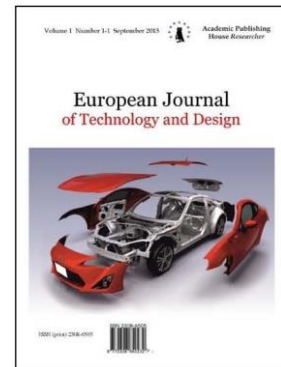


Copyright © 2017 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
 European Journal of Technology and Design
 Has been issued since 2013.
 ISSN: 2308-6505
 E-ISSN: 2310-3450
 2017, 5(2): 56-67

DOI: 10.13187/ejtd.2017.2.56
www.ejournal4.com



Solution of the Problem of Optimizing the Parameters of Metal Processing during the Turning Operation

Vyacheslav V. Limarenko ^{a, *}, Inna P. Havina ^a

^a National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Ukraine

Abstract

The formulation and solution of the problem of optimization of the parameters of metal processing during the turning operation are shown. The task is solved taking into account the level of accumulated wear on the back surface of the tool, the level of machine efficiency that depends on the operating modes and the period of economically effective tool life. The problem was solved in a multicriterial formulation with three objective functions taken into account, the solution was obtained as a Pareto optimal solution. During the solution, an artificial neural network perceptron and the genetic algorithm FFGA were applied. This approach allows solving the problems of optimization of real production.

Keywords: optimization of turning the operation parameters, the accumulated wear of the tool, cost-effective tool life, multi-objective optimization problem, the Pareto-optimal solution.

1. Введение

В последние годы проводится большое количество исследований, направленных на повышение эффективности технологических процессов (ТП) обработки металлов резанием (точение, фрезерование, сверление и т.д.). Одним из основных направлений совершенствования технологических процессов обработки резанием является применение приложений автоматизированного планирования и интеллектуальных систем управления производством, т.к. совершенствование технологических процессов обработки резанием за счет замены оборудования или инструмента является достаточно затратным и зачастую экономически не выгодным. Основным требованием, предъявляемым к системам интеллектуального управления производством, является использование современных компьютерных технологий для формирования и поддержки автоматизированного процесса планирования производства, оптимальное использование оборудования, эффективное прогнозирование операционного времени и наличие альтернативных вариантов ТП (Богуслаев, 2009; Кондаков, 2010; Кроть, 2013).

Технологический процесс механической обработки деталей резанием должен планироваться и выполняться таким образом, чтобы посредством применения наиболее рациональных и экономичных способов обработки удовлетворялись требования к качеству деталей (точность обработки, шероховатость поверхности, взаимное расположение осей и поверхностей, правильность контуров и т.д.), обеспечивающему правильную работу изготавливаемых изделий (Богуслаев, 2009; Кондаков, 2010; Кроть, 2013). Возможности

* Corresponding author

E-mail addresses: slaw_lww@ukr.net (V.V. Limarenko)

современных компьютерных технологий играют значительную роль в удовлетворении этих требований. Одними из таких возможностей являются системы поддержки принятия решений (СППР), позволяющие автоматизировать разработку технологического процесса и управление им.

К функциям системы поддержки принятия решений относятся разработка оптимального технологического процесса изготовления изделия; формирование технологической документации; расчёт затрат времени и себестоимости операции; определение трудоемкости изготовления изделия; расчёт расхода материалов (Богуслаев, 2009; Кондаков, 2010).

Задачи синтеза оптимального технологического процесса решаются в два этапа:

– первый – структурная оптимизация технологического процесса (синтез оптимальной структуры ТП);

– второй – параметрическая оптимизация технологического процесса (определение оптимальных режимов операционных параметров для всех операций технологического процесса).

Структурная оптимизация технологического процесса направлена на создание структуры в виде оптимальной последовательности операций технологического процесса, а целью параметрической оптимизации является поиск оптимальных режимов выполнения операции с учетом всех ограничивающих факторов (Кроль, 2013; Соломенцев, Митрофанов, 2013; Грубый, 2014).

Пренебрежение оптимизацией структуры технологического процесса может привести к значительному ухудшению технологического процесса, его удорожанию и снижению производительности производства. Известно (Соломенцев, Митрофанов, 2013; Грубый, 2014), что эффект от оптимального выбора структуры ТП превосходит эффект, полученный от оптимизации параметров отдельных элементов, входящих в технологический процесс. Это связано с тем, что при ошибочном выборе структуры технологического процесса даже самые современные методы параметрической оптимизации режимов металлообработки не смогут компенсировать потери производительности. В свою очередь пренебрежение параметрической оптимизацией операций может привести к тому, что даже идеальная, на первый взгляд, структура технологического процесса может оказаться недостаточно эффективной (Соломенцев, Митрофанов, 2013; Грубый, 2014).

Процесс резания металлов характеризуется большим количеством параметров и факторов, которые имеют сложную связь и взаимное влияние. Все параметры условно можно разделить на входные и выходные. К входным параметрам можно отнести те, которые непосредственно влияют на характеристики получаемых изделий, а выходными считать те, которые являются непосредственными характеристиками изделия, получаемого в результате механообработки. Учитывая количество параметров и факторов, входящих в процесс, задачу параметрической оптимизации процессов механообработки металлов резанием можно считать сложной многокритериальной и многопараметрической оптимизационной задачей.

2. Постановка задачи

В работе выполнена постановка и найдено решение практической задачи оптимизации операционных параметров для операций точения поверхности № 5 детали «Корпус фильтра», являющейся составной частью привода-генератора модели ГП-21 (Рисунок 1).

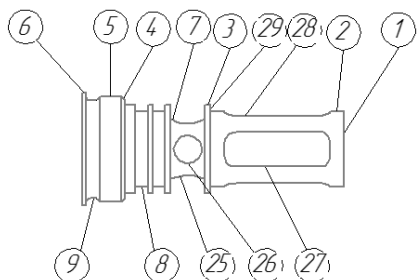


Рис. 1. Условная нумерация поверхностей детали «Корпус фильтра»

Задача расчета оптимальных режимов резания решается путем параметрической оптимизации процесса механообработки изделия на каждой операции технологического процесса. Оптимальным режимом резания является такое сочетание глубины t , подачи S и скорости резания V , при котором обработка выполняется наиболее эффективно при соблюдении всех требований к точности, шероховатости и качеству обработанных поверхностей с учетом технологических возможностей оборудования.

Особенностью постановки задачи в работе является то, что при решении задачи оптимизации, учитывается накапливаемый износ по задней поверхности инструмента – h_z . Такой подход позволяет создать для операций резания математическую модель максимально приближенную к реальной физической модели процесса. Так же при решении оптимизационной задачи классический период стойкости инструмента T заменен на период экономически-эффективной стойкости инструмента $T_{эф}$, который определяется как сумма времен эффективного использования инструмента при изготовлении оптимальной партии деталей с учетом изменений режимов резания в зависимости от изменения уровня износа инструмента и изменения $\eta_{ст}$ – коэффициента полезного действия станка, зависящего от режимов его работы.

При оптимизации параметров операций точения учитывалось десять технологических ограничений, которые сформированы на основании работ (Воронцов, Албагачиев, Султанзаде, 2014; Ящерицын, Фельдштейн, Корниевич, 2006).

Ограничение 1. По мощности электродвигателя привода главного движения станка $N_{дв}$.

$$N_{дв} = \frac{F_z V}{60 \cdot 10^3 \eta_{ст}} \leq N_{дв.пасп}, \quad (1)$$

где $N_{дв}$ – потребляемая мощность электродвигателя станка, кВт; F_z – тангенциальная сила резания, Н; V – скорость операции резания, м/мин; $\eta_{ст} = \eta_{дв} \eta_{к}$ – коэффициент полезного действия станка, где $\eta_{дв}$ – КПД двигателя станка, %, $\eta_{к}$ – КПД кинематической цепи станка, %; $N_{дв.пасп}$ – предельная паспортная потребляемая мощность электродвигателя станка, кВт.

Ограничения 2-5. По диапазону скорости и подачи операции резания

$$V_{\min} \leq V \leq V_{\max}, \quad (2)$$

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (3)$$

где V_{\min}, V_{\max} – минимальная и максимальная скорость оборотов инструмента на станке, м/мин; S_{\min}, S_{\max} – минимальная и максимальная допустимая скорость подачи станка, мм/мин.

Ограничение 6. По прочности режущего инструмента σ_u .

$$\sigma_{\max} = \frac{F_z l_{И}}{W} \leq [\sigma_u], \quad (4)$$

$$[\sigma_u] = \frac{\sigma_{о.н.}}{k_{з.п}}, \quad (5)$$

где $l_{И}$ – длина державки резца, мм; $[\sigma_u]$ – допускаемое напряжение материала державки резца, МПа; W – момент сопротивления сечения державки резца, мм³; $k_{з.п}$ – коэффициент запаса прочности; $\sigma_{о.н.}$ – опасное напряжение для материала державки, МПа.

Ограничение 7. По жесткости инструмента $f_{И}$.

$$f_{И} = \frac{F_z l_{И}^3}{3E_{И} I_{И}} \leq f_{ди}, \quad (6)$$

где $f_{И}$ – стрела прогиба державки резца, мм; $f_{ди}$ – допустимая стрела прогиба державки резца, мм; $E_{И}$ – модуль упругости материала державки, Н/мм²; $I_{И} = \frac{B_{Д} H_{Д}^3}{12}$ – момент инерции сечения державки резца, мм⁴; $B_{Д}$ – ширина прямоугольного сечения державки резца, мм; $H_{Д}$ – высота прямоугольного сечения державки резца, мм.

Ограничение 8. По жесткости заготовки f_3 .

$$f_3 = \frac{F_y l_3^3}{k E_3 I_3} \leq f_{3,Д}, \quad (7)$$

где F_y – сила, действующая в направлении поперечной подачи, Н; f_3 – стрела прогиба заготовки, мм; $f_{3,Д}$ – допустимая стрела прогиба заготовки, мм; l_3 – длина заготовки, мм; k – коэффициент, зависящий от способа установки заготовки: $k = 3$ – деталь закреплена в патроне; $k = 70$ – деталь закреплена в центрах; $k = 130$ – деталь закреплена в патроне с поджатием задним центром; E_3 – модуль упругости материала заготовки, МПа; $I_3 = 0,05 \cdot D^4$ – момент инерции поперечного сечения заготовки, мм.

Ограничение 9. По прочности механизма продольной подачи станка $F_{x \text{ доп}}$.

$$F_x \leq F_{x \text{ доп}}, \quad (8)$$

где F_x – осевая сила резания, Н; $F_{x \text{ доп}}$ – паспортная осевая сила резания, Н.

Ограничение 10. По требуемой шероховатости обработанной поверхности R_a .

$$R_a(V, S, t, h_3) \leq R_{a \text{ max}}, \quad (9)$$

где R_a – фактическая шероховатость поверхности при заданных операционных параметрах и фактическом износе инструмента, мкм; $R_{a \text{ max}}$ – максимально допускаемая шероховатость поверхности, мкм; h_3 – износ по задней поверхности инструмента, мкм.

Аналитический вид функций $R_a = f_1(V, S, t, h_3)$ и $h_3 = f_2(V, S, t)$, описывающий их с достаточной точностью трудно формализуем. Поэтому для вычисления R_a и h_3 в работе применена обученная на базе ограниченного количества экспериментальных данных нейронная сеть перцептрон с двумя скрытыми слоями (Хавина, Лимаренко, 2013; Лимаренко, Хавина, 2016). Следует так же отметить, что усилия резания F_x, F_y, F_z зависят от накапливаемого износа режущего инструмента по задней поверхности (Воронцов, Албагачиев, Султан-заде, 2014; Song, 2006).

В работе для параметрической оптимизации операции точения применяются три целевые функции: себестоимость операции A , энергозатраты (потребляемая мощность) \mathcal{E} и производительность операций Q , что позволяет решать комплексно задачи реального производства.

Целевая функция 1. Себестоимость операции A .

$$A = \frac{l_3}{S} \left(a_{\text{раб}} + a_{\text{экс}} + \frac{e}{T_{\text{эф}}} + \frac{q_3 F_z V}{6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}}} \right) \Rightarrow \min, \quad (10)$$

где $T_{\text{ЭФ}} = \sum_1^n \tau_0(V, S, t, h_3)$, а n – количество циклов, отработанных инструментом до

момента его замены, а эксплуатация инструмента происходит до момента, пока себестоимость операции не превысит допустимого уровня.

Целевая функция 2. Удельные энергозатраты (потребляемая мощность) Θ .

$$\Theta = \frac{F_z V}{6 \cdot 10^4 \eta_{\text{ст}}} \Rightarrow \min. \quad (11)$$

Целевая функция 3. Производительность операции Q .

$$Q = \frac{St}{l_3 \Delta} \Rightarrow \max, \quad (12)$$

где Δ – припуск, мм., при этом необходимо учитывать, что при операциях чистового конечного точения $t = \Delta$, т.к. весь припуск снимается за один проход.

Особенностью данной постановки задачи является то, что в работе используется метод расчета сил резания, предложенный в (Song, 2006), что позволяет использовать значительно меньшее количество эмпирических коэффициентов, и с необходимой точностью получить результат, значительно сократив количество дорогостоящих экспериментов.

Сила действующая в направлении продольной подачи – F_x , сила, действующая в направлении поперечной подачи – F_y и главная составляющая силы резания – F_z (Рисунок 2) являются силами, определяющими параметры процесса резания. Зная значения сил можно рассчитать необходимые параметры работы станка, обеспечить оптимальную эксплуатацию оборудования, режущего инструмента и приспособлений.

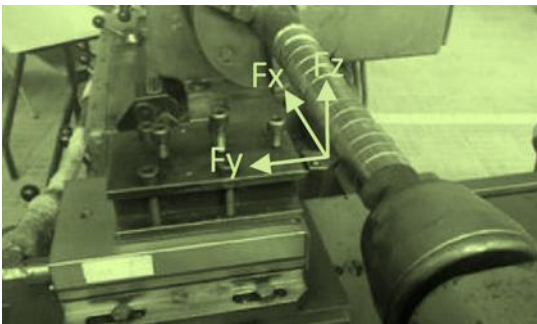


Рис. 2. Схема сил, действующих в зоне резания

Компоненты вектора результирующей силы резания представляются в виде суммы сил, вызванных процессом стружкообразования, взаимодействием закругленного острия режущего клина с обрабатываемым материалом и контактным взаимодействием инструмента с обрабатываемой поверхностью по задней поверхности (на площадке износа):

$$F_x = F_{xs} + F_{xe} + F_{xw}, \quad (13)$$

$$F_y = F_{ys} + F_{ye} + F_{yw}, \quad (14)$$

$$F_z = F_{zs} + F_{ze} + F_{zw}, \quad (15)$$

где F_{xs}, F_{ys}, F_{zs} – компоненты полной силы резания, связанные с процессом стружкообразования; F_{xe}, F_{ye}, F_{ze} – компоненты полной силы резания, связанные с взаимодействием закругленного острия режущего клина с обрабатываемым материалом; F_{xw}, F_{yw}, F_{zw} – компоненты полной силы резания, связанные с взаимодействием изношенной задней поверхности инструмента с заготовкой (Song, 2006).

Наибольшее влияние на изменение параметров операций с течением времени оказывает величина износа инструмента по задней поверхности h_3 , т.к. от него зависит уровень сил в зоне резания, шероховатость поверхности, температурные явления, размерная точность получаемой детали и т.п. (Соломенцев, Митрофанов, 2013; Song, 2006).

3. Основная часть

Для решения задачи разработана система поддержки принятия решений «Opticutt». На Рисунке 3 показана архитектура программного комплекса.

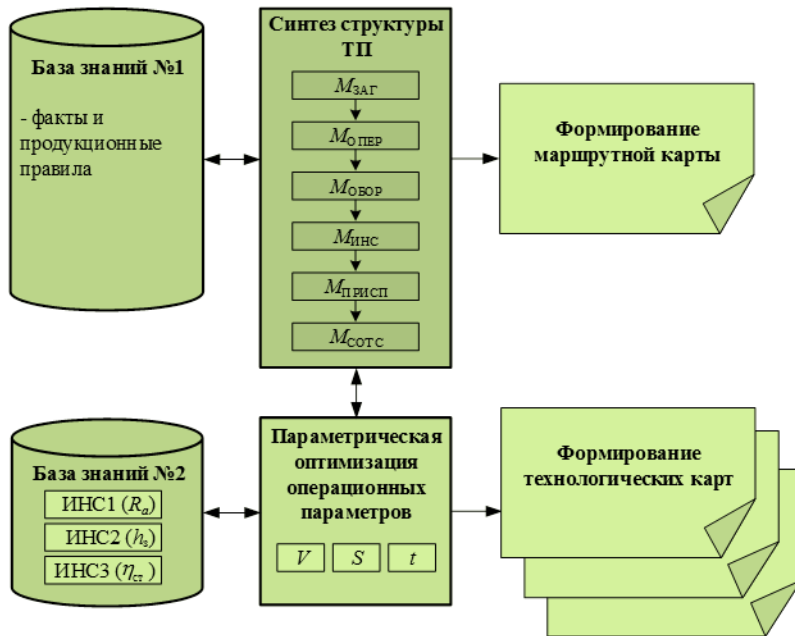


Рис. 3. Архитектура СППР

В СППР входят две базы знаний (БЗ). В БЗ №1 данные представлены в виде фактов языка Visual Prolog. Данная БЗ обеспечивает работу блока синтеза структуры технологического процесса. Блок синтеза структуры технологического процесса связан с блоком параметрической оптимизации операционных параметров, который, в свою очередь работает при поддержке базы знаний №2, в которой хранятся весовые коэффициенты ИНС, необходимые для расчетов КПД станка $\eta_{ст}$, уровня износа инструмента по задней поверхности h_3 и фактической шероховатости поверхности R_a , при этом h_3 функционал от V , S , t , а R_a – от V , S , t , h_3 .

Задача решена в многокритериальной постановке путем расчета Парето-оптимального решения, которое позволяет получить решение в равной степени удовлетворяющее требованиям всех целевых функций.

Для поиска Парето-эффективного решения применялся генетический алгоритм Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm (FFGA), который обладает хорошей сходимостью и его решения не выходят за область допустимых решений. Метод FFGA основан на процедуре ранжирования индивидов, которая происходит на основе Парето-доминирования. Ранг индивида зависит и определяется числом доминирующих его индивидов (Fonseca, Fleming, 1998).

Для работы генетического алгоритма были разработаны фитнес-функции и структура хромосомы, включающая два параметра – скорость подачи S и скорость резания V . Вероятность мутации одного бита – 7 %; количество особей – 500; вероятность скрещивания – 93 %; Процесс останавливался при достижении точности вычислений $\varepsilon = 0,001$.

Ниже приведены результаты для операции чернового точения поверхности № 5. Входными параметрами являются: диаметр заготовки – 110 мм; сталь – AISI 52100; глубина резания $t = 4$ мм; модуль продольной упругости заготовки $E_3 = 2 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент, зависящий от способа закрепления заготовки $k_3 = 2$; модуль упругости материала державки

$E_H = 2 \cdot 10^5$ МПа; марка станков, инструмента, СОТС и др. исходные данные и параметры – из БЗ СППР. В качестве технологических и технических ограничений учитывались ограничения (1)...(9). Технологическая карта для обработки поверхности №5, полученная с помощью СППР, показана в [таблице 1](#).

Таблица 1. Технологическая карта для обработки поверхности №5

Переход	Содержание перехода	Станок	Инструмент (код и наименование)			Режим обработки					h_3
			вспомогательный	режущий	измерительный	T	i	S	t	V	
Черновое точение											
065	Токарная с ЧПУ – точить поверхность 5	DMTG-VT30		Iscar CCMT 09T308			2	0,57	4	100	0
							2	0,52	4	128	0,2
							2	0,47	4	147	0,4
Квалитет											
Шероховатость											
СОТС		Cimstar LD 422									
Чистовое точение											
070	Токарная с ЧПУ – точить поверхность 5	DMTG-VT30		Iscar CCMT 09T308			2,8	0,54	2,8	112	0
							2,8	0,504	2,8	128	0,2
							2,8	0,46	2,8	147	0,4
Квалитет		13									
Шероховатость		5									
СОТС		Cimstar LD 422									
Суперфинишное точение											
075	Токарная с ЧПУ – точить поверхность 5	DMTG-VT30		Sandvik CB7015 S01020			0,2	0,17	0,2	200	0
							0,2	0,155	0,2	275	0,2
							0,2	0,141	0,2	315	0,4
Квалитет		7									
Шероховатость		0,64									
СОТС		нет									

Для черновой обработки поверхности №5 были определены следующие станок, инструмент и СОТС: станок DMTG-VT30; инструмент Iscar CCMT 09T308; СОТС Cimstar LD 422. Для параметров управления были определены следующие значения: глубина резания $t = 4$ мм, $\Delta = 2$ мм.; скорость резания станка: для острого инструмента $V = 100$ м/мин; для инструмента с износом $h_3 = 0,2$ мм $V = 128$ м/мин; для инструмента с износом $h_3 = 0,4$ мм $V = 147$ м/мин; скорость подачи станка: для острого инструмента $S = 0,57$ мм/об; для инструмента с износом $h_3 = 0,2$ мм $S = 0,52$ мм/об; для инструмента с износом $h_3 = 0,4$ мм $S = 0,47$ мм/об; стойкость инструмента $T_{эф} = 46$ мин.

На [Рис. 4-5](#) приведены сравнительные результаты использования рассчитанных параметров, на основании которых можно сделать вывод, что режимы точения, полученные СППР, более эффективные, чем режимы, применяемые в базовом технологический процессом или режимы рекомендованными фирмой производителем инструмента «Iscar» (Iscar...).

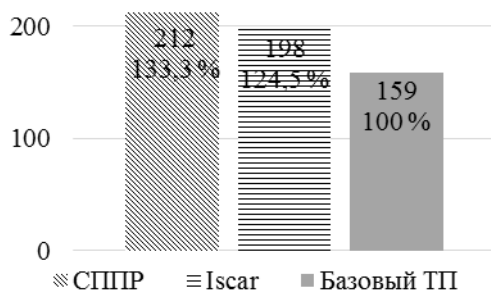


Рис. 4. Количество обработанных деталей за период стойкости инструмента при черновом точении

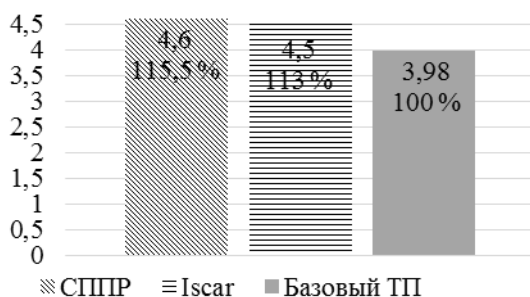


Рис. 5. Производительность операции чернового точения Q при использовании различных операционных режимов

Для операции чернового точения была выполнена верификация полученных результатов. Определялись оптимальные операционные режимы для многоинструментального станка Spinner PD/C и токарного станка SMTCL CA6150B/1000 с использованием инструмента Alberg CCMW 09T308. Результаты расчетов приведены на [Рису. 6-7](#), где показаны уровни себестоимости и энергозатрат операции чернового точения при различных режимах обработки.

Результаты позволяют сделать вывод, что конкретное решение, полученное с помощью СППР, является лучшим из возможных, т.к. в случае выбора другого инструмента либо оборудования наблюдается уменьшение $T_{эф}$ и количества деталей, производимых за время $T_{эф}$, а также увеличение энергозатрат на операцию и себестоимости операции.

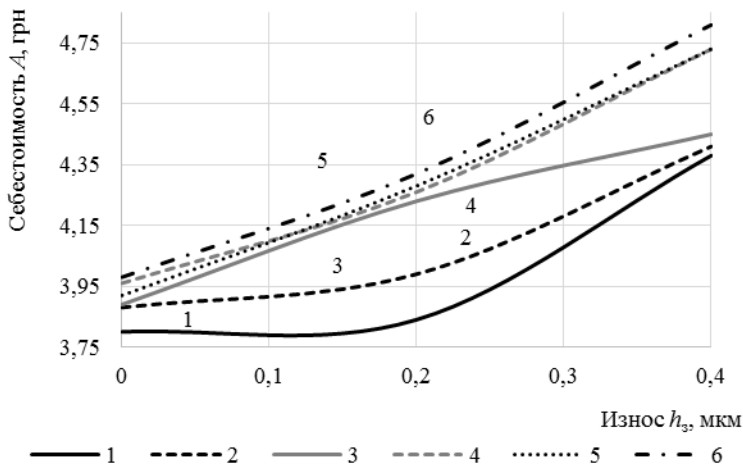


Рис. 6. Себестоимость операции чернового точения при разных операционных параметрах, где 1 – станок и инструмент, рекомендованные СППР 2 – станок, рекомендованный СППР, инструмент Alberg CCMW 09T308; 3 – станок Spinner PD/C, инструмент Iscar CCMT 09T308; 4 – станок Spinner PD/C, инструмент Alberg CCMW 09T308; 5 – станок SMTCL CA6150B/1000, инструмент Iscar CCMT 09T308; 6 – станок SMTCL CA6150B/1000T, инструмент Alberg CCMW 09T308

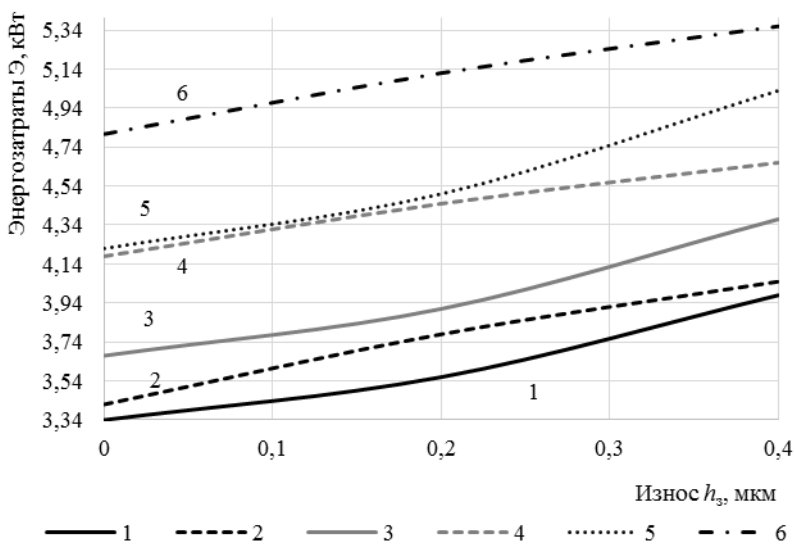


Рис. 7. Энергозатраты на операцию чернового точения при разных операционных параметрах, где 1 – станок и инструмент, рекомендованные СППР 2 – станок, рекомендованный СППР, инструмент Alberg CCMW 09T308; 3 – станок Spinner PD/C, инструмент Iscar CCMT 09T308; 4 – станок Spinner PD/C, инструмент Alberg CCMW 09T308; 5 – станок SMTCL CA6150B/1000, инструмент Iscar CCMT 09T308; 6 – станок SMTCL CA6150B/1000T, инструмент Alberg CCMW 09T308

На [Рисунках 8-9](#) показаны затраты времени и суммарная себестоимость производства детали «Корпус фильтра» при различных операционных параметрах. Время, затрачиваемое на производство одной детали «Корпус фильтра» при использовании ТП, полученного с помощью СППР, на 5,2 % меньше, чем при использовании базового ТП. Суммарная себестоимость производства детали «Корпус фильтра» тоже уменьшилась с 613,33 грн. до 527,47 грн., что дает экономию 14 %.

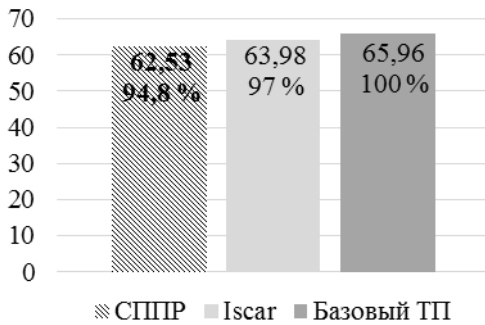


Рис. 8. Время, затрачиваемое на производство одной детали «Корпус фильтра» при различных операционных параметрах, мин

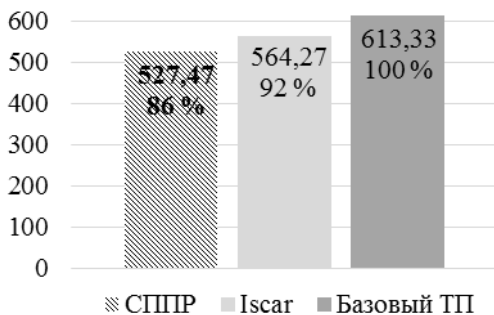


Рис. 9. Суммарная себестоимость производства детали «Корпус фильтра» при различных операционных параметрах, грн

На основании данных, приведенных на Рис. 8-9 можно сделать выводы об эффективности решений, полученных с помощью СППР по сравнению с решениями, предложенными в базовом технологическом процессе или решениями, предложенными фирмой-производителем инструмента «Iscar» (Iscar...).

В результате расчетов были получены оптимальные параметры режимов для операции точения, применение которых позволяет сократить время изготовления детали на 5,2 %, себестоимость операций на 14 %, при этом средний срок эксплуатации инструмента повышается на 11,83 % по сравнению с режимами базового технологического процесса.

4. Выводы

В работе показана постановка и решение задачи определения оптимальных параметров операций точения, где учитывались: накапливаемый износ инструмента по задней поверхности, период стойкости инструмента и изменения коэффициента полезного действия станка. Постановка задачи осуществлялась в виде МОЗ с тремя целевыми функциями: себестоимость операции, энергозатраты и производительность операций. Результаты получены путем расчета Парето-оптимального решения с помощью генетических алгоритмов. Такой подход позволяет решать комплексно реальные задачи производства.

Литература

Богуслаев, 2009 – Богуслаев, А.В. Прогрессивные технологии моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации этапов жизненного цикла авиационных двигателей: Монография. Запорожье: ОАО Мотор Сич, 468 с.

Кондаков, 2010 – Кондаков, А.И. САПР технологических процессов. 3-е издание. СПб.: Academia, 272 с.

Кроль, 2013 – Кроль, О.С. Методы и процедуры оптимизации режимов резания: монография. Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 260 с.

Соломенцев, Митрофанов, 2013 – Соломенцев, Ю.М., Митрофанов, В.Г. Моделирование и оптимизация технологических процессов механической обработки. Тольятти: ОНИКС. 457 с.

Грубый, 2014 – Грубый, С.В. Оптимизация процесса механической обработки и управление режимными параметрами. Монография. М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана. 152 с.

Воронцов и др., 2014 – Воронцов, А.Л., Албагачиев, А.Ю., Султан-заде, Н.М. Теоретические основы обработки металлов в машиностроении. Старый Оскол: ТНТ, 552 с.

Ящерицын и др., 2006 – Ящерицын, П.И., Фельдштейн, Е.Э., Корниевич, М.А. Теория резания. Минск: Новое знание, 512 с.

Хавина, Лимаренко, 2013 – Хавина, И.П., Лимаренко, В.В. Применение нейронных сетей в технологических процессах механообработки. Автоматизированные технологии и производства. Сборник научных трудов. Выпуск 5. Магнитогорск: изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та. С. 252-258.

Лимаренко, Хавина, 2016 – Лимаренко, В.В., Хавина, И.П. Мультиагентная система управления работой механообрабатывающего цеха. Системы управления, навигации и связи. Полтава: Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка. Вып. 4 (40). С. 29-36.

Song, 2006 – Wenge Song. Development of predictive force models for classical orthogonal and oblique cutting and turning operations incorporating tool flank wear effects: PhD. Queensland University of Technology, 208 p.

Fonseca, Fleming, 1998 – Fonseca, C.M., Fleming, P.J. Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*. № 28. P.p. 26-37.

Iscar... – Iscar - электронный каталог. [Электронный ресурс] URL: <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx> (дата обращения 02.04.16).

References

Boguslaev, 2009 – Boguslaev, A.V. (2009). Progressivnye tekhnologii modelirovaniya, optimizatsii i intellektual'noi avtomatizatsii etapov zhiznennogo tsikla aviatsionnykh dvigatelei [Progressive technologies of modeling, optimization and intelligent automation of the stages of the life cycle of aircraft engines]: Monografiya. Zaporozh'e: OAO Motor Sich, 468 s.

Kondakov, 2010 – Kondakov, A.I. SAPR tekhnologicheskikh protsessov [CAD of technological processes]. 3-e izdanie. SPb.: Academia, 272 s.

Krol', 2013 – Krol', O.S. Metody i protsedury optimizatsii rezhimov rezaniya [Methods and procedures of optimization of cutting conditions]: monografiya. Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dal'ya, 260 s.

Solomentsev, Mitrofanov, 2013 – Solomentsev, Yu.M., Mitrofanov, V.G. Modelirovanie i optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov mekhanicheskoi obrabotki [Simulation and optimization of technological processes of mechanical processing]. Tol'yatti: ONIKS. 457 s.

Grubiy, 2014 – Grubiy, S.V. Optimizatsiya protsessa mekhanicheskoi obrabotki i upravlenie rezhimnymi parametrami [Optimization of the machining process and control regime parameters]. Monografiya. M.: izd-vo MGTU im. N. E. Bauman, 152 s.

Vorontsov i dr., 2014 – Vorontsov, A.L., Albagachiev, A. Yu., Sultan-zade, N. M. Teoreticheskie osnovy obrabotki metallov v mashinostroenii [The theoretical basis for the treatment of metals in mechanical engineering]. Staryi Oskol: TNT, 552 s.

Yashcheritsy id r., 2006 – Yashcheritsyn, P.I., Fel'dshtein, E. E., Kornievich, M. A. Teoriya rezaniya [Theory of cutting]. Minsk: Novoe znanie, 512 s.

Khavina, Limarenko, 2013 – Khavina, I.P., Limarenko, V.V. Primenenie neuronnykh setei v tekhnologicheskikh protsessakh mekhanicheskoi obrabotki. Avtomatizirovannyye tekhnologii i proizvodstva [Use of neural networks in the technological processes of machining. Automated technology and production]. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 5. Magnitogorsk: izd-vo Magnitogorsk. gos. tekhn. un-ta. S. 252-258.

Limarenko, Khavina, 2016 – Limarenko, V.V., Khavina, I.P. Mul'tiagentnaya sistema upravleniya rabotoi mekhanicheskoi obrabotki tsekh. Sistemy upravleniya, navigatsii i svyazi [Multi-agent control system for the operation of the machining plant. Control systems, navigation and communication]. Poltava: Poltavskii natsional'nyi tekhnicheskii universitet im. Yu. Kondratyuka. Vyp. 4 (40). S. 29-36.

Song, 2006 – *Wenge Song*. Development of predictive force models for classical orthogonal and oblique cutting and turning operations incorporating tool flank wear effects: PhD. *Queensland University of Technology*, 208 p.

Fonseca, Fleming, 1998 – *Fonseca, C.M., Fleming, P.J.* Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*. № 28. P.p. 26-37.

Iscar... – Iscar – elektronni katalog. [Elektronni resurs]. URL: <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx> (data obrashcheniya 02.04.16).

Решение задачи оптимизации параметров обработки металлов при операции точения

Вячеслав Владимирович Лимаренко ^{a, *}, Инна Петровна Хавина ^a

^a Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Украина

Аннотация. Показана постановка и решение задачи оптимизации параметров обработки металлов при операции точения. Задача решена с учетом уровня накапливаемого износа по задней поверхности инструмента, уровня КПД станка, зависящего от режимов работы и периода экономически-эффективной стойкости инструмента. Задача решалась в многокритериальной постановке с учетом трех целевых функций, решение получено в виде Парето-оптимального. В ходе решения применялись искусственная нейронная сеть перцептрон и генетический алгоритм FFGA. Такой подход позволяет решать задачи оптимизации реального производства.

Ключевые слова: оптимизация параметров операции точения, накапливаемый износ инструмента, экономически-эффективная стойкость инструмента, многокритериальная оптимизационная задача, Парето-оптимальное решение.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: slaw_lww@ukr.net (В.В. Лимаренко)