

УДК 621.9: 658.5

Т. Г. Ивченко, канд. техн. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет
Тел.: +38 (062) 3050104; E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО РАЗЛИЧНЫМ КРИТЕРИЯМ ОПТИМИЗАЦИИ

Представлены результаты оптимизации периода стойкости режущего инструмента по критериям максимальной производительности, минимальной себестоимости и их мультипликативной свертки. Установлены оптимальные периоды стойкости, обеспечивающие наилучшее сочетание критериев производительности и себестоимости. Обоснованы коэффициенты взаимосвязи между оптимальными периодами стойкости, рассчитанными по различным критериям оптимизации.

Ключевые слова: инструмент, стойкость, производительность, себестоимость, оптимизация

T. G. Ivchenko

DETERMINATION OF OPTIMUM CUTTING TOOL LIFE OF THE CUTTING TOOL ON DIFFERENT CRITERIA OF THE OPTIMIZATION

The results of the optimization of the cutting tool life of the cutting tool on the criteria of burst performance, minimum prime price and their multiplicative association are presented. The optimum cutting tool life providing the best combination of criteria of the productivity and prime price are set. The coefficients of intercommunication between of the cutting tool life expected on the different criteria of optimization are grounded.

Keywords: cutting tool, cutting tool life, productivity, prime price, optimization.

1. Введение

Повышение эффективности механической обработки деталей машин является актуальной задачей современного машиностроительного производства. Наиболее успешно эта задача решается на основе оптимизации параметров процессов резания и условий эксплуатации режущего инструмента.

В настоящее время достаточно хорошо разработаны методы однокритериальной оптимизации режимов резания по критериям максимальной производительности и минимальной себестоимости [1]. В ряде работ обоснована целесообразность многокритериальной оптимизации одновременно по нескольким критериям, в том числе с использованием мультипликативной свертки критериев, позволяющих различные критерии оптимизации привести к единому критерию, обеспечивающему наилучшее сочетание каждого из них [2, 3]. Методика оптимизация режимов резания с использованием метода геометрического программирования, представленная в этих работах, дает аналитическое решение для определения оптимальных режимов резания в зависимости от условий обработки. Однако, в этих работах не решены задачи обоснования оптимального периода стойкости режущего инструмента.

Известно, что решению задачи определения оптимальных режимов резания предшествует задача обоснования оптимального периода стойкости режущего инструмента. Для наиболее распространенных критериев оптимизации - максимальной производительности и минимальной себестоимости установлены аналитические зависимости оптимального периода стойкости режущего инструмента от условий обработки, в том числе и с учетом случайного характера стойкости режущего инструмента [4, 5].

Оптимальные периоды стойкости, рассчитанные по различным критериям, существенно отличаются друг от друга и при обеспечении экстремального уровня одного

из критериев оптимизации, существенно ухудшается другой.

Представляет интерес исследовать возможности использования мультипликативной свертки критериев максимальной производительности и минимальной себестоимости применительно к оптимизации периода стойкости режущего инструмента с обеспечением одновременного улучшения параметров процесса резания по каждому из них.

Цель представляемой работы – совершенствование методики определения оптимального периода стойкости режущего инструмента на основании мультипликативной свертки критериев максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки.

2. Основное содержание и результаты работы

При однокритериальной оптимизации в качестве критериев традиционно рассматриваются переменные части производительности и себестоимости обработки, зависящие от режимов резания [4, 5].

Целевые функции, выражающие зависимость критериев производительности $P(T)$ и себестоимости $C(T)$ от параметра оптимизации T , выражаются следующим образом:

$$P(T) = C(T^m + t_c T^{m-1})^{-1}; \quad C(T) = C(T^m + c T^{m-1}), \quad (1)$$

где $C = \pi D L t^{x_v} S^{y_v} V^{-1} / 1000 C_V K_V$, $c = t_c + A'/A$ – постоянные коэффициенты; t_c – время смены инструмента; D – диаметр обрабатываемой поверхности; L – длина обработки; V – скорость резания; S – подача; C_V, K_V – коэффициенты и x_v, y_v, m – показатели, которые характеризуют степень влияния глубины t , подачи S и стойкости T на скорость резания V , определяемые в зависимости от условий эксплуатации; $c = A'/F$; A – стоимость станко-минуты; A' – стоимость инструмента, приведенная к одному периоду стойкости.

Для указанных критериев оптимизации оптимальные по производительности T_{oP} и себестоимости T_{oC} периоды стойкости инструмента определяются известными зависимостями [4, 5]:

$$T_{oP} = (1/m - 1)t_c; \quad T_{oC} = (1/m - 1)(t_{\tilde{n}} + c). \quad (2)$$

Для сравнительного анализа различные целевые функции – производительности и себестоимости целесообразно представить в относительном виде, приняв в качестве базы для сравнения значения этих функций при оптимальных по каждому из критериев периодах стойкости инструмента:

$$K_P(T) = \frac{P(T)}{P_{max}(T_{oP})} = \frac{(T^m + t_c T^{m-1})^{-1}}{(T_{oP}^m + t_c T_{oP}^{m-1})^{-1}} = \frac{(T^m + t_c T^{m-1})^{-1}}{\left[\left(\frac{1}{m} - 1 \right)^{m-1} \frac{t_c^m}{m} \right]^{-1}}. \quad (3)$$

$$K_C(T) = \frac{C(T)}{C_{min}(T_{oC})} = \frac{(T^m + cT^{m-1})}{(T_{oC}^m + cT_{oC}^{m-1})} = \frac{(T^m + cT^{m-1})}{\left[\left(\frac{1}{m} - 1\right)^{m-1} \frac{(t_c + c)^m}{m}\right]} \quad (4)$$

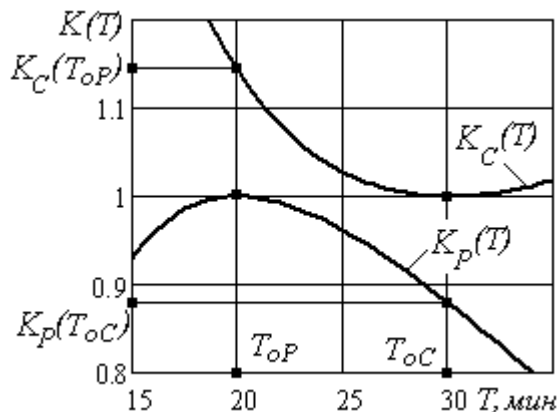


Рисунок 1. Зависимости относительных целевых функций производительности и себестоимости обработки от периода стойкости инструмента

Графики изменения относительных целевых функций (3), (4) в зависимости от периода стойкости инструмента (рис. 1) иллюстрируют наличие экстремумов: минимума у функции себестоимости $K_C(T)$ и максимума у функции производительности $K_P(T)$.

Оптимальный по себестоимости период стойкости T_{oC} обеспечивает минимум себестоимости ($K_C(T_{oC}) = 1$), но снижает производительность в 1,14 раза ($K_P(T_{oC}) = 0,88$). Оптимальный по производительности период стойкости T_{oP} обеспечивает максимум производительности ($K_P(T_{oP}) = 1$), но повышает себестоимость в 1,15 раза ($K_C(T_{oP}) = 1,15$). То есть при обеспечении экстремального уровня одного из критериев, существенно ухудшается другой.

Графики построены для следующих условий: $m = 0,2$; $t_c = 5$ мин; $c = 2,5$ мин ($A' = 5$ коп, $A = 2$ коп/мин).

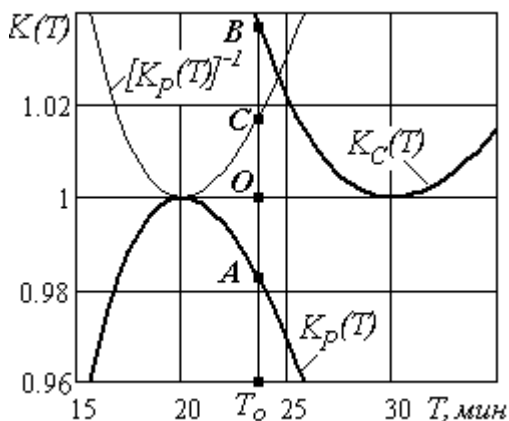


Рисунок 2. К оценке минимальных потерь относительных целевых функций производительности и себестоимости в зависимости от периода стойкости инструмента

Относительная функция потерь $F(T)$ в зависимости от периода стойкости T может быть выражена следующим образом:

$$F(T) = \frac{K_C(T) - K_P(T)}{K_P(T)} \quad (5)$$

Минимальных потерь каждой из относительных целевых функций - производительности и себестоимости можно достичь, когда сумма их отклонений от 1 в некоторой точке T_o (рис. 2) будет минимальной ($AO + OB \rightarrow \min$):

$$(K_C(T_o) - 1) + (1 - K_P(T_o)) = K_C(T_o) - K_P(T_o) \quad (6)$$

Учитывая, что $AO = OC$ выражение (6) можно заменить следующим:

$$(K_C(T_o) - 1) + \left([K_P(T_o)]^{-1} - 1\right) = K_C(T_o) + [K_P(T_o)]^{-1} - 2 \quad (7)$$

Такая замена позволяет аналитически вычислить оптимальное значение периода стойкости T_o , обеспечивающее экстремум полученной функции (7), что будет обеспечивать также и экстремум функции потерь (5), исходя из условия:

$$\frac{d(T^m + t_c T^{m-1} + k(T^m + cT^{m-1}))}{dT} = 0; k = \frac{C(T_{oC})}{P(T_{oP})} = \left(1 + \frac{c}{t_c}\right)^m. \quad (8)$$

$$T_o = \left(\frac{1}{m} - 1\right) \left[t_c + c \left(1 + \left(1 + \frac{c}{t_c}\right)^m\right)^{-1} \right]. \quad (9)$$

Для обеспечения наилучшего сочетания критериев производительности и себестоимости, исходя из функции потерь $F(T)$ и исключая постоянные величины, целесообразно использовать критерий оптимизации, представляющий собой мультипликативную свертку критериев, а именно – отношение критериев себестоимости и производительности, для каждого из которых потери будут минимальными. В этом случае целевая функция имеет вид:

$$M_{PC}(T) = \frac{C(T)}{P(T)} = \frac{(T^m + cT^{m-1})}{(T^m + t_c T^{m-1})^{-1}}. \quad (10)$$

Для указанной целевой функции оптимальный период стойкости, обеспечивающий ее минимум – $T_{oM} = T_o$ (9).

В том случае, когда функция производительности рассматривается без учета вспомогательного времени на смену инструмента, мультипликативная свертка критериев производительности и себестоимости $N_{PC}(T)$, а также оптимальный период стойкости T_{oN} , обеспечивающий ее минимум, определяются следующим образом:

$$N_{PC}(T) = \frac{(T^m + cT^{m-1})}{(T^{-m})}; T_{oN} = \left(\frac{1}{2m} - 1\right)(t_{\bar{n}} + c). \quad (11)$$

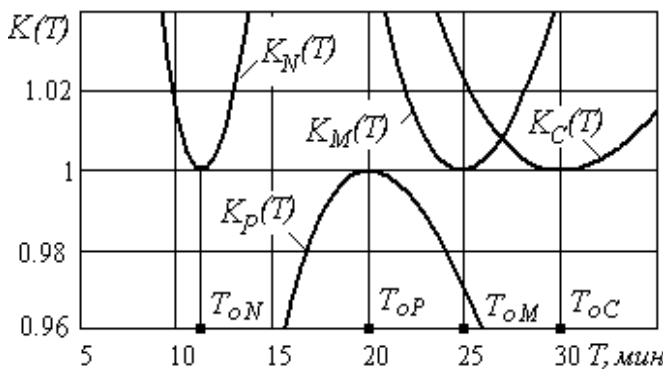


Рисунок 3. Зависимости различных относительных целевых функций от периода стойкости инструмента

Графики изменения относительных целевых функций в зависимости от периода стойкости инструмента (рис. 3) иллюстрируют наличие минимума у мультипликативных сверток функций себестоимости и производительности $K_M(T) = M_{PC}(T)/M_{PC}(T_{oM})$ и $K_N(T) = N_{PC}(T)/N_{PC}(T_{oN})$.

Для указанных ранее условий оптимальные по различным критериям периоды стойкости инструмента: $T_{oC} = 30$ мин; $T_{oM} = 24,8$ мин; $T_{oP} = 20$ мин; $T_{oN} = 11,3$ мин.

Взаимосвязи между оптимальными периодами стойкости, рассчитанными по различным критериям оптимизации

ции, могут быть определены с помощью коэффициентов $k_i = T_{oi}/T_{обаз}$. Если в качестве базового оптимального периода стойкости $T_{обаз}$ принимается период стойкости, оптимальный по критерию себестоимости, то коэффициенты $k_N = T_{oN}/T_{oC}$, $k_P = T_{oP}/T_{oP}$, $k_M = T_{oM}/T_{oM}$ определяют снижение различных оптимальных периодов стойкости в сравнении с периодом, оптимальным по себестоимости.

$$k_N = \frac{T_{oN}}{T_{oC}} = \left(\frac{1}{2m} - 1\right)(t_c + c) / \left(\frac{1}{m} - 1\right)(t_c + c) = \frac{2m-1}{2(m-1)};$$

$$k_P = \frac{T_{oP}}{T_{oC}} = \left(\frac{1}{m} - 1\right)t_c / \left(\frac{1}{m} - 1\right)(t_c + c) = 1 / \left(1 + \frac{c}{t_c}\right);$$

$$k_M = \frac{T_{oM}}{T_{oC}} = \left[1 + \frac{c}{t_c} \left(1 + \left(1 + \frac{c}{t_c}\right)^m\right)^{-1}\right] / \left(1 + \frac{c}{t_c}\right).$$

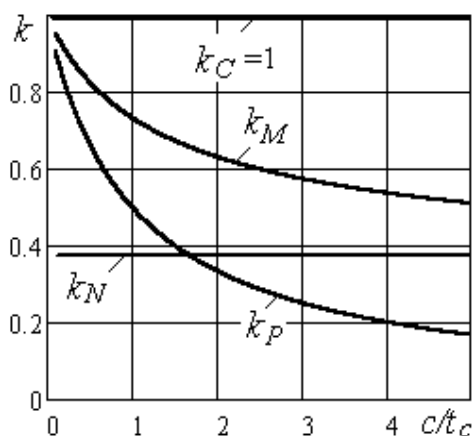


Рисунок 4. Зависимости коэффициентов снижения оптимальных по различным критериям периодов стойкости инструмента от параметра c/t_c

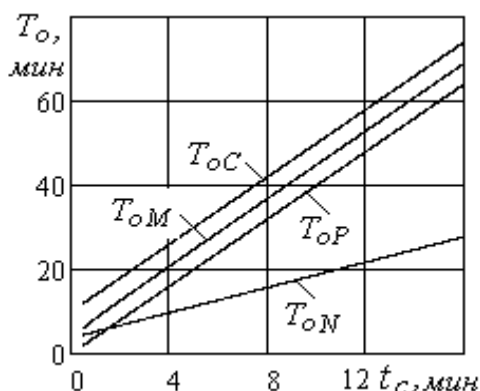


Рисунок 5. Зависимости оптимальных по различным критериям периодов стойкости инструмента от времени его смены

Графики изменения установленных коэффициентов снижения оптимальных по различным критериям оптимизации периодов стойкости инструмента в зависимости от безразмерного параметра c/t_c ($c = A'/A$ - соотношение стоимости одного периода стойкости инструмента A' , стоимости станко-минуты A , и времени смены инструмента t_c) представлены на рис. 4.

С увеличением параметра c/t_c разница между различными оптимальными периодами стойкости и оптимальным периодом по себестоимости существенно увеличивается. При этом оптимальные периоды стойкости снижаются, обеспечивая для прочих равных условий более высокий уровень критерия оптимизации. Увеличение параметра c/t_c может быть достигнуто за счет снижения времени смены инструмента t_c , а также снижения стоимости одного периода стойкости инструмента или увеличения стоимости станко-минуты.

Установленные коэффициенты (12) позволяют для любых условий эксплуатации режущего инструмента на основании периода стойкости, оптимального по себестоимости, определять оптимальные периоды для любых критериев оптимизации.

Для указанных ранее условий коэффициенты снижения оптимальных по различным критериям оптимизации периодов стойкости инструмента в сравнении с периодом стойкости, оптимальным по себестоимости ($c/t_c = 0,5$): $k_N = 0,38$; $k_P = 0,67$; $k_M = 0,83$; $k_C = 1$.

При эксплуатации инструмента в заданных

условиях, когда в формулах оптимальных периодов стойкости (2), (9), (11) показатель относительной стойкости t и параметр c постоянны, основной влияющий на оптимальные периоды параметр - время смены инструмента.

Графики зависимости оптимальных периодов стойкости от времени смены инструмента представлены на рис. 5.

Для всех рассмотренных критериев оптимизации (1), (10), (11) время смены инструмента весьма существенно влияет на оптимальные периоды стойкости и прямо пропорционально их увеличивает.

При выборе режущих инструментов предпочтение следует отдавать быстросменным инструментам с минимально возможным временем их восстановления. Это обеспечит более низкий уровень оптимальных периодов стойкости инструмента и позволит за счет увеличения при этом режимов резания, их обеспечивающих, достичь более высокой производительности и более низкой себестоимости обработки.

Выводы. Таким образом, на основании выполненных исследований обосновано существование критериев оптимизации, обеспечивающих наилучшее сочетание критериев производительности и себестоимости и представляющих собой мультипликативную свертку этих критериев, а именно – отношение критериев себестоимости и производительности.

Впервые установлены аналитические зависимости оптимальных периодов стойкости инструмента от параметров процесса резания по мультипликативному критерию, обеспечивающие минимальные потери производительности и себестоимости при эксплуатации режущего инструмента.

Обоснованы коэффициенты взаимосвязи между оптимальными периодами стойкости инструмента, рассчитанными по различным критериям оптимизации.

Представленная методика позволяет для любых условий обработки выполнять расчеты оптимальных периодов стойкости по различным критериям, в том числе по мультипликативным критериям, обеспечивающим наилучшее сочетание критериев максимальной производительности и минимальной себестоимости обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков, В. К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков. - М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.
2. Ивченко, Т. Г. Использование мультипликативных критериев при оптимизации режимов резания / Т. Г. Ивченко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ: ДДМА. - 2012. - № 30. – С. 325 - 330.
3. Петряева, И. А. Оптимизация режимов чистового точения на основании мультипликативной свертки критериев производительности и себестоимости / И. А. Петряева, Т. Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: – Донецк: ДонНТУ. - 2016. - № 1 (52). – С. 146 - 150.
4. Ивченко, Т. Г. Оптимизация режимов резания с учетом случайного характера стойкости режущего инструмента // Т.Г. Ивченко // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк: ДонНТУ. - 2017. - №4 (59). – С. 24 - 30.
5. Михайлов, А. Н. Научно-обоснованная оптимизация стойкости режущего инструмента по критерию себестоимости. / А. Н. Михайлов, Т. Г. Ивченко, // Научные технологии в машиностроении. - Брянск: БГТУ. - 2018. - № 5. – С. 3 - 9.

Поступила в редколлегию 12.01.2020 г.