване V_f по критерия себестойност. Решаването на тази задача позволява разкриване на областта на рационалните режими на рязане.

От условието за минимална технологическа себестойност може да се запише:

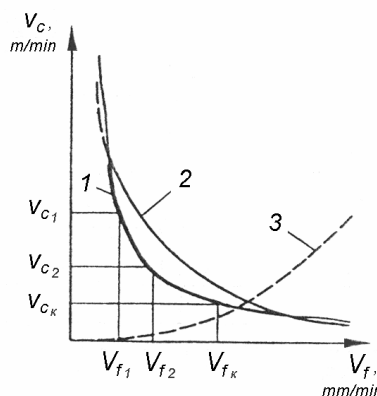
$$(2) \quad C_{T \min} = \left\{ \frac{\partial C_T}{\partial v_c} = 0; \frac{\partial C_T}{\partial V_f} \right\},$$

където $\partial C_T / \partial v_c$ и $\partial C_T / \partial V_f$ са частни производни на технологическата себестойност по скорост на рязане и подаване.

Израз (2) има множество решения, което дава възможност за различни съчетания от скорости на рязане v_c и подаване V_f , при които себестойността е минимална (*фиг. 1*). На *фиг. 2* е показана крива 1, получена от пресичането на функцията $C_T = f(v_c, V_f)$ и равнина, прекарана през точка с минимална C_T , определена с израз (2), успоредна на равнината $v_c \partial V_f$ и подаване V_f . Поради многовариантността при определянето на минималната технологическа себестойност и впредвид отсъствието на рационална методика за избор на подавателна скорост V_f и скорост на рязане v_c по критерия себестойност е необходимо налагането на ограничения на съчетанието от режими на рязане по максимална мощност на машината и грапавост на обработваната повърхнина.



Фиг. 1. Зависимост на технологическата себестойност C_T от скоростта на рязане v_c и скоростта на подаване V_f



Фиг. 2. Избор на v_c и V_f , съответстващи на минимална C_T , с отчитане на различните ограничения:
 1 – минимална себестойност;
 2 – максимална мощност на обработваната повърхнина (оптимални скорости на рязане и подаване: v_{c1} и V_{f1} , или v_{c2} и V_{f2} , или $v_{cк}$ и $V_{fк}$)

На *фиг. 2* линия 1 показва областта на търсене на оптимални режими на рязане с отчитане на приетите ограничения.

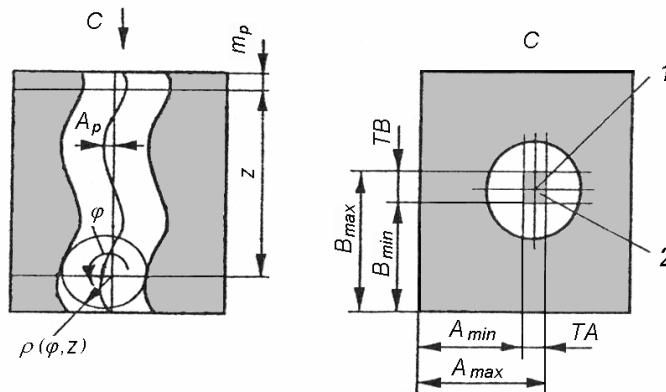
За да се стесни още областта на търсене, е необходимо внасяне на ограничения и по точностните характеристики. Очакваните точностни характеристики могат да се определят чрез математическо моделиране на процеса рязане, отчитайки действието на различни фактори.

3. Резултати, коментари и алгоритми

Като *пример* може да се разгледа методиката за оценка на точността при отделните преходи за разстъргване на отвори в програмната операция. Положението на отвора, в процеса на обработване, се определя с полето на разсейване на радиус-вектора ρ . Радиус-вектора (*фиг. 3*), описващ отвора с волнообразна централна линия, може да се определи по следния начин [5]:

$$(3) \quad \rho(\varphi, z) = \sqrt{r^2 + A_p^2 \cos^2\left(\frac{2\pi p}{L} z + m_p\right) + 2rA_p \cos\left(\frac{2\pi p}{L} z + m_p\right) \cos \varphi},$$

където r - радиус на средната окръжност; A_p, m_p - амплитуда и фаза на p -тата хармоника; L - дължина на отвора; z - разстояние, определящо положението на разглежданото сечение; φ - ъгъл на завъртане на радиус-вектора.



Фиг. 3. Схема за изчисляване на радиус-вектора:

1 – ос на въртене на инструмента; 2 – област на положение на оста на отвора

Изходните данни за изчисленията са : R - радиус на отвора; TB, TA – допускови полета на размерите, определящи положението на отвора в заготовката; R_3 - радиус на отвора в заготовката; V_f - подавателна скорост; v_c – скорост на рязане; коефициенти и показатели за изчисляване на сиите на рязане; чертеж на дорника. Алгоритъмът за изчисляване на радиус-вектора и полето му на разсейване при разстъргване на отвора е показан на *фиг. 4*.

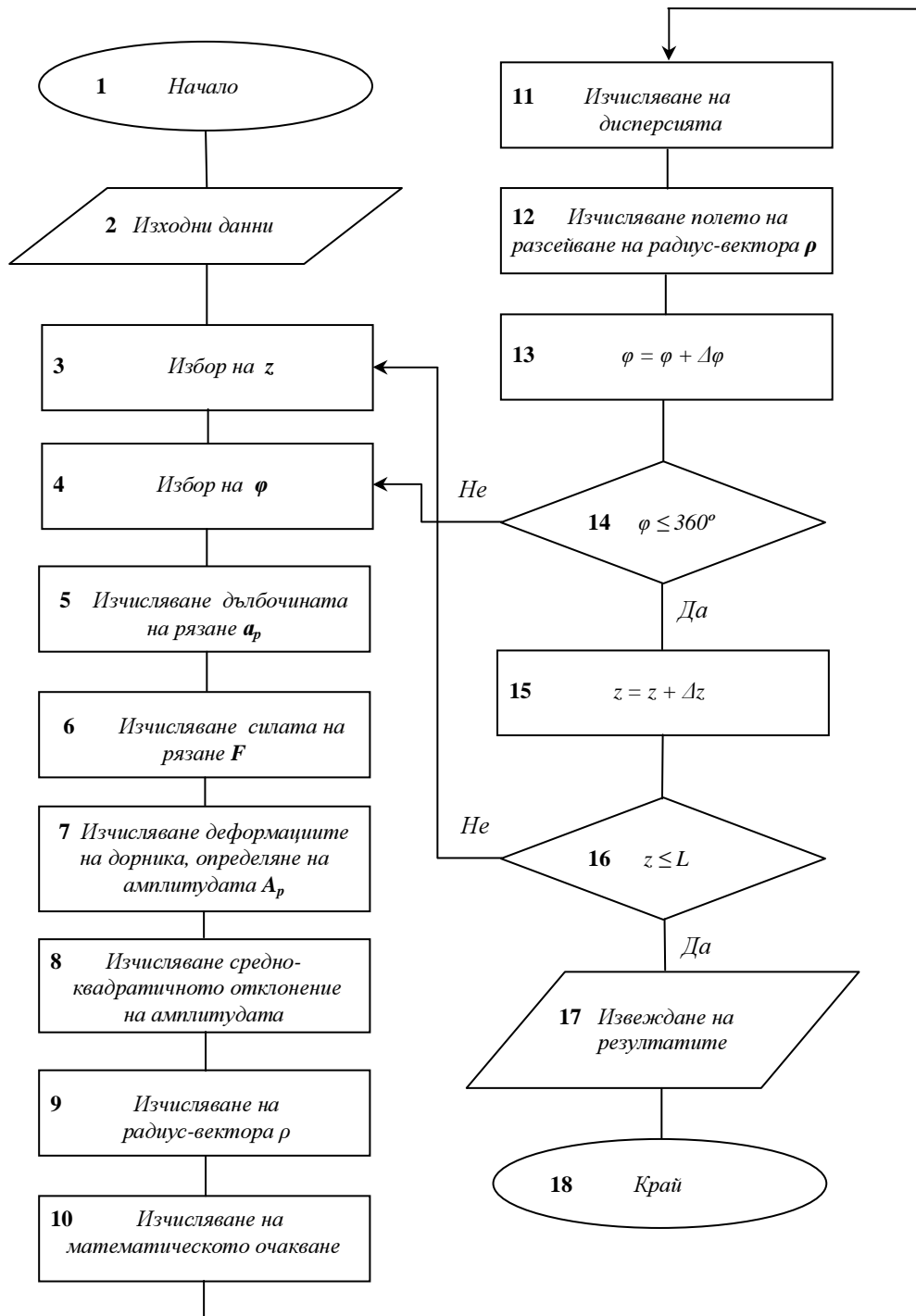
След въвеждане на изходните данни се избира положение на радиус-вектора, което се задава с напречното сечение (*оператор 3*) и началната точка в него (*оператор 4*). След това се определя дълбочината на рязане a_p (*оператор 5*)

$$a_p(\varphi) = R - \frac{R_3 \sin[\varphi + \arctg(TB / TA)] + \arcsin\left\{\frac{\sqrt{TA^2 + TB^2} \sin[\varphi + \arctg(TB / TA)]}{R_3}\right\}}{\sin[\varphi + \arctg(TB / TA)]}$$

След това в съответствие с алгоритъма се изчисляват: силата на рязане $F(a_p)$ (*оператор 6*); деформациите на разстъргващия дорник или амплитудата на преместванията A_p (*оператор 7*); средноквадратичното отклонение на амплитудата S_A (*оператор 8*); радиус-вектора ρ (*оператор 9*); математическото очакване и дисперсията

на функцията $\rho(\varphi, z)$ (оператори 11 и 12). За удобство при изчисляване на математическото очакване и дисперсията в израз (3) се означават:

$$A_p = x; \quad \cos\left(\frac{2\pi}{L}z + m_p\right) = y; \quad \rho(x, y) = \sqrt{x^2 y^2 + 2 rxy \cos \varphi + r^2}.$$



Фиг. 4. Алгоритъм за изчисляване на ρ и V_r при разстъргване на отвори

Приема се, че амплитудата A_p се подчинява на закона на Релей [4, 5], т. е. има ПЛЪТНОСТ

$$x: f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x < 0 \\ \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} & \text{при } x \geq 0, \end{cases}$$

а фазата m_p – на закона на равната вероятност [4, 5] в интервалаот 0 до 2π и има плътност

$$y: f(y) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{1-y^2}} & \text{при } |y| < 1 \\ 0 & \text{при } |y| \geq 1. \end{cases}$$

При тези условия за математическото очакване и дисперсията на случайната функция (3) се получава:

математическо очакване

$$M = \int_0^{\infty} \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{x^2 + y^2 + 2rxy \cos \varphi + r^2}}{\sqrt{1-y^2}} \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx dy ;$$

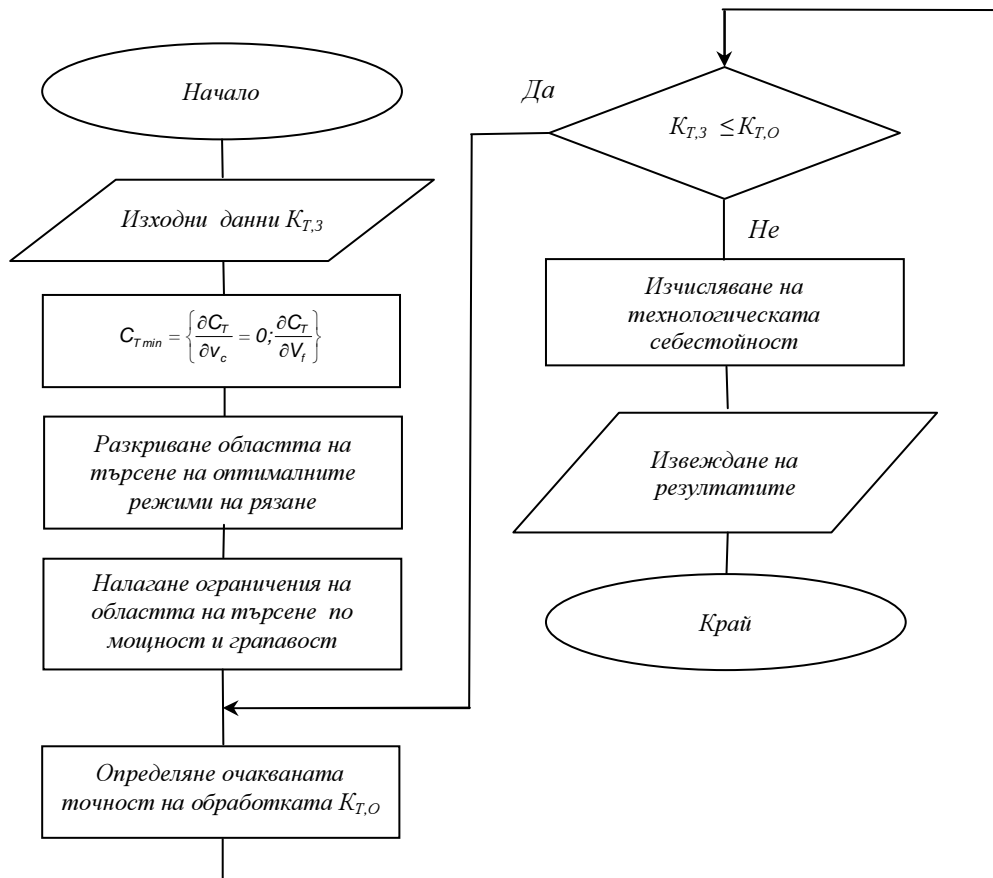
дисперсия

$$D = \int_0^{\infty} \int_{-1}^1 \frac{x^2 + y^2 + 2rxy \cos \varphi + r^2}{\sqrt{1-y^2}} \frac{x}{\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx dy - M^2.$$

За изчисляването на горните интеграли може да се приложи:

$$\int_b^a \int_d^c f(x, y) \approx \frac{(b-a)(d-c)}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} z_{ij},$$

където $z = f(x, y)$; $b \leq x \leq a$; $d \leq y \leq c$; m, n – брой интервали по оси Ox и Oy .



Фиг. 5. Алгоритъм за търсене на оптималните стойности на режимите на рязане

След това се определя полето на разсейване на радиус-вектора $V\rho$ (*оператор 12*):

$$V\rho = 2z_p \sigma,$$

където z_p – квантил на нормираното разпределение.

По разработеният алгоритъм се извършват изчисления за всички зададени точки в първото напречно сечение, след което се преминава към следващото напречно сечение и процедурата се повтаря до тогава, докато не се разгледат необходимия брой напречни сечения и точки в тях (*оператори 13 ÷ 16*).

4. Заключение

Разгледаният математически модел, сумира допусковите полета, координиращи положението на оста на отвора, с отчитане деформациите на централната линия на отвора и допусковото поле на радиуса на отвора в заготовката, като сумарната очаквана неточност се разглежда като случайна функция в различните точки на обработваната повърхнина и значително стеснява областта на търсене на рационални режими на рязане.

Разработеният подход дава възможност за точно решаване на различни задачи, свързани с прогнозиране на точността при различните режими на рязане.

Обобщеният алгоритъм за търсене на оптимални режими на рязане (*фиг. 5*) дава възможност за два виртуални варианта на изчисляване:

- ако очакваната неточност превишава зададената по чертежа, то в математическия модел за изчисляване на точността се преминава към други стойности на v_c и V_f от определената преди това област на търсене (*фиг. 2*);
- ако изчислената стойност, характеризираща точността, не превишава зададената, се преминава към изчисляване на очакваната минимална себестойност.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Георгиев В., Т. Кузманов.** Статистически методи за анализ и управление на технологични процеси в машиностроенето. Г., «ЕКС-ПРЕС». 2005. 116 с.
2. **Георгиев В., Ст. Пашов.** Технология на машиностроенето (основи на технологията на машиностроенето). П., 2003. 294 с.
3. **Капустин Н. М.** Разработка технологических процессов обработки деталей на станках с помощью ЭВМ. М.: Машиностроение. 1976. 288 с.
4. **Кузманов Т.** Технологически основи на управление качеството на машиностроителните изделия. Г., ТУ – Габрово, 1991. 311 с.
5. Точность производства в машиностроении и приборостроении / Под ред. **А. Н. Гаврилова.** М.: Машиностроение. 1973. 567 с.

Department of Electrical Engineering
Technical University–Sofia, Plovdiv Branch
25, Tsanko Dystabanov Str.
4000 Plovdiv
BULGARIA
E-mail: