

Е. В. Мироненко, д-р техн. наук, Л. В. Васильева, канд. техн. наук,
А.В. Колесник, Краматорск, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА СРЕДНИХ ТОКАРНЫХ СТАНКАХ

Досліджуються питання аналізу критеріїв оптимальності процесу механічної обробки на середніх токарних верстатах. Розроблені принципи вибору множин ефективних рішень, які розбиваються на групи, що відповідають заданим умовам обробки.

Исследуются вопросы анализа критериев оптимальности процесса механической обработки на средних токарных станках. Разработаны принципы выбора множеств эффективных решений и разбиения их на группы, соответствующие заданным условиям обработки.

*E. V. MIRONENKO, L. V. VASIL'EVA, A.V. KOLESNIK
RESEARCH OF AN PROCESS OPTIMALITY CRITERIA OF PROCESSING ON AVERAGE
LATHES*

Investigate questions of optimality criteria analysis process of machining on medium lathes. The principles of selecting the set of efficient solutions, which are divided into groups that match the conditions of processing.

Оптимизация процесса механической обработки представляет сложную научную проблему при эксплуатации средних токарных станков.

Согласно требованиям системного подхода вначале необходимо выявить достаточно полную номенклатуру критериев, обеспечивающих эффективность механической обработки деталей на средних токарных станках. При этом необходимо рассматривать их с точки зрения возможности установления связи с управляющими переменными, то есть получения целевых функций.

Методика оптимизации может рассматриваться для решения двух задач [1]:

1. Общая задача. Решается вопрос о разработке нормативов режимов резания, типовой технологии, покупке или проектировании системы инструментов для определенной группы оборудования, получение исходных данных для САПР ТП и т. д.

2. Ситуационная задача. Решается вопрос об обработке конкретной детали на данном станке с учетом производственной ситуации: сроков поставки, наличия инструмента. Предусматривается в дальнейшем для ПЭВМ, установленного непосредственно на станке или внедренного в АРМ мастера.

Последовательность исследований состоит из нескольких этапов:

1 этап. Определение представительного семейства критериев оптимальности и их весомостей.

2 этап. Получение моделей исходных функций для оптимизации.

3 этап. Изучение целевых функций и их минимумов.

4 этап. Изучение множества эффективных решений.

5 этап. Изучение влияния условий обработки и условий производства на эффективные решения.

6 этап. Изучение влияния моделей целевых функций на эффективные решения.

Первый этап может осуществляться с помощью как теоретических, так и экспертных методов. В [2] был обоснован выбор представительного семейства критериев оптимальности процесса резания для трех случаев обработки на средних токарных станках. При черновом точении было рекомендовано использовать критерии: затраты на обработку A , штучное время (величина, обратная производительности) $t_{ум}$, напряженность труда станочника H_P , расход твердого сплава R_c и в отдельных случаях – расход инструмента (кроме режущих пластин) R_{II} . Для условий чистовой обработки автоматизированного производства к первым трем критериям (A , $t_{ум}$, H_P) добавляется требование надежности процесса – коэффициент вариации стойкости W_T , в отдельных случаях – отношение гамма-процентной стойкости к средней T_γ/T , причем R_c и R_{II} для упрощения задачи могут не использоваться. В [3] такой подход использовался при исследовании принципов создания агрегатно-модульного инструмента и оптимизации принятия решений в механообработке [4].

Значения критериев оптимальности процесса механообработки, функций – показателей надежности и переменных при различных минимумах существенно отличаются, что делает задачу типично многокритериальной.

Рассматривалась следующая задача многокритериального нелинейного программирования:

$$\min_{x \in X(O, O)} f(x),$$

где $X(y, v) = \{x \in Q \subset R^n : g(x) \leq y, h(x) = v\}$; Q – непустой компакт; $f(x)$, $g(x)$, $h(x)$ – непрерывные вектор-функции, $f: Q \rightarrow R^{m+1}$; $g: Q \rightarrow R^p$; $h: Q \rightarrow R^s$. Множество Q задается параллелепипедными ограничениями: $Q = \{x \in R^n : a \leq x \leq b\}$, где $b \in R^n$ – векторы констант, $a < b$. Решение задачи (2.1) не единственно, так как в пространстве значений критериев можно определить только отношение частичного порядка. Множество решений задачи определяется как минимальное множество относительно данного частичного порядка. Множество слабо эффективных оценок – $S(O, O)$, эффективных оценок – $P(O, O)$, собственно эффективных оценок – $G(O, O)$. $G(O, O) \subset P(O, O) \subset S(O, O)$. Точка x_0 , соответствующая слабо

эффективной, эффективной или собственно эффективной оценке z_0 (такой, что, $x_0 \in f^{-1}(z_0)$) называется соответственно слабо эффективным, эффективным или собственно эффективным решением задачи многокритериальной оптимизации. Наиболее удобным для использования является множество слабо эффективных оценок. Это множество представляется как график некоторой функции чувствительности, которая описывает устойчивость задачи нелинейного программирования с одним критерием к возмущению правых частей функциональных ограничений. Как только задан принцип многокритериального выбора, становится возможным, при некоторых условиях, обобщить все соответствующие методы нелинейного программирования на задачи многокритериальной оптимизации. В работе использовались методы нелинейного программирования и многокритериального нелинейного программирования, заключающиеся в сведении исходной задачи к последовательности задач безусловной оптимизации и, путем введения свертывающих функций, к однокритериальной оптимизации. Использовались два основных способа поиска экстремума при одномерной оптимизации: метод спуска и метод штрафных функций. Многокритериальный выбор является задачей более высокого уровня в следующем смысле: предполагается, что все получаемые точки x_i удовлетворяют системе функциональных ограничений $x_i \in X(O, O)$, а также принадлежат множеству слабо эффективных решений ($f(x_i) \in S(O, O)$), требуется выбирать различные оценки $f(x_1), f(x_2), \dots$ из множества оптимальных оценок. Когда принцип выбора уже определен (например, оценка должна быть ближайшей к целевой точке), вопрос сводится к построению свертывающей функции соответствующего вида.

Для сравнения должны использоваться «наиболее противоречивые» критерии, для которых отношения значения первого при минимуме второго к абсолютному минимуму первого будет максимальным. Такие критерии являются контрастными. Так, отношение $A_{h\min} / A_{\min} = 1,62$, отношение $t_{umH\min} / t_{um\min} = 3,66$, отношение $H_{t_{um\min}} / H_{\min} = 7,75$ и отношение $R_{c_{t_{um\min}}} / R_{c_{\min}} = 3,13$. Сравним значения некоторых переменных для контрастных критериев: $h_{t_{um\min}} / h_{H\min} = 1,87$ и $s_{t_{um\min}} / s_{H\min} = 5,0$.

Чтобы определить, как меняются переменные, некоторые показатели надежности и критерии при переходе от минимума одного критерия к минимуму другого, критерии рассматривались в порядке снижения производительности труда, а для графического представления материала в качестве аргумента был выбран критерий t_{um} . С ростом t_{um} , то есть по мере перехода от безусловного минимума t_{um} к минимуму A , затем к минимуму R_c и минимуму H_p затраты умеренно снижаются и затем растут (рис. 1),

напряженность труда очень сильно падает и расход сплава сильно снижается и затем растет.

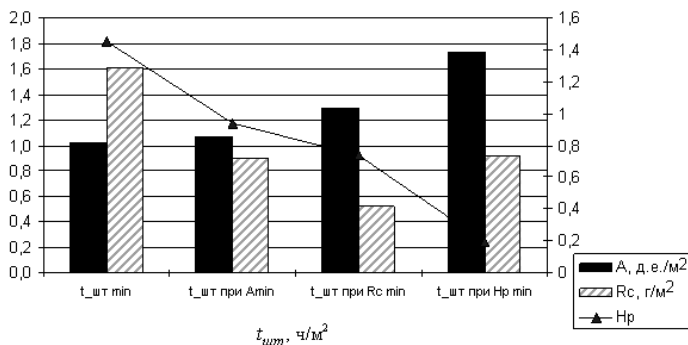


Рисунок 1 – Изменение значений критериев приведенных затрат (A), расхода твердого сплава (R_c , г/м²) напряженности труда (H_p) в порядке снижения производительности труда

Наиболее резкое падение напряженности труда понятно, так как $t_{шт}$ и H_p – контрастные критерии. В большинстве случаев сравнение именно этих критериев определяет выбор режимов резания рабочим, так как производительность определяет заработную плату, а напряженность труда – утомляемость и самочувствие рабочего.

Для определения точки компромисса удобным показателем является минимум затрат на обработку, тем более, что он в ряде случаев соответствует интересам фирмы и общества в целом.

Но A нельзя считать единственным критерием и ограничиться более простой однокритериальной оптимизацией, так как на практике выбор параметров резцов и режима резания хоть и колеблется около минимума затрат, но в зависимости от производственной ситуации смещается как в сторону большей производительности, так и меньшей напряженности труда. С ростом $t_{шт}$ вероятность поломок уменьшается (рис. 2), а период стойкости растет.

Из оптимизируемых переменных наиболее сильно уменьшается подача (рис. 3), умеренно снижается и затем сильно растет скорость резания.

Увеличение обоих параметров s и v положительно и в одинаковой степени влияет, уменьшая основное время, штучное время и, благодаря этому, уменьшая затраты. Степень же отрицательного влияния различна. Рост s увеличивает вероятность разрушения, что оказывает отрицательное влияние на многие функции и, в частности, на коэффициент вариации стойкости. Рост v

снижает стоимость, но положительно влияет на коэффициент вариации стойкости. Поэтому изменение s является однонаправленным и более резким.

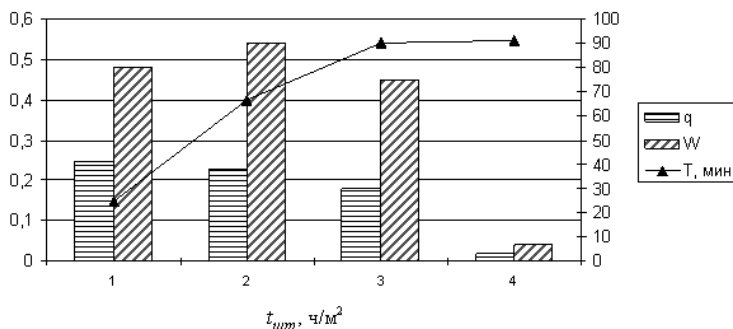


Рисунок 2 – Изменение параметров надежности при переходе от минимума одного критерия к минимуму другого в порядке снижения производительности труда

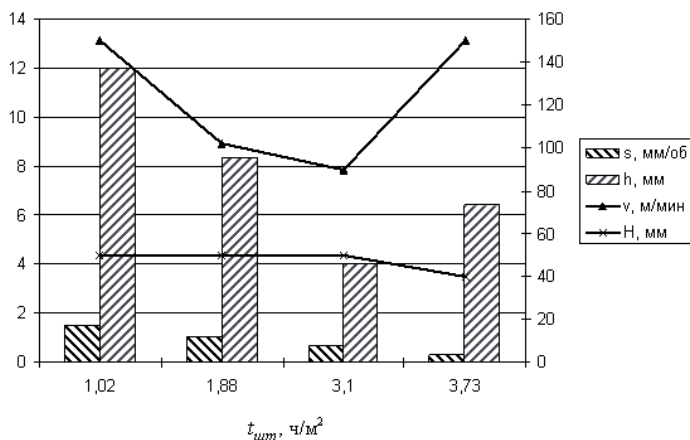


Рисунок 3 – Изменение оптимизируемых переменных при переходе от минимума одного критерия к минимуму другого

С ростом t_{\min} достаточно сильно снижается оптимальная толщина пластины. Это связано с тем, что с уменьшением подачи требуется меньшая прочность. Наименьшее значение h соответствует не $H_{P\min}$, а $R_{C\min}$, так как для последнего критерия h непосредственно влияет на целевую функцию.

Для поиска компромисса были рассмотрены множества эффективных решений в виде множеств Парето (рис. 4, 5), из которых наиболее важной

является кривая $t_{шт} - H_p$, т. к. она наиболее растянута и охватывает самый большой диапазон изменения переменных.

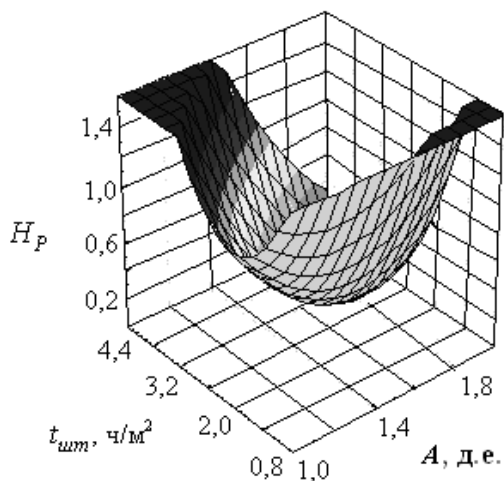


Рисунок 4 – Множество эффективных решений в пространстве критериев приведенных затрат, штучного времени и напряженности труда

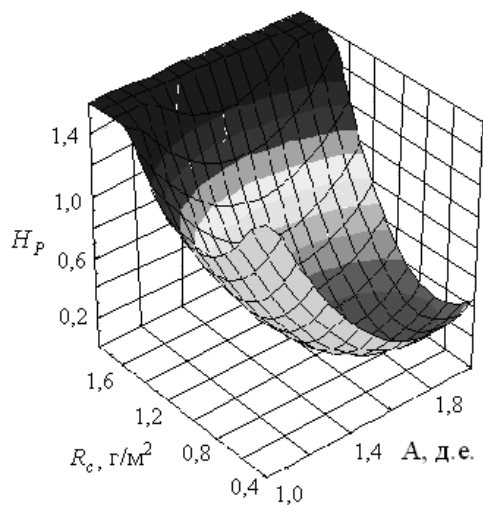


Рисунок 5 – Множество эффективных решений в пространстве критериев приведенных затрат, напряженности труда и расхода твердого сплава

Нанеся на кривой Парето $t_{um} - H_p$ проекции точек безусловного минимума A и R_c , ориентировочно можно разделить множество эффективных решений на 3 зоны: 1 – преимущественного значения производительности процесса резания, 2 – экономичности и 3 – напряженности труда и расхода инструмента.

Выводы: 1. На основе анализа целевых функций показано, что в большинстве случаев в пределах системы ограничений существует минимум критериев приведенных затрат, штучного времени (максимум производительности), напряженности труда, расхода твердого сплава, расхода комплектов инструмента, а следовательно – оптимальные по этому критерию значения переменных. Чувствительность оптимума такова, что систему оптимизации можно считать устойчивой к внешним возмущениям.

2. Значения критериев, показателей надежности и переменных при различных частных минимумах для точения на средних станках отличаются до 2-7 раз. Поэтому задача оптимизации является типично многокритериальной.

3. Сужение множества эффективных решений осуществляется путем его разбиения на группы. Наилучшие результаты показывает поиск компромисса при рассмотрении кривой Парето для самых контрастных критериев – производительности и напряженности труда.

Список использованных источников: 1. Краснокутская Л.В., Хаев Г.Л. Принятие решений при многокритериальной оптимизации // Надежность режущего инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. статей. – Краматорск: ДГМА, Вып. 6, 1996. – С.92–109. 2. Мироненко Е.В., Васильева Л.В. К определению весовости критериев при оптимизации выбора режущего инструмента и режимов резания // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ: ДДМА, Вип. 16, 2004. – С. 159–165. 3. Мироненко Е.В. Принципы создания агрегатно-модульного инструмента и оптимизации принятия решений в механообработке // Сучасні технології у машинобудуванні: Зб. наук. статей / За заг. ред. П.І. Грабченка. – Том 2. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – С. 211–220. 4. Мироненко Е.В., Васильева Л.В. Метод распознавания образов для системы принятия решений при механообработке // Вісник СевНТУ. Вип. 117. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – С. 102–105.

Поступила в редколлегию 16.04.2011

Bibliography (transliterated): 1. Krasnokutskaja L.V., Haev G.L. Prinjatje reshenij pri mnogokriterial'noj optimizacii // Nadezhnost' rezhwego instrumenta i opimizacija tehnologicheskix sistem. Sb. statej. – Kramatorsk: DGMA, Vyp. 6, 1996. – S.92–109. 2. Mironenko E.V., Vasil'eva L.V. K opredeleniju vesomosti kriteriev pri optimizacii vybora rezhwego instrumenta i rezhimov rezanija // Nadijnist' instrumentu ta optimizacija tehnologichnih sistem. – Kramators'k: DDMA, Vip. 16, 2004. – S. 159–165. 3. Mironenko E.V. Principy sozdanija agregatno-modul'nogo instrumenta i optimizacii prinjatija reshenij v mehanobrabotke // Suchasni tehnologii u mashinobuduvanni: Zb. nauk. statej / Za zag. red. P.I. Grabchenka. – Tom 2. – Harkiv: NTU «HPI», 2006. – S. 211–220. 4. Mironenko E.V., Vasil'eva L.V. Metod raspoznavanija obrazov dlja sistemy prinjatija reshenij pri mehanobrabotke // Visnik SevNTU. Vip. 117. – Sevastopol': SevNTU, 2011. – S. 102–105.