

7. К л у ш и н М.И. Обобщенные зависимости для расчета режима резания. В сб.: "Физика резания металлов". Изд. АН АССР. Ереван, 1971.
8. Г и л ь м а н А.М. и др. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках. М., "Машиностроение", 1972.
9. Режимы резания металлов. Справочник под ред. Ю.В. Барановского. М., "Машиностроение", 1972.

М.Т. Полетика, В.Н. Сбоев, А.Н. Афонасов

ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД ВЫБОРА РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПО ЭКОНОМИЧЕСКИМ КРИТЕРИЯМ ОПТИМАЛЬНОСТИ

Выбору оптимальных по экономическим критериям (экономичных) режимов резания в настоящее время уделяется все большее внимание. Разработано значительное количество методик экономических расчетов, но, к сожалению, они или неудобны для повседневных расчетов из-за своей сложности и громоздкости, или не обеспечивают требуемой точности при относительной простоте. Применение ЦЭВМ для экономических расчетов не всегда целесообразно.

Предлагаемый метод позволяет быстро и с высокой степенью точности решать основные задачи, возникающие в процессе технологической подготовки производства (выбор оптимальных режимов обработки, сравнение вариантов используемого оборудования и инструмента и ряд других задач).

В основу метода заложены положения, опубликованные К.М. Великановым и В.И. Новожиловым в работе [1]. Метод позволяет определить не только положение оптимума, но и построить полную совокупность зависимостей $Q = f(V)$ (где Q - критерий оптимальности, V - скорость резания). Такие зависимости более удобны, поскольку технолог сразу получает всю информацию о возможных режимах резания (рис. 1, 2) и может количественно оценить, что он теряет и что выигрывает при смещении режима от оптимального по какому-либо критерию. Сам же оптимальный режим выявляется в процессе построения по положению экстремума используемого критерия.

В качестве основных рассматриваются следующие критерии оптимальности:

реальная производительность труда - Pr ;

максимальная производительность труда - P_{max} ;

себестоимость обработки - C_x ;
приведенные затраты на обработку - $C_{п}$;
народнохозяйственные затраты на обработку - $C_{нх}$.

При применении данного метода используются те же нормативы, что и для общепринятых в настоящее время методик.

Сущность инженерного метода заключается в следующем:

Поскольку величина затрат на обработку в какой-либо операции всегда представляется в виде суммы составляющих ее членов, каждый из которых зависит от режима резания, то необходимо из каждого члена уравнения затрат выделить величину, общую для всех их таким образом, чтобы при изменении режима резания изменялась только сама эта величина, а все остальные величины оставались постоянными.

В общем виде это сделать не удастся, однако уравнение затрат на обработку всегда можно представить в виде функции четырех величин

$$C = f(A, B, V, \Gamma) , \quad (1)$$

характеризующих в основном режим обработки - А, вид детали (операции) - В, используемое оборудование - В и используемый инструмент - Г.

Если отдельно просчитать зависимости этих основных величин от интересующего нас параметра, например, скорости резания U или подачи S , то при изменении любого из них, допустим В, необходимость нового расчета остальных (А,В,Г) отпадает. Это основная идея инженерного метода. Один из видов реализации этой идеи приводится ниже на примере построения уравнения народнохозяйственных затрат на обработку единицы площади поверхности и заготовки в зависимости от скорости резания.

Расчет удобно проводить, вычисляя затраты на обработку отвлеченной единицы площади поверхности, а затем переходить к любой конкретной детали, вводя величину В.

В качестве величины А удобно принимать величину максимальной производительности труда Π_{\max} .

При расчете на единицу площади, равную 1 м^2 , величина Π_{\max} имеет вид

$$\Pi_{\max i} = 0,06 \frac{T_i}{T_i + t_{cm}} U_i S \left(\frac{\text{м}^2}{\text{час}} \right) , \quad (2)$$

где Т - стойкость резца в минутах при скорости резания U , м/мин;

t_{cm} - время смены инструмента, мин;

S - подача, мм/об.

Величина Π_{\max} не полностью характеризует условия обработки, поскольку не учитывает затрат дополнительного времени на обработку - $t_{\text{доп}}$.

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{шт.к}} - t_{\text{шт}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{шт.к}}$ - штучно-калькуляционное время, мин;
 $t_{\text{шт}}$ - штучное время, мин.

Реальная производительность труда Π_p определяется по формуле

$$\Pi_p = \Pi_{\max} \frac{t_{\text{шт}}}{t_{\text{шт.к}}} \left(\frac{\text{м}^2}{\text{час}} \right); \quad (4)$$

величина $\frac{t_{\text{шт}}}{t_{\text{шт.к}}}$ характеризует конкретное обрабатываемое изделие

$$\frac{t_{\text{шт}}}{t_{\text{шт.к}}} = \frac{1}{B}$$

Уравнение (4) можно записать в виде

$$\Pi_p = \frac{60}{(T_i + t_{\text{см}}) \sqrt{V_i T_i S} + t_{\text{доп}}} \quad (4a)$$

Рассмотрим, как строится уравнение затрат на обработку. К сожалению, нормативов для определения народнохозяйственных затрат пока не разработано, поэтому в данном примере используется приближенная формула, предложенная в упомянутой работе К.М.Великанова и В.Н.Новожилова.

В зависимости от производительности труда составляющие народнохозяйственных затрат будут иметь вид:

1. Затраты на заработную плату

$$C_3 = \frac{1}{\Pi_{\max i}} C_{34} K_{\text{дн}} \alpha \beta B = \frac{1}{\Pi_{\max i}} C_3' B \left(\frac{\text{руб}}{\text{м}^2} \right); \quad (5)$$

(В качестве примера для сравнения приводится формула для определения C_3 по методу К.М.Великанова)

$$C_{3i} = C_{34} \alpha K_{\text{дн}} \beta t_{\text{шт.к}} \left(\frac{\text{руб}}{\text{дет.оп}} \right) \quad (5a)$$

Здесь C_{34} - часовая тарифная ставка станочника;

$\alpha, K_{\text{дн}}, \beta$ - постоянные коэффициенты.

Как видно из (5) и (5a) различие здесь в первом члене, последнем и в размерности.

2. Затраты на амортизацию

$$C_{a1} = \frac{1}{\Pi_{\max i}} \frac{K_{\text{об}} \alpha}{100 P_2} B = \frac{1}{\Pi_{\max i}} C_3' B \left(\frac{\text{руб}}{\text{м}^2} \right); \quad (6)$$

где $K_{об}$ - стоимость оборудования, руб;
 α - норма годовых амортизационных отчислений, проценты;
 F_2 - годовой фонд работ оборудования, час.

3. Затраты на ремонт оборудования

$$C_{pi} = \frac{1}{\Pi_{max i}} \frac{R W K_{э}}{F_2 T_{p.ц} \beta_1 \beta_2} B = \frac{1}{\Pi_{max i}} C'_p B \left(\frac{руб}{м^2} \right), \quad (7)$$

где R - группа ремонтной сложности;
 W - затраты на единицу ремонтной сложности, руб;
 $T_{p.ц}$ - длительность ремонтного цикла, год;
 β_1, β_2 - постоянные коэффициенты.

4. Затраты на электроэнергию

$$C_{эi} = \frac{1}{\Pi_{max i}} \frac{N K_0 K_N K_B \zeta \zeta_э}{\zeta K_{вp}} B = \frac{1}{\Pi_{max i}} C'_{э} B \left(\frac{руб}{м^2} \right), \quad (8)$$

где N - мощность электродвигателя, квт;
 ζ - к.п.д.;
 $\zeta_э$ - цена 1 квт/час электроэнергии, руб;
 $K_0; K_N; K_B; K_{вp}$ - постоянные коэффициенты.

5. Затраты на использование помещения

$$C_{п} = \frac{1}{\Pi_{max i}} \frac{S_{од} K_f C_k}{F_2} B = \frac{1}{\Pi_{max i}} C'_п B \left(\frac{руб}{м^2} \right), \quad (9)$$

где $S_{од}$ - площадь, занимаемая станком, м²;
 K_f - коэффициент, учитывающий дополнительную площадь под станок;
 C_k - расходы на 1 м² площади; руб/год.

6. Затраты на режущий инструмент

$$C_{Ri} = \frac{C_{ри}}{n+1} K_y \frac{60}{T_i} \frac{1}{\Pi_{max i}} = \frac{C'_R}{T_i} - \frac{1}{\Pi_{max i}} \left(\frac{руб}{м^2} \right), \quad (10)$$

где $C_{ри}$ - стоимость одного инструмента, руб;
 n - количество переточек;
 K_y - коэффициент естественной убыли;
 T_i - стойкость, мин.

7. Затраты на использование капиталовложений

$$C_k = \frac{1}{\Pi_{max i}} \varepsilon_n \frac{1}{F_2} (S_{од} K_f \zeta \zeta_э + K_{об} + C_m) B = \frac{1}{\Pi_{max i}} C'_k B \left(\frac{руб}{м^2} \right), \quad (11)$$

где ϵ_n - коэффициент эффективности капитальных вложений;
 h - высота здания цеха, м;
 C_3 - цена 1 м³ зданий, руб;
 C_m - стоимость монтажа оборудования (руб).

В. Затраты на "труд на общество"

$$C_o = \frac{1}{\Pi_{\max i}} K_m C_{32} K_{дн} \alpha \beta B = \frac{1}{\Pi_{\max i}} C'_o B \left(\frac{p_{уб}}{M^2} \right), \quad (12)$$

где K_m - коэффициент "труда на общество".

При наличии других элементов затрат их всегда можно представить в общем виде

$$C_{y_i} = \frac{1}{\Pi_{\max i}} KB \quad \text{или} \quad \frac{1}{\Pi_{\max i}} K,$$

где K - величина постоянная, не зависящая от режима резания. Таким образом, уравнение народнохозяйственных затрат можно записать в виде

$$C_{нхi} = \frac{1}{\Pi_{\max i}} \left[(C'_3 + C'_a + C'_p + C'_3 + C'_n + \sum_{k=1}^n K_k + C'_k + C_o) B + \frac{C_R}{T_i} \right] \left(\frac{p_{уб}}{M^2} \right), \quad (13)$$

Если из уравнения (13) отбросить член C_o , то мы будем иметь уравнение приведенных затрат на обработку $C_{п}$, если же отбросить члены C_o и C_R , то будем иметь уравнение себестоимости обработки C_x . От режима резания в уравнении (13) зависят члены $\Pi_{\max i}$; B ; T . Следовательно, уравнение (13) в виде функции, зависящей от режима резания можно записать как

$$C_{нхi} = \frac{1}{\Pi_{\max i}} \left(B B + \frac{C_R}{T_i} \right) \left(\frac{p_{уб}}{M^2} \right) \quad (14)$$

или

$$C_{нхi} = \frac{1}{A_i} \left(B B + \frac{\Gamma}{T_i} \right) \left(\frac{p_{уб}}{M^2} \right)$$

Уравнение (14) можно переписать в виде

$$C_{нхi} = \frac{1}{\Pi_{\max i}} \left[B \frac{(T+t_{om}) \frac{1000}{T_i V_i S} + t_{доп}}{(T+t_{cm}) \frac{1000}{T_i V_i S}} + \frac{C_R}{T_i} \right] \left(\frac{p_{уб}}{M^2} \right) \quad (14a)$$

Уравнение (14a) является уравнением точного расчета, но оно очень громоздко. В уравнении (14) как величина t шт, так и t шт.к зависят от режима резания, однако их отношение $B = \frac{t_{шт.к}}{t_{шт}}$ зависит в меньшей степени и может быть принято постоянным.

В этом случае уравнение затрат принимает очень простой вид

$$C_{нхi} = \frac{1}{\Pi_{\max i}} \left(B B + \frac{C_R}{T_i} \right) \left(\frac{\text{Руб}}{\text{м}^2} \right), \quad (146)$$

где $B = \text{const}$ и $B = \text{const}$.

Уравнение (146) является основным уравнением инженерного метода.

При замене оборудования изменяется величина B , при замене детали - B , при изменении режима - A и T , при замене инструмента A, Γ и T_i . При использовании других экономических критериев оптимальности уравнение затрат можно всегда привести к виду (14) или сходному по форме.

Последовательность расчета по инженерной методике следующая:

1. По исходной экспериментальной зависимости $T = f(V)$ строится по формуле (2) зависимость $\Pi_{\max} = f(V)$.

2. Значение величины B удобно брать при скорости, соответствующей экстремуму $\Pi_{\max} = f(V)$, поскольку он уже найден в пункте 1.

$$B = \frac{t_{\text{шт.к}}}{t_{\text{шт}}} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{\text{шт}} + t_{\text{см}})}{\sum_{i=1}^n t_{\text{шт}}} = 1 + \frac{t_{\text{доп}} n}{\sum_{i=1}^n t_{\text{шт}}};$$

$$\sum_{i=1}^n t_{\text{шт}} = \frac{1}{\Pi_{\max} (\text{экстремальное})} \quad n = \frac{1}{S_{\text{дет}}},$$

где $S_{\text{дет}}$ - площадь поверхности одной детали, м^2 ;

n - количество деталей;

$t_{\text{доп}}$ - дополнительное время на одну деталь.

3. По формуле (4) строится зависимость $\Pi_p = f(V)$.

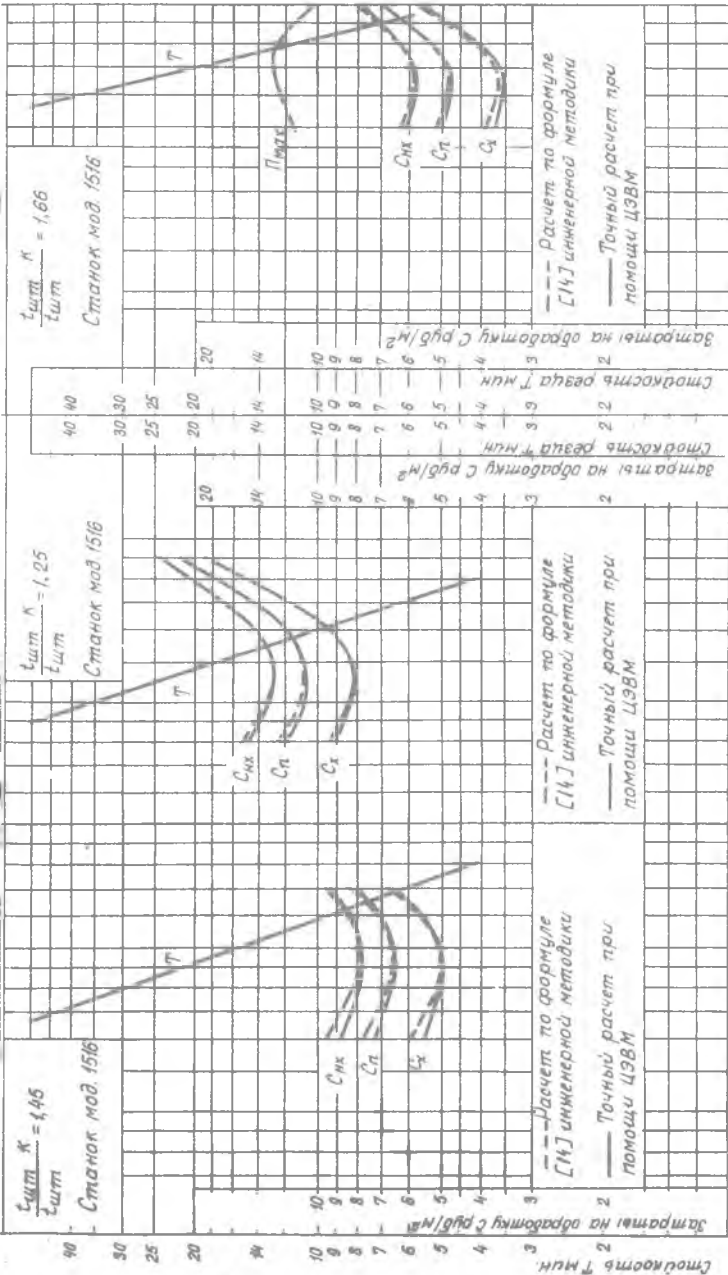
4. Определяется величина B

$$B = C'_z + C'_a + C'_p + C'_n + \sum_{k=1}^n K_k + C'_k + C'_o.$$

5. По формуле (14) и предварительно вычисленным значениям Π_{\max} строится по точкам зависимость $C_{нх} = f(V)$.

Основным допущением, приводящим к снижению точности расчета, является принятие величины $B = \text{const}$.

Для того, чтобы оценить величину возникающей при этом ошибки, была составлена программа точного просчета экономических режимов обработки на ЦВМ.



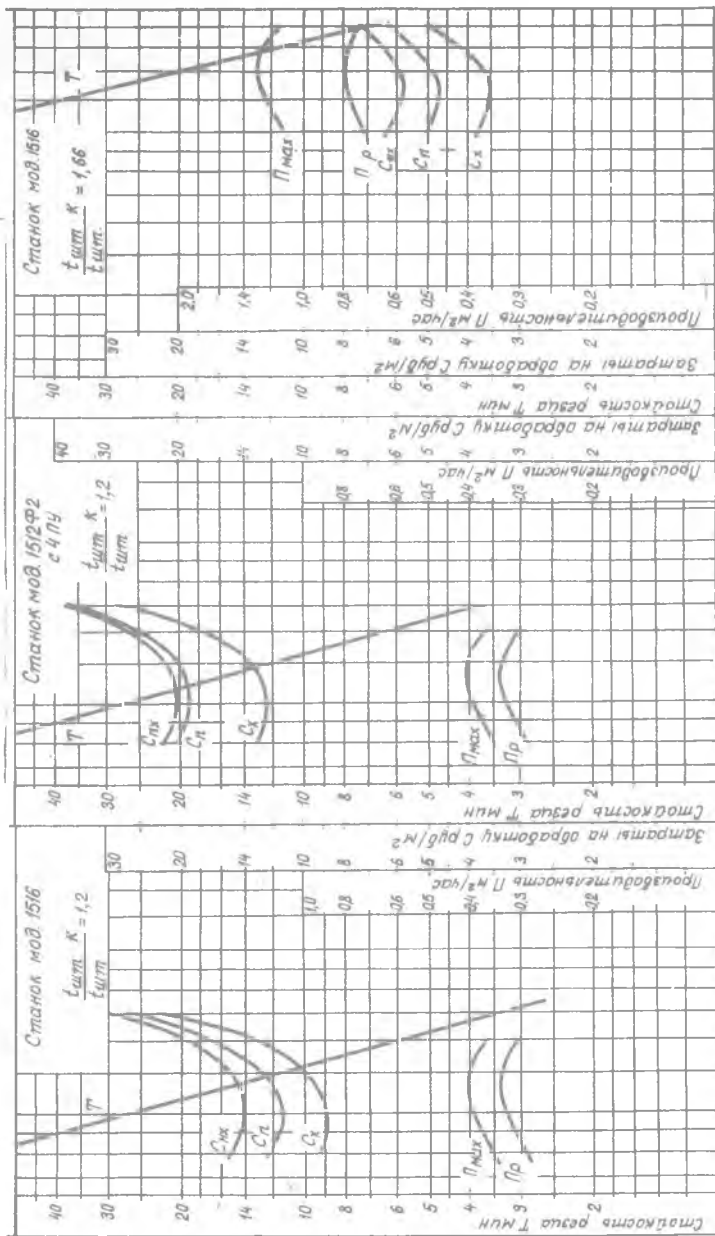
И 20 30 40 50 60 70 80
 Скорость резания v м/мин

И 20 30 40 50 60
 Скорость резания v м/мин

И 20 25 30 40 50 60 70 80
 Скорость резания v м/мин

Рис. 1. Обрабатываемый материал ВТ9. Резец ВК8. Охлаждение воздушное:

- а) $\alpha = 15^\circ$, $\gamma = 3^\circ$, $\gamma = 45^\circ$, $t = 2,5$ мм, $s = 0,4$ мм/об;
- б) $\alpha = 15^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\gamma = 45^\circ$, $t = 5$ мм, $s = 0,4$ мм/об;
- в) $\alpha = 15^\circ$, $\gamma = 3^\circ$, $\gamma = 20^\circ$, $t = 2,5$, $s = 0,4$ мм/об



16 20 25 30 40 50
 Скорость резания V м/мин

16 20 25 30 40 50
 Скорость резания V м/мин

30 40 50 60 70 80 90
 Скорость резания V м/мин

Рис. 2. Обрабатываемый материал ВТ9. Резец ВК8. Охлаждение воздушное:

в) и б) Обработка по корке, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 5^\circ$, $\gamma = 45^\circ$,
 $f = 5$ мм, $s = 0,4$ мм/об

в) Получистовая обработка, $\alpha = 15^\circ$, $\gamma = 3^\circ$, $\gamma = 20^\circ$,
 $f = 2,5$ мм, $s = 0,4$ мм/об

Результаты расчета представлены на рис. 1 (сплошные линии). Для сравнения были рассчитаны те же режимы и для тех же условий по формуле (14) (пунктирные линии).

По экспериментальным данным стойкости инструмента в условиях обработки титановых сплавов на разных режимах и оборудовании (всего 10 вариантов) просчитывались зависимости затрат по критериям

$$C_x; C_n; C_{нх}.$$

На рис. 1 приводятся случаи наибольших отклонений. Как было выяснено в результате просчета, формула (14) всегда дает несколько завышенные (по уровню затрат) значения, причем максимальная ошибка внутри диапазона скоростей $V - 2V$ не превышает 7% и наблюдается на краях выбранного диапазона скоростей. В районе экстремума $P_{max} = f(V)$ ошибка отсутствует, в районе экстремумов $C_x = f_1(V)$; $C_n = f_2(V)$; $C_{нх} = f_3(V)$ ошибка, как правило, не превышает 1% и зависит от стоимости выбранного оборудования. Примеры оформления результатов расчетов представлены на рис. 2. Несмотря на кажущуюся громоздкость метод весьма прост, и применение его значительно облегчает и сокращает объем расчетных работ.

Л и т е р а т у р а

1. Великанов К.М., Нрвожилов В.Н. Экономические режимы резания металлов. Л., "Машиностроение", 1972.

А.Д.Макаров, В.С.Мухин, В.М.Китуров

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ПО ИХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ

В работе рассмотрено влияние прочностных свойств никелевых сплавов и количества упрочняющей фазы в них на оптимальную скорость резания

V_0 и оптимальную стойкость режущего инструмента T_0 . Обработка производилась применительно к чистовому точению ($t = 0,50$ мм; $S = 0,09$ мм/об) резаками ВК6М ($\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; $\gamma = 0^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $r = 0,50$ мм). В качестве исследуемых материалов была взята группа жаропрочных деформируемых никелевых сплавов ЭИ437А, ЭИ437ВУ, ЭИ617, ЭИ826, ЭИ929, ЭИ220, упрочняющихся вслед-