

Постановка задачи и алгоритм комплексной оптимизации схемы срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»*

Предложены формализованные постановки и приведены алгоритмы решения задач комплексной и структурно-параметрической оптимизации схем срезания припуска при механической обработке моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей. При этом механическая обработка рассматривалась как один из частных процессов, а предложенные алгоритмы решения поставленной задачи основываются на дедуктивном методе и используют общую постановку и метод решения задачи комплексной оптимизации сложных технических систем. При решении задачи учтены физические, геометрокинематические, точностные ограничения на режимы резания и геометрию инструмента.

Ключевые слова: комплексная оптимизация, механическая обработка, срезание припуска, моноколесо, газотурбинный двигатель, компрессор

Трудоемкость, точность и качество механической обработки поверхностей моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей в значительной мере определяются схемой срезания припуска. Поэтому выбор оптимальных характеристик этой схемы является важной задачей.

Схема срезания припуска при механической обработке деталей с различной геометрией, в том числе моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей, рассмотрена в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. В работе [3] было показано, что даже на цилиндрических поверхностях ступенчатых валов при комплексной оптимизации может быть достигнуто сокращение времени обработки деталей в два, три и более раз. В случае обработки деталей с множеством периодически повторяющихся поверхностей (зубчатых колес, шлицевых валов, моноколес компрессоров и турбин и т.п.) сокращение времени обработки может быть еще большим [4, 5]. Имеются работы по совместной оптимизации схем срезания припуска, характеристик инструмента [6] и режимов обработки [11]. В работе [9] рассмотрены вопросы определения возможных уровней концентрации технологического воздействия при обработке моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей и установлена взаимосвязь уровня концентрации технологического воздействия и основных геометрокинематических характеристик методов обработки, а также предложена классификация схем технологического воздействия. В то же время в работе [12] представлен кластер расчетных зависимостей для расчета производительности механической обработки поверхностей моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей для различных схем технологического воздействия. В статье [13] также показана оптимизация на уровне подсистемы с учетом функциональных ограничений на оптимизируемые параметры. Вместе с тем в опубликованных работах до настоящего времени не изложены вопросы комплексной структурно-параметрической оптимизации схемы срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей.

Целью данной статьи является формализованная постановка и обоснование алгоритма решения задачи комплексной структурно-параметрической оптими-

зации схемы срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей.

Поскольку механическая обработка поверхностей моноколес газотурбинных двигателей является одним из частных процессов, задачу комплексной оптимизации схемы срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей можно решить дедуктивным методом, используя общую постановку и метод решения задачи комплексной оптимизации сложных технических систем [4,7].

На основе этого формализована общая постановка задачи обеспечения предельно высокой эффективности и качества механической обработки поверхностей моноколес газотурбинных двигателей:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{W} = \vec{W}(W_1(Z), W_2(Z) \dots W_n(Z)); \\ \vec{W}(t, \vec{Z}, u_k) \Rightarrow \vec{W}(t)_{opt}, u_k = \sum_{\xi=1}^l f_k(\delta_{\xi} u_{k\xi}); \\ \delta_{\xi}(t) \in \{0,1\}; \\ \vec{Z} = \Phi_O(t, \vec{Y}, u_o), u_o = \sum_{\eta=1}^p f_o(\delta_{\eta} u_{o\eta}); \\ \delta_{\eta}(t) \in \{0,1\}; \\ \vec{Y} = \Phi_{II}(t, \vec{x}, u_n), u_n = \sum_{\tau=1}^q f_n(\delta_{\tau} u_{n\tau}); \\ \delta_{\tau}(t) \in \{0,1\}; \\ Al_i^-(|S_{\Sigma}|, \vec{\Pi}, t) \leq Al_i(|S_{\Sigma}|, \vec{\Pi}, t) \leq Al_i^+(|S_{\Sigma}|, \vec{\Pi}, t); \\ i \in \{1, L\}; \\ \Phi_j^-(|S_{\Sigma}|, \vec{\Pi}, t) \leq \Phi_j(|S_{\Sigma}|, \vec{\Pi}, t) \leq \Phi_j^+(|S_{\Sigma}|, \vec{\Pi}, t); \\ j \in \{1, m\}; \\ \vec{\Pi}_{ijk}^- \leq \vec{\Pi}_{ijk} \leq \vec{\Pi}_{ijk}^+; \\ k \in \{1, n\}; \\ \vec{\Pi} \in \{ \vec{x}, \vec{y}, \vec{z} \}, \end{array} \right. \quad (1)$$

где W – вектор-критерий оптимальности на уровне надсистемы;

t – время;

$Z_1, Z_2 \dots Z_k$ – параметры на уровне надсистемы;

ξ, l – индекс и предел суммирования управляющих воздействий на уровне надсистемы;

$u_{k\xi}$ – ξ -е управляющее воздействие на уровне надсистемы;

u_k – суммарное управляющее воздействие на уровне надсистемы;

Z – вектор-критерий оптимальности на уровне системы;
 $y_1, y_2 \dots y_o$ – параметры на уровне системы;
 η, p – индекс и предел суммирования управляющих воздействий на уровне системы;
 $u_{\eta o}$ – η -е управляющее воздействие на уровне системы;
 u_o – суммарное управляющее воздействие на уровне системы;
 Y – вектор-критерий оптимальности на уровне подсистемы;
 $x_1, x_2 \dots x_n$ – параметры на уровне подсистемы;
 t, q – индекс и предел суммирования управляющих воздействий на уровне подсистемы;
 u_{tn} – t -е управляющее воздействие на уровне подсистемы;
 u_n – суммарное управляющее воздействие на уровне подсистемы;
 δ_g – последовательности введения управляющих действий;
 f_k, f_o, f_n – функциональные зависимости управляющих воздействий;
 AI – знак, обозначающий алгоритм для определения числовых характеристик ограничений и допусков на них;
 i – уровень иерархии;
 L – количество подсистем;
 Φ_o, Φ_n – функциональные зависимости, отражающие выбранные критерии оптимальности на уровне системы и подсистемы соответственно;
 j – номер функционального ограничения
 m – количество функциональных ограничений;
 Φ_j – функциональная зависимость, отражающая j -е функциональное ограничение на параметры;
 $|S_{\bar{z}}|$ – структура подсистемы;
 Π – вектор параметров;
 k – индекс, обозначающий надсистему;
 o – индекс, обозначающий систему;
 n – индекс, обозначающий подсистему;
 opt – оптимальное значение параметра;
«-» – индекс, обозначающий нижний допуск на параметр;
«+» – индекс, обозначающий верхний допуск на параметр.
Зависимости, входящие в систему (1), подлежат конкретизации.

Для конкретизации структуры и параметров задачи необходимо структурировать и определить границы рассматриваемой системы. Согласно [8] для этого следует выделить надсистемный, системный и подсистемный уровни.

Применительно к рассматриваемому случаю в качестве системы выделим технологическую систему формообразования, включающую в себя обрабатываемую деталь, приспособление, инструмент и станок. В качестве надсистемы можно рассматривать совокупность производственных систем, иерархия которых превышает уровень рабочего места. Подсистемными элементами будут выступать перечисленные составляющие системы.

В рамках такой структуризации следует рассмотреть возможные задачи комплексной оптимизации, выделить конкретные виды критериев оптимальностей и ограничений.

Комплексная оптимизация схемы срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей может предусматривать следующие варианты:

1. Выбор структур и параметров системы из полного множества возможных

вариантов по одному или нескольким критериям оптимальности. При этом оптимизируются не только конструктивные и технологические нерегулируемые параметры, но и алгоритмы поведения. Данный вариант обеспечивает предельную эффективность системы.

2. Выбор структур и параметров системы из ограниченного существующими производственными условиями множества возможных вариантов. В технологии машиностроения однозначно не определен критерий оптимальности. Наиболее часто применяемыми критериями являются производительность системы, себестоимость обработки и качественные характеристики изделия. Поэтому указанные варианты решения задачи комплексной оптимизации могут иметь модификации, связанные с различными критериями оптимальности.

Ограничения на выбор схем срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей и диапазоны изменения факторов, которые влияют на критерии оптимальности, можно распределить на виды (классы) в соответствии с характером проявления. При этом можно выделить следующие ограничения:

- природные (физические, биологические, социальные) – как потребность в соблюдении законов природы;
- технические – как требования к уровню и качеству элементов и системы в целом;
- организационные – как требования к формированию организационных структур;
- ресурсные – как ограничение на количество и качество ресурсов;
- экономические – как факторы экономической возможности и целесообразности;
- временные – как условия соблюдения интервалов времени и их последовательностей;
- знаниевые – как мировые пороги знаний, задействованных в системе.

На уровне надсистемы главными ограничениями являются экономические, ресурсные, временные и знаниевые. Основным экономическим ограничением является ограничение на капиталовложение (инвестиции) и уровень рентабельности производства. Ресурсные ограничения требуют выбора материалов и комплектующих из тех, которые доступны к применению. Временные ограничения предусматривают необходимость соблюдения общего срока изготовления всей совокупности партий деталей и графика их поставки. Для удовлетворения знаниевых ограничений необходимо, чтобы предлагаемые решения не выходили за мировые пороги знаний и в надсистеме были кадры соответствующей квалификации.

На уровне системы действуют все перечисленные виды ограничений.

Природные ограничения при механической обработке требуют соблюдения системой законов механики и энергетики. Из этого вытекает, что система имеет ограничения по потребляемой мощности, предельно допустимым температурам и быстродействию.

Технические ограничения для рассматриваемого случая предусматривают:

- соответствие предельных погрешностей изготовления деталей установленным допускам;
- удовлетворение требований по шероховатости обрабатываемых поверхностей;
- нахождение характеристик твердости поверхностного слоя и сердцевины внутри установленных диапазонов твердости.

Аналогично на уровне подсистем действуют все перечисленные виды ограничений. При этом изменяется характер технических ограничений. Элементы систем и подсистем должны удовлетворять условиям осуществимости в заданные сроки, иметь необходимые запасы прочности и показатели надежности, а также экономические и экологические характеристики. Исходя из сказанного систему зависимостей (1) можно конкретизировать следующей дедуктивной системой:

$$\begin{aligned} W_{K1}(Z) &= \Phi_{K1}(Z_{O1}); \\ W_{K2}(Z) &= \Phi_{K2}(Z_{O2}); \\ W_{K3}(Z) &= \Phi_{K3}(Z_{O3}), \end{aligned} \quad (2)$$

где Φ_{K1} , Φ_{K2} , Φ_{K3} – функции, отражающие производительность, рентабельность системы и качество обработки изделия на уровне надсистемы.

$$\begin{aligned} Z_{O1} &= \Phi_{O1}(K, V, S, t_p, y_{n1}); \\ Z_{O2} &= \Phi_{O2}(K, V, S, y, t_p, M_3, y_{n2}); \\ Z_{O3} &= \Phi_{O3}(K, V, S, t_p, D1, D2, D3, y_{n3}), \end{aligned} \quad (3)$$

где Φ_{O1} , Φ_{O2} , Φ_{O3} – функции отражающие производительность, рентабельность системы и качество обработки изделия на уровне системы;

K – класс схемы формообразования поверхностей лопаток [9];

V, S, t_p – параметры режимов резания – скорость, подача и глубина резания;

M_3 – масса заготовки;

$D1, D2, D3$ – допуски на точность, шероховатость обработки и характеристики твердости поверхностей лопаток;

$$\begin{aligned} Y_{n1} &= \Phi_{n1}(n_{об}, s, l_r); \\ Y_{n2} &= \Phi_{n2}(Ц, N, C); \\ Y_{n3} &= \Phi_{n3}(n_{об}, \Delta, \varepsilon), \end{aligned} \quad (4)$$

где Φ_{n1} , Φ_{n2} , Φ_{n3} – функции, отражающие производительность, рентабельность системы и качество обработки изделия на уровне системы;

$n_{об}$ – частота вращения привода станка;

s – удельная подача;

l_r – длина рабочего хода;

$Ц$ – стоимость элементов подсистемы;

N – потребляемая мощность;

C – стоимость энергии;

Δ, ε – погрешности геометрии и характеристики качества поверхности;

$$Ц = f(l, d, h, \Delta, \varepsilon), \quad (5)$$

где l, d, h – габаритные размеры детали

$$N_n = C_p \cdot V^{x+1} \cdot s^y \cdot t_p^z \leq [N_n], \quad (6)$$

где C_p, x, y, z – коэффициенты, определяющие зависимость силы резания от материала и режимов резания.

$$Al[(M_\Sigma + \Delta M_\Sigma) \cdot (\vec{r}_И + \Delta \vec{r}_И)] - \vec{r}_Э < Al[\Delta]_{ПП} \quad (7)$$

где M_Σ и ΔM_Σ – матрица отражающая кинематику станка и ее приращение, вызванное силовыми, геометрическими и температурными факторами [4];

$r_{И}$ и $\Delta r_{И}$ – радиус-вектор инструмента в точке контакта с обрабатываемой поверхностью и его приращение, вызванное силовыми, тепловыми и износными факторами [4];

$r_{Э}$ – радиус-вектор эталонной поверхности в точке контакта с инструментальной поверхностью;

$[\Delta]_{ПР}$ – допуск на отклонение поверхности от эталона в точке контакта с инструментальной поверхностью, приведенный к нормали поверхности.

AI – знак, обозначающий алгоритм для вычисления радиуса-вектора инструмента в точке контакта с обрабатываемой поверхностью и его приращения, вызванного силовыми, тепловыми и износными факторами и допусков на них;

$$\begin{cases} l_i \leq [l_i]^+; \\ d_i \leq [d_i]^+; \\ h_i \leq [h_i]^+, \\ i \in \{1, L\}; \end{cases} \quad (8)$$

где l_i, d_i, h_i – габаритные размеры элементов подсистем;

$[l_i]^+, [d_i]^+, [h_i]^+$ – допуски на габаритные размеры элементов подсистем;

I – индекс, обозначающий номер текущего элемента подсистемы;

L – количество подсистем;

$$\begin{cases} [V]^- \leq V \leq [V]^+; \\ [s]^- \leq s \leq [s]^+; \\ t_p \leq [t_p]^+, \end{cases} \quad (9)$$

где $[V]^+, [V]^-$ – нижний и верхний допуски на величину скорости резания;

$[s]^+, [s]^-$ – нижний и верхний допуски на величину подачи инструментов;

$[t_p]^+$ – допуск на величину глубины резания;

$$u_k = \begin{cases} 1, \text{при } N_k > 0; \\ 0, \text{при } N_k = 0, \end{cases} \quad (10)$$

где u_k – параметр управляющего воздействия на уровне надсистемы;

N_k – потребляемая мощность на уровне надсистемы;

$$u_o = \begin{cases} 1, \text{при } N_o > 0; \\ 0, \text{при } N_o = 0, \end{cases} \quad (11)$$

где u_o – параметр управляющего воздействия на уровне системы;

N_o – потребляемая мощность на уровне системы;

$$u_n = \begin{cases} 1, \text{при } N_n > 0; \\ 0, \text{при } N_n = 0, \end{cases} \quad (12)$$

где u_n – параметр управляющего воздействия на уровне подсистемы;

N_n – потребляемая мощность на уровне подсистемы;

Задача, заданная условиями (2) – (12), не имеет аналитического решения [4]. Поэтому она должна решаться алгоритмически. На рис. 1 представлена общая



Рис. 1. Общая схема алгоритма решения задачи

схема алгоритма решения задачи, обеспечивающей комплексную оптимизацию по критериям схем формообразования поверхностей моноколес и по критерию производительности с учетом результатов работы [10]. Алгоритм предусматривает решение задачи синтеза с учетом всех способов повышения производительности обработки [4] и выявленных ранее схем срезания припуска при механической обработке поверхностей моноколес [9]. Указанными факторами обеспечивается учет полной области возможных решений. Поскольку алгоритм предусматривает итеративный поиск решения для получения начальных решений, то используются рекомендации [4] по областям рациональной концентрации технологического воздействия применительно к единичному, мелкосерийному, серийному, крупносерийному и массовому производствам.

На рис. 2 изображены области рациональной концентрации технологического воздействия в аксонометрии (см. рис. 2, а), а также даны проекции этой области на соответствующие плоскости: «число инструментов – тип контакта» (см. рис. 2, б), «степень концентрации технологического воздействия – число инструментов» (см. рис. 2, в) и «степень концентрации технологического воздействия – тип контакта» (см. рис. 2, г).

Как видно из рис. 2, существуют зоны с нерациональным уровнем технологического воздействия. Для действующих технологических систем этот рисунок позволяет выбрать направления дальнейшего совершенствования. Удаление от начала координат соответствует росту потенциальной производительности труда.

Важно отметить, что в случае обработки малых партий лопаток с применением существующих систем фактически оптимальные уровни концентрации технологического воздействия могут значительно отличаться от рекомендуемых значений особенно в сторону повышения уровня концентрации. Приведенные рекомендации являются фактором, существенно влияющим на структуру алгоритмов синтеза технологических систем, поскольку уже на первом шаге итерационного процесса синтеза системы позволяют попасть в зону, близкую к оптимальной, и тем самым значительно сократить количество анализируемых вариантов структур и параметров систем. Это целесообразно в связи с большой мощностью множества возможных уровней производительности систем, определяемых схемами концентрации технологического воздействия.

При определении допусков на различные параметры и интегральные характеристики элементов системы используется информация, приведенная в соответствующей нормативно-технической документации и справочниках.

Схему срезания припуска оптимизируют методом перебора вариантов, начиная с простейшего, заданного рис. 2. После этого проверяют выполнения алгоритмических, функциональных и параметрических ограничений для схем, удовлетворяющих ограничениям, вычисляют критерий оптимальности, по значению которого выбирают искомое решение.

В связи с тем, что при таком подходе меняются структурные характеристики процесса формообразования и охватывается полная область возможных решений, появляется возможность синтезировать технологии обработки рабочих поверхностей моноколес газотурбинных двигателей.

Применение разработанного метода комплексной структурно-параметрической оптимизации позволяет обеспечить повышение производительности механической обработки в два, три и более раз, а также снизить трудоемкость процесса на 60...70 %, а также обеспечить заданные характеристики

качества изделий.

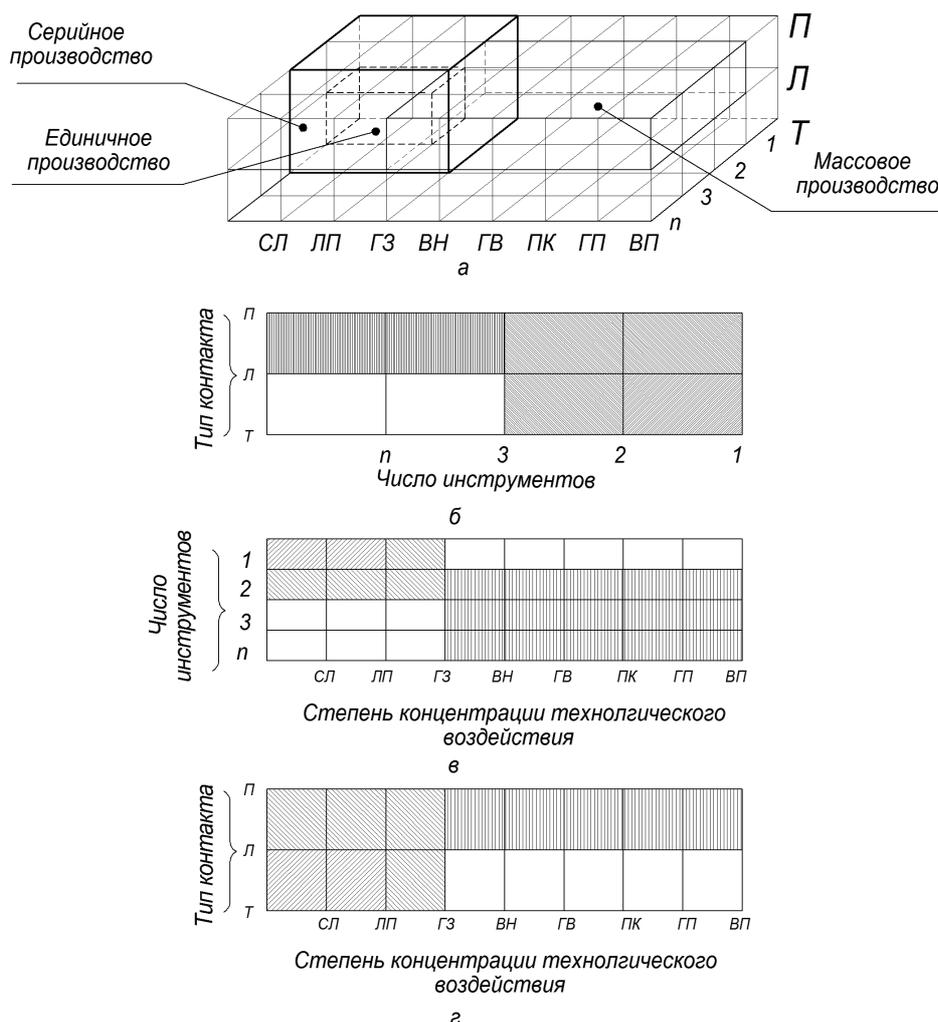


Рис. 2. Области рациональной концентрации технологического воздействия

Т – точечный контакт; Л – линейный контакт; П – поверхностный контакт; СЛ – сторона лопатки (единичная поверхность); ЛП – лопатка (две стороны – спинка и корытце); ГЛ – группа лопаток; ВН – лопаточный венец; ГВ – группа венцов; ПК – партия колес; ГП – группа партий; ВП – все партии; 1, 2, 3, n – число одновременно работающих инструментов.

Выводы

Предложенный метод комплексной оптимизации схемы срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей предусматривает выбор наиболее эффективных структур и параметров производственной системы по критериям производительности, стоимости или качеству обрабатываемых изделий.

Поиск решения проводится на основе алгоритма, предусматривающего поэтапное изменение уровня концентрации технологического воздействия, расчет ограничений всех видов и определения критерия оптимальности, при котором выбирается наиболее предпочтительный вариант.

Применение указанного метода позволяет синтезировать новые схемы формообразования и существенно повысить технико-экономические характеристики процесса: производительности – в два, три и более раз, трудоемкости на

60...70 %, точности до пределов, соответствующих существующему мировому порогу знаний.

Дальнейшим развитием разработанного метода следует считать компьютеризацию процесса поиска решения с помощью показанного алгоритма решения задачи комплексной оптимизации срезания припусков при механической обработке поверхностей моноколес газотурбинных двигателей и формирования системных баз данных для проведения оптимизационных расчетов.

Список литературы

1. Коновалов, Е. Г. Основы новых способов металлообработки / Е. Г. Коновалов. – Мн.: Изд-во АН БССР, 1961. – 297 с.
2. Родин, П. Р. Основы формообразования поверхностей резанием / П.Р. Родин. – К.: Вища школа, 1977. – 191 с.
3. Петраков, Ю. В., Модуль оптимизации токарной обработки ступенчатых валов на станках с ЧПУ / Ю. В. Петраков, Амин Афшар Камбиз // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнар. збірник наук. пр. – Вип.34. –Д.: ДонНТУ, 2008. – С.154-162.
4. Тернюк, Н. Э. Основы комплексной оптимизации технологических систем для производства зубчатых колес: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Тернюк Николай Эммануилович. – Х., 1983. – 433 с.
5. Сорокин, В. Ф. Научные основы проектирования высокопроизводительных гибких технологических систем для производства фасонных деталей энергетических машин: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Сорокин Владимир Федорович. – Х., 2009. – 450 с.
6. Петраков, Ю. В. Оптимизация токарной обработки / Ю. В. Петраков, Амин Афшар Камбиз // Вісник національного технічного ун-ту України «КПІ». Машинобудування. – 2008. – №54, – С.24-30.
7. Сорокін, В. Ф. Оптимізація схем зрізання припуску при механічній обробці осьових та відцентрових коліс ГТД / В. Ф. Сорокін, І. О. Тернюк // Сучасні проблеми науки та освіти: 13-а Міжнар. міждисциплінарна науково-практична школа-конф., 26 квітня – 05 травня 2013 р.: тези доп. – Х.: Укр. Асоц. «Жінки в науці та освіті», ХНУ ім.Каразіна. – С. 171 – 172.
8. Системно-процессное моделирование технических систем в CALS-технологиях / Н. Э. Тернюк, Ю. В. Дудукалов, В. В. Федченко, Н. Н. Гладкая // :сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ» «Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии» Вып. 49. – Х.: 2011. – С. 124 – 133.
9. Сорокін, В. Ф. Уровни концентрации технологического воздействия / В. Ф. Сорокін, І. О. Тернюк, А. В. Біловол Е. В. Шандиба // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: спец. выпуск «Новые технологии в машиностроении». – Х.: НАКУ «ХАИ», 2013. – № 4(76). – С. 73 – 79.
10. Беловол, А. В. Обеспечение производительности многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе синтеза структур технологических систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Беловол Анна Владимировна. – Харьков, 2010. – 191 с.
11. Сорокин, В. Ф. Метод прямой стабилизации контурной скорости для сплай-

нового интерполятора системы ЧПУ / В. Ф. Сорокин., В. В. Комбаров, И. А. Тернюк // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2013. – №9 (106). – С. 7 – 13.

12. Сорокин В. Ф. Расчет производительности процессов механической обработки поверхностей моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей / В. Ф. Сорокин, И. А. Тернюк // *Вестник двигателестроения*. – 2014. – №2. – С.171 –175.

13. Сорокин В. Ф. Стабилизация контурной скорости в сплайновом интерполяторе системы ЧПУ по критерию высокого быстродействия / В. Ф. Сорокин., В. В. Комбаров, И. А. Тернюк // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2014. – №8 (115). – С. 18 – 24.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Долматов А.И.,
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт», Харьков

Поступила в редакцию 08.12.14

Постановка задачі та алгоритм комплексної оптимізації схеми зрізання припусків при механічній обробці поверхонь моноколес газотурбінних двигунів

Запропоновано формалізовані постановки та наведені алгоритми вирішення задач комплексної та структурно-параметричної оптимізації схем зрізання припуску при механічній обробці моноколес компресорів і турбін газотурбінних двигунів. При цьому механічну обробку розглянуто як один із частинних процесів, а запропоновані алгоритми рішення поставленої задачі базуються на дедуктивному методі та використовують загальну постановку і метод вирішення задачі комплексної оптимізації складних технічних систем. При вирішенні задачі були враховані фізичні, геометрокінематичні та точнісні обмеження на режими різання та геометрію різального інструмента.

Ключові слова: комплексна оптимізація, механічна обробка, зрізання припуску, моноколесо, газотурбінний двигун, компресор.

Problem description and solution algorithm of the task of the complex optimization the methods of cutting allowance during machining of the gas turbine engine blisks surfaces

The article presents formalized statements of the task of complex, structural and parametrical optimization the methods of cutting allowance during machining gas turbine engine blisks surfaces and gives the algorithms for solving these tasks. Furthermore, machining process is considered as one of the partial processes and suggested algorithms for resolving assigned task are based on deductive approach and use the general formulation and the method for solving the task of sophisticated technical systems complex optimization. Physical, geometrical, kinematical and precision restrictions to cutting modes and cutting tools geometry were taken into account during resolving assigned task.

Keywords: complex optimization, machining process, cutting allowance, blisk, gas turbine engine, compressor.