

Редакционный совет:

Голенков В.А. д-р техн. наук,
проф., председатель
Радченко С.Ю. д-р техн. наук,
проф., зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук, проф.
Колчунов В.И. д-р техн. наук, проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук, проф.
Полова Л.В. д-р экон. наук, проф.
Степанов Ю.С. д-р техн. наук, проф.

Главный редактор

Степанов Ю.С. д-р техн. наук,
проф., заслуженный деятель науки
Российской Федерации

Заместители главного редактора:

Гордон В.А. д-р техн. наук, проф.
Киричек А.В. д-р техн. наук, проф.
Подмастерьев К.В. д-р техн. наук, проф.

Редколлегия:

Бабичев А.П. д-р техн. наук, проф.
Вдовин С.И. д-р техн. наук, проф.
Дмитриев А.М. д-р техн. наук, проф.,
член-кор. РАН
Емельянов С.Г. д-р техн. наук, проф.
Зубарев Ю.М. д-р техн. наук, проф.
Зубчинов В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Иванов Б.Р. д-р техн. наук, проф.
Колесников К.С. д-р техн. наук,
проф., академик РАН
Копылов Ю.Р. д-р техн. наук, проф.
Корндорф С.Ф. д-р техн. наук, проф.
Малинин В.Г. д-р физ.-мат. наук, проф.
Осадчий В.Я. д-р техн. наук, проф.
Панин В.Е. д-р техн. наук, проф.,
академик РАН
Распопов В.Я. д-р техн. наук, проф.
Смирнов В.П. д-р техн. наук, проф.

Отвественный за выпуск:

Василенко Ю.В. к.т.н., доцент

Адрес редакц. коллегии:

302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24,
41-98-03
www.ostu.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Зарег. в Федеральной службе
по надзору в сфере связи массовых
коммуникаций. Свидетельство: ПИ
№ ФС77-35719
от 24 марта 2009 года

Подписной индекс 29504
по объединенному каталогу «Пресса
России»

© ОрелГТУ, 2010

Содержание

Механика

Александров А.А., Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния сферического индентора при сверхзвуковом ударном взаимодействии с преградой.....	3
Кобзев И.О., Пахолкин Е.В. Анализ методов оценки температуры вспышки в узлах трения.....	9
Чепикова И.М., Таранов А.С. Спиретический подход в представлении технологических систем.....	17
Черненко Г.В., Зеленщиков А.В., Адигамов К.А. Влияние угла подъема ребра кожуха на производительность вертикального шнекового конвейера.....	20

Машиностроение и металлообработка

Василенко О.А., Заброда О.С., Василенко Ю.В. Способ плоского шлифования с наложением осевых колебаний на шпиндель станка.....	23
Вельт В.В., Брусос С.И. Методика расчета кинематических параметров фрезерования винтовой поверхности переменного шага.....	27
Подольна И.В., Меринов В.П. Определение режимов резания при обработке крупногабаритных деталей тел вращения фрезерованием.....	33
Селифонов В.С., Хандожко А.В. Механическое и гидроструйное резание резинотканевых листовых материалов.....	37
Зыков А.С. К вопросу совершенствования конструкций исполнительных механизмов кривошипно-шатунных пресов.....	40
Ткаченко А.Н., Ткаченко А.Н., Сотяков В.И. Оптимизация конструкции комбинированного инструмента для фрезерной обработки и алмазного выглаживания торцовых поверхностей деталей из меди.....	44

Моделирование технологических процессов

Вальман Д.Ю., Киселева С.В. Использование САД систем при проектировании комплекта технологической оснастки для обеспечения качества изготовления детали корпус фильтра в ОАО «Автоагрегат».....	51
Елифанова О.В., Троцкий Д.И. Исследование задачи выбора перечня функциональных возможностей САМ-систем при автоматизированной подготовке управляющих программ.....	57
Зайцева В.С., Барсуков Г.В., Михеев А.В. Численное моделирование проникания хрупкого индентора в анизотропную преграду при их сверхзвуковой относительной скорости.....	63
Кузнецов Н.Н., Хромов С.Ю., Савин Л.А., Анохин А.М. Расчет характеристик подшипников скольжения в шестеренных насосных агрегатах.....	68
Минаев С.Н., Райчик М.В. О моделировании зубчатых колес.....	74
Соколов А.В., Антонов А.Ю., Малинина Н.А. Создание программы для расчета ферменной конструкции произвольной конфигурации методом конечных элементов.....	78
Стеблецов Ю.Н. Прогнозирование параметров обработки зубчатых колес передачи Новикова с помощью математического моделирования.....	83
Усанов А.С., Ямникова О.А. Разработка интеллектуального модуля выбора штампа холодной листовой штамповки.....	87
Щербakov С.В., Шахбанов Р.М. Создание программы расчета стержневых конструкций методом конечных элементов.....	91

Приборостроение и системы управления

Голубев И.Г., Голубев Р.Г., Чевычелов С.А., Масленников А.В. Анализ влияния конструктивных параметров катушек индуктивности на изменение тягового усилия в вибрационном приводе.....	96
Подмастерьев А.К., Лисовская З.П. Комплексная оценка качества изготовления деталей машин в приборостроении с учетом погрешностей средств измерения.....	100
Пронькина Е.С. Организация хранения и поиска управляющих программ для оборудования с ЧПУ.....	106
Федотов Д.Е., Марков В.В. Технические возможности лазерных технологий в приборостроении.....	110

Испытания, контроль, диагностика, мониторинг

Сергеев Ю.Д. Использование электронных информационных моделей станков с ЧПУ при обучении обслуживающего персонала.....	116
Скворцова Н.А., Федоров А.В. Методика оценки конкурентоспособности технологического оборудования.....	122

Стандартизация и управление качеством

Кузьмин В.В., Марков В.В. Статистические методы контроля качества в машиностроении.....	128
Олейник О.И., Углова Н.В. Инструментарий визуального анализа в мониторинге качества продукции.....	133

Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology

The founder – The State Higher Education Professional Institution
Orel State Technical University

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof., president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof., vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech., Assistant Prof.
Astafichev P.A. Doc. Sc. Low., Prof.
Ivanova T.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Sc. Ec., Prof.
Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof., honored worker of science of Russian Federation

Editor-in-chief Assistants:

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Podmasteriev K.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial Committee

Babichev A.P. Doc. Sc. Tech., Prof.
Vdovin S.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Dmitriev A.M. Doc. Sc. Tech., Prof., Corresponding Member of RAS
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.
Zubarev Y.M. Doc. Sc. Tech., Prof.
Subchaninov V.G. Doc. Sc. Ph-Math, Prof.
Ivanov B.R. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolesnikov K.S. Doc. Sc. Tech., Prof., Academician of RAS
Korndorf S.F. Doc. Sc. Tech., Prof.
Malinin V.G. Doc. Sc. Ph-Math, Prof.
Osadchy V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.
Panin V.E. Doc. Sc. Tech., Prof., Academician of RAS
Raspopov V.Ya. Doc. Sc. Tech., Prof.
Smolenzhev V.P. Doc. Sc. Tech., Prof.

Responsible for edition:

Vasilenko Yu.V. Ass. Prof. Doc

Address

302020 Orel,
Naugorskoye Chaussee, 29
(4862) 43-48-90, 41-98-48, 55-55-24,
41-98-21
www.ostu.ru
E-mail: met_lit@ostu.ru

Journal is registered in Federal Department for Mass Communication. The certificate of registration ПИ № ФС77-35719 from 24.03.2009

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii» 29504

© OSTU, 2010

Contents

Mechanics

<i>Alexsandrov A.A., Stepanov Y.S., Barsukov G.V., Miheev A.V.</i> Numerical modeling of stress-strain state of a spherical indenter in supersonic shock interaction with the target.....	3
<i>Kobzev I.O., Paholkin E.V.</i> Analysis of methods of evaluation flashpoint in friction.....	9
<i>Chepikova I.M., Tarapanov A.S.</i> The sinergetichesky approach in representation of technological systems.....	17
<i>Chernenko G.V., Zelenshikov A.V., Adiganov K.A.</i> Effect of growth angle rib jacket for performance vertical screw conveyors.....	20

Engineering and metalworking

<i>Vasilenko O.A., Zabroda O.S.</i> Way of flat grinding with imposing of the axial fluctuations on the machine tool spindle.....	23
<i>Velt V.V., Brusov S.I.</i> The research of the kinematic parameters of helix surfaces of the variable step milling.....	27
<i>Podolina I.V., Merinov V.P.</i> Determination of cutting regimes in processing large parts of bodies of rotation milling.....	33
<i>Selifonov V.S., Khandozhko A.V.</i> Mechanical and hydrojet cutting of the rubber sheet materials duplicated by the fabric.....	37
<i>Zykov A.S.</i> To problem improving the design of the executive gears of the crank presses.....	40
<i>Tkachenko A.N., Tkachenko A.N., Sotnikov V.I.</i> Optimization design of combined tool for milling processing and the diamond caress end surface of components made of copper.....	44

Modeling engineering processes

<i>Valkman D.Y., Kiseleva S.V.</i> Using cad system for the design of the technological equipment for quality construction details steam filter in open joint-stock company «Autoagregat».....	51
<i>Epifanova O.V., Troitskai D.I.</i> Research of a problem of a choice of the list of functionality of cam-systems by the automated preparation of operating programs.....	57
<i>Zaytseva V.S., Barsukov G.V., Miheev A.V.</i> Modelling of introduction of the fragile body in the anisotropic barrier at their supersonic relative speed.....	63
<i>Kuznetsov N.N., Khromov S.Y., Savin L.A., Anohin A.M.</i> The calculations of the descriptions of sliding bearings in cog-wheel pumping aggregates.....	68
<i>Minaev S.N., Raynik M.V.</i> About gear wheels modeling.....	74
<i>Soklakov A.V., Antonov A.Y., Malinina N.A.</i> Establishment of programs for the calculation truss arbitrary configuration by finite element method.....	78
<i>Steblecov Y.N.</i> Prediction of parameters of handling of cogwheels of transmission Novikova by means of mathematical simulation.....	83
<i>Ysanov A.S., Yamnikova O.A.</i> Intellectual cold forming punch selection module development.....	87
<i>Scherbakov S.V., Shahbanov R.M.</i> Programming truss systems calculation by finite element method.....	91

Instrument Engineering

<i>Golubev I.G., Golubev R.G., Chevychelov S.A., Maslennikov A.V.</i> Analysis of influencing design factor of inductors on change of tractive effort in vibration drive.....	96
<i>Podmasteriev A.K., Lisovskaya Z.P.</i> Integrated assessment of parts manufacturing quality of devices and machines adjusted for measurement instrumentation inaccuracies.....	100
<i>Proshchalykina E.S.</i> NC codes storing and retrieval management.....	106
<i>Fedotov D.E., Markov V.V.</i> Technical possibilities of laser technologies in the device-building.....	110

Tests, control, diagnostics, monitoring

<i>Sergeev Y.D.</i> NC machine digital information models application to operator training.....	116
<i>Skvorcova N.A., Fedorov A.V.</i> Technique of an estimation of competitiveness of the process equipment.....	122

Standardization and quality control

<i>Kuzmin V.V., Markov V.V.</i> Statistics methods of quality control in the machine-building.....	128
<i>Oleynik O.I., Uglova N.V.</i> Image analysis tools in monitoring the quality of products.....	133

УДК 3539.42; 539.375

А.А. АЛЕКСАНДРОВ, Ю.С. СТЕПАНОВ, Г.В. БАРСУКОВ, А.В. МИХЕЕВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ИНДЕНТОРА ПРИ СВЕРХЗВУКОВОМ УДАРНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С ПРЕГРАДОЙ

Авторами статьи проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния сферического индентора при сверхзвуковом ударном взаимодействии с преградой, что позволяет оценить режущую способность абразивного зерна для гидроабразивного резания

Ключевые слова: индентор; проникание; абразивное зерно; анизотропная преграда

Authors of article spend numerical modelling of the is intense-deformed condition of a spherical body at supersonic shock interaction with a barrier that allows to estimate cutting ability of abrasive grain for abrasive water jet cutting

Keywords: indenter; introduction; abrasive grain; an anisotropic barrier

Одним из путей повышения эффективности гидроабразивного резания является управление процессом исходя из прогнозирования условий разрушения абразивного зерна.

Физическая основа разрушения абразива состоит в следующем. В месте контактного взаимодействия напряжение в сечении частицы становится больше критического, происходит хрупкое разрушение под действием упругой деформации, с образованием магистральной, опережающей трещины. В дальнейшем впереди магистральной трещины возникают и растут по разным направлениям и на разных близких уровнях вторичные трещины, образуя при встрече фронтов с магистральной и другими вторичными трещинами линии «скола». Глубина распространения этих трещин будет зависеть от степени напряженного деформируемого состояния в теле частицы, определяемой энергетическими условиями процесса обработки [1].

Оценку возможности зарождения трещины, в каком либо направлении можно сделать на основе решения задачи линейной теории упругости и анализе напряженно-деформированного состояния.

Рассмотрим напряженно-деформированное состояние сферического хрупкого индентора при проникании в преграду. При взаимодействии индентора с материалом преграды на сферическую поверхность действует давление (рисунок 1).

Разделим сферический индентор на две области, как показано на рисунке 2. Данную задачу будем решать в полярной системе координат.

Пусть на внешнюю кромку первой области действует нагрузка в виде:

$$P = P_{\max} \cos\left(\frac{\pi\theta}{\theta_0}\right), \quad (1)$$

где P_{\max} - значения давления при $\sin(\theta) = 0$;

θ_0 - угол, при котором происходит отрыв материала преграды от сферического индентора.

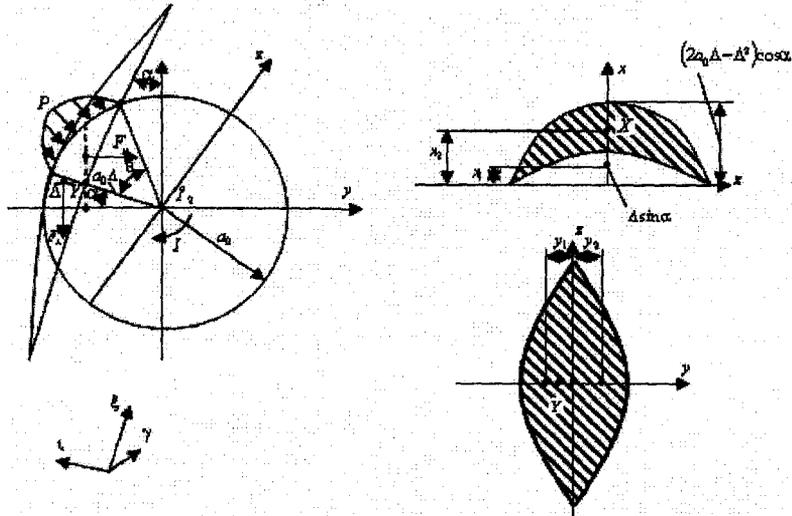


Рисунок 1 – Схема к определению сил, действующих на поверхность индентора

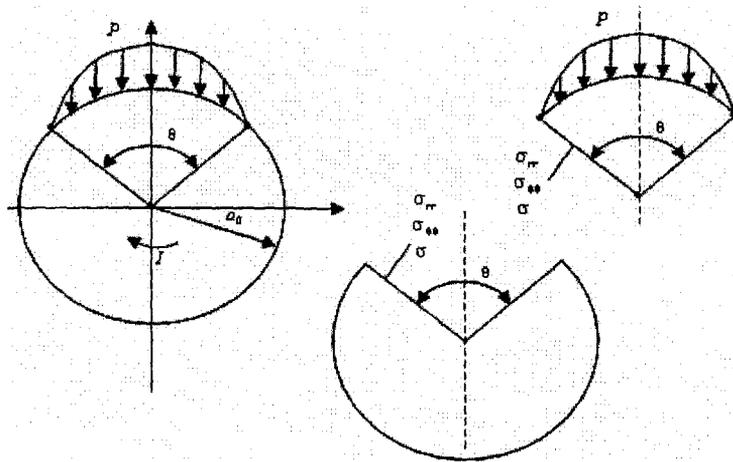


Рисунок 2 – Схема разделения сферического индентора

При таком законе нагружения из общего выражения для функции напряжений выберем наиболее подходящие слагаемые и запишем их в следующем виде:

$$\Phi_1(r, \theta) = A_1 r^3 \cos 3\theta + A_2 r^5 \cos 3\theta + A_3 r^3 \sin 3\theta + A_4 r^5 \sin 3\theta. \quad (2)$$

Выражение (2) удовлетворяет бигармоническому уравнению:

$$\nabla^2 \nabla^2 \Phi(r, \theta) = 0,$$

где $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}$ - гармонический оператор Лапласа в полярных координатах.

Используя (2), определим напряжения:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2}, \\ \sigma_{\theta\theta} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2}, \\ \sigma_{r\theta} = -\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right). \end{cases} \quad (3)$$

Получим:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = -6A_1 r \cos 3\theta - 4A_2 r^3 \cos 3\theta - 6A_3 r \sin 3\theta - 4A_4 r^3 \sin 3\theta, \\ \sigma_{\theta\theta} = 6A_1 r \cos 3\theta + 20A_2 r^3 \cos 3\theta + 6A_3 r \sin 3\theta + 20A_4 r^3 \sin 3\theta, \\ \sigma_{r\theta} = 6A_1 r \cos 3\theta + 12A_2 r^3 \sin 3\theta - 6A_3 r \cos 3\theta - 12A_4 r^3 \cos 3\theta. \end{cases} \quad (4)$$

Запишем граничные условия для первой области в виде:

$$\begin{cases} \sigma_{rr}(a_0, 0) = P_{\max}, \\ \sigma_{rr}\left(a_0, \frac{\theta_0}{2}\right) = 0, \\ \sigma_{\theta\theta}\left(a_0, \frac{\theta_0}{2}\right) = 0, \\ \sigma_{r\theta}\left(a_0, \frac{\theta_0}{2}\right) = 0. \end{cases}$$

Подставляя значение переменных в (4), получим:

$$\begin{cases} -6A_1 a_0 - 4A_2 a_0^3 = P_{\max}, \\ -6A_1 a_0 \cos \frac{3\theta_0}{2} - 4A_2 a_0^3 \cos \frac{3\theta_0}{2} - 6A_3 a_0 \sin \frac{3\theta_0}{2} - 4A_4 a_0^3 \sin \frac{3\theta_0}{2} = 0, \\ 6A_1 a_0 \cos \frac{3\theta_0}{2} + 20A_2 a_0^3 \cos \frac{3\theta_0}{2} + 6A_3 a_0 \sin \frac{3\theta_0}{2} + 20A_4 a_0^3 \sin \frac{3\theta_0}{2} = 0, \\ 6A_1 a_0 \sin \frac{3\theta_0}{2} + 12A_2 a_0^3 \sin \frac{3\theta_0}{2} - 6A_3 a_0 \cos \frac{3\theta_0}{2} - 12A_4 a_0^3 \cos \frac{3\theta_0}{2} = 0. \end{cases}$$

Для определения неизвестных необходимо решить следующее уравнение:

$$\begin{bmatrix} -6a_0 & -4a_0^3 & 0 & 0 \\ -6a_0 \cos \frac{3\theta_0}{2} & -4a_0^3 \cos \frac{3\theta_0}{2} & -6a_0 \sin \frac{3\theta_0}{2} & -4a_0^3 \sin \frac{3\theta_0}{2} \\ 6a_0 \cos \frac{3\theta_0}{2} & 20a_0^3 \cos \frac{3\theta_0}{2} & 6a_0 \sin \frac{3\theta_0}{2} & 20a_0^3 \sin \frac{3\theta_0}{2} \\ 6a_0 \sin \frac{3\theta_0}{2} & 12a_0^3 \sin \frac{3\theta_0}{2} & -6a_0 \cos \frac{3\theta_0}{2} & -12a_0^3 \cos \frac{3\theta_0}{2} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} P_{\max} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ A_3 \\ A_4 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Решив уравнение (5) и подставляя A_i в (4), определим напряжения, действующие в первой области:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{3P_{\max}}{2a_0} r \cos 3\theta - \frac{P_{\max}}{2a_0^3} r^3 \cos 3\theta - \\ - \frac{3P_{\max} \cos(w)}{2a_0 \sin(w)} r \sin 3\theta - \frac{P_{\max} \cos(w)}{2a_0^3 \sin(w)} r^3 \sin 3\theta \\ \sigma_{\theta\theta} = -\frac{3P_{\max}}{2a_0} r \cos 3\theta - \frac{5P_{\max}}{2a_0^3} r^3 \cos 3\theta + \\ + \frac{3P_{\max} \cos(w)}{2a_0 \sin(w)} r \sin 3\theta + \frac{5P_{\max} \cos(w)}{2a_0^3 \sin(w)} r^3 \sin 3\theta \\ \sigma_{r\theta} = -\frac{3P_{\max}}{2a_0} r \sin 3\theta - \frac{3P_{\max}}{2a_0^3} r^3 \sin 3\theta - \\ - \frac{3P_{\max} \cos(w)}{2a_0 \sin(w)} r \cos 3\theta - \frac{3P_{\max} \cos(w)}{2a_0^3 \sin(w)} r^3 \cos 3\theta \end{cases} \quad (6)$$

где $w = \frac{\pi\theta}{2\theta_0}$.

Для второй части сферического индентора граничные условия можно записать в следующем виде:

$$\begin{cases} \sigma_{rr}(r, \pm\omega) = B_1 r + B_2 r^3, \\ \sigma_{\theta\theta}(r, \pm\omega) = C_1 r + C_2 r^3, \\ \sigma_{r\theta}(r, \pm\omega) = D_1 r + D_2 r^3. \end{cases} \quad (7)$$

где

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{3P_{\max}}{2a_0} \cos 3\omega - \frac{3P_{\max} \cos(\omega)}{2a_0 \sin(\omega)} \sin 3\omega, \\ B_2 &= -\frac{3P_{\max}}{2a_0^3} \cos 3\omega - \frac{3P_{\max} \cos(\omega)}{2a_0 \sin(\omega)} \sin 3\omega, \\ \tilde{N}_1 &= \frac{3P_{\max} \cos(\omega)}{2a_0 \sin(\omega)} \sin 3\omega - \frac{3P_{\max}}{2a_0} \cos 3\omega, \\ \tilde{N}_2 &= \frac{5P_{\max} \cos(\omega)}{2a_0^3 \sin(\omega)} \sin 3\omega - \frac{5P_{\max}}{2a_0^3} \cos 3\omega, \\ D_1 &= -\frac{3P_{\max}}{2a_0} \sin 3\omega - \frac{3P_{\max} \cos(\omega)}{2a_0 \sin(\omega)} \cos 3\omega, \\ D_2 &= -\frac{3P_{\max} \cos(\omega)}{2a_0^3 \sin(\omega)} \cos 3\omega - \frac{3P_{\max}}{2a_0^3} \sin 3\omega. \end{aligned}$$

Так как на границе напряжения зависят от r и r^3 , то функцию напряжений можно записать в виде:

$$\Phi_2(r, \theta) = E_1 r^3 \cos \theta + E_2 r^3 \cos 3\theta + E_3 r^3 \sin \theta + E_4 r^3 \sin 3\theta, \quad (8)$$

$$\Phi_3(r, \theta) = F_1 r^5 \cos 3\theta + F_2 r^5 \cos 5\theta + F_3 r^5 \sin 3\theta + F_4 r^5 \sin 5\theta. \quad (9)$$

Для решения данной задачи расслоим сложную нагрузку, действующую на кромки V-образного выреза на более простые варианты нагружения.

Используя выражения функции напряжения (8), (9) и дифференцируя по формуле (3), получим выражения для определения напряжений во второй области:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = 2E_1 r \cos \theta - 6E_2 r^3 \cos 3\theta + 2E_3 r \sin \theta - 6E_4 r^3 \sin 3\theta, \\ \sigma_{\theta\theta} = 6E_1 r \cos \theta + 6E_2 r \cos 3\theta + 6E_3 r \sin \theta + 6E_4 r^3 \sin 3\theta, \\ \sigma_{r\theta} = 2E_1 r \sin \theta + 6E_2 r \sin 3\theta - 2E_3 r \cos \theta - 6E_4 r \cos 3\theta, \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = -4F_1 r^3 \cos 3\theta - 20E_2 r^3 \cos 5\theta - 4F_3 r^3 \sin 3\theta - 20F_4 r^3 \sin 5\theta, \\ \sigma_{\theta\theta} = 20F_1 r^3 \cos 3\theta + 20F_2 r^3 \cos 5\theta + 20F_3 r^3 \sin 3\theta + 20F_4 r^3 \sin 5\theta, \\ \sigma_{r\theta} = 12F_1 r^3 \sin 3\theta + 20F_2 r^3 \sin 5\theta - 12F_3 r^3 \cos 3\theta - 20F_4 r^3 \cos 5\theta. \end{cases}$$

При проникании в материал под углом необходимо учесть влияние вращения на напряженно-деформированное состояние материала сферического индентора. Напряжение во вращающемся инденторе определим по следующим выражениям:

$$\sigma_{rr} = \frac{3 + \mu}{8} \gamma \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 (a_0^2 - r^2), \quad (10)$$

$$\sigma_{\theta\theta} = \gamma \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \left[\frac{3 + \mu}{8} a_0^2 - \frac{1 - 3\mu}{8} r^2 \right]. \quad (11)$$

Тогда:

$$\left\{ \begin{aligned} \sigma_{rr} &= 2E_1 r \cos \theta - 6E_2 r \cos 3\theta + 2E_3 r \sin \theta - 6E_4 r \sin 3\theta - \\ &- 4F_1 r^3 \cos 3\theta - 20F_2 r^3 \cos 5\theta - 4F_3 r^3 \sin 3\theta - 20F_4 r^3 \sin 5\theta + \\ &+ \frac{3 + \mu}{8} \gamma \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 (a_0^2 - r^2) \\ \sigma_{\theta\theta} &= 6E_1 r \cos \theta + 6E_2 r \cos 3\theta + 6E_3 r \sin \theta + 6E_4 r \sin 3\theta + \\ &+ 20F_1 r^3 \cos 3\theta + 20F_2 r^3 \cos 5\theta + 20F_3 r^3 \sin 3\theta + 20F_4 r^3 \sin 5\theta + \sigma_{\theta\theta} + \\ &+ \gamma \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \left[\frac{3 + \mu}{8} a_0^2 - \frac{1 - 3\mu}{8} r^2 \right] \\ \sigma_{r\theta} &= 2E_1 r \sin \theta + 6E_2 r \sin 3\theta - 2E_3 r \cos \theta - 6E_4 r \cos 3\theta + \\ &+ 12F_1 r^3 \sin 3\theta + 20F_2 r^3 \sin 5\theta - 12F_3 r^3 \cos 3\theta - 20F_4 r^3 \cos 5\theta \end{aligned} \right. \quad (12)$$

Уравнения закона Гука в ортогональных криволинейных координатах имеют такой же вид, что и в декартовых координатах. Поэтому в случае плоского напряженного состояния имеем:

$$\left\{ \begin{aligned} \varepsilon_{rr} &= \frac{1}{E} (\sigma_{rr} - \nu \sigma_{\theta\theta}), \\ \varepsilon_{\theta\theta} &= \frac{1}{E} (\sigma_{\theta\theta} - \nu \sigma_{rr}), \\ \varepsilon_{r\theta} &= \frac{1 + \nu}{E} \sigma_{r\theta}. \end{aligned} \right. \quad (13)$$

Полученные зависимости графически отображены на рисунках 3 – 5. Расчет сделан для момента времени $T/2$, где T – время контакта индентора с поверхностью.

Таким образом, на основе законов механики хрупкого разрушения и теории Гриффитса, исследуя поля энергии упругих деформаций можно утверждать, что в местах, где энергия упругих деформаций W стремиться или равна нулю, происходит зарождение трещины. Для прогнозирования дальнейшего роста трещины в хрупком материале необходимо провести дополнительные исследование, хотя, если анализировать полученные поля напряжений, то можно наблюдать замкнутые области напряжений, на границах которых они равны нулю, что говорит о существовании условий развития трещин (рисунок 6).

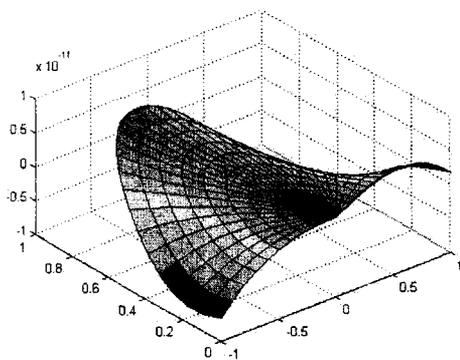


Рисунок 3 – Поверхность деформаций индентора ε_{rr}

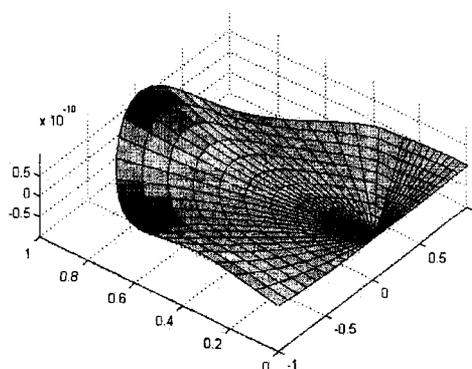


Рисунок 4 – Поверхность деформаций индентора $\varepsilon_{\theta\theta}$

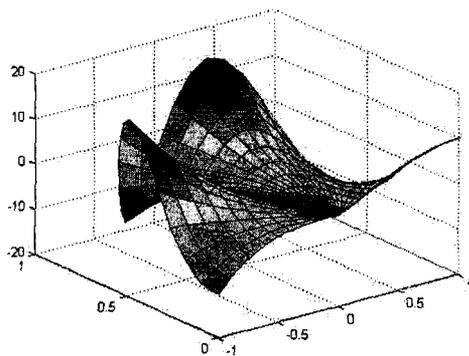


Рисунок 5 – Поверхность напряжений индентора *отг*

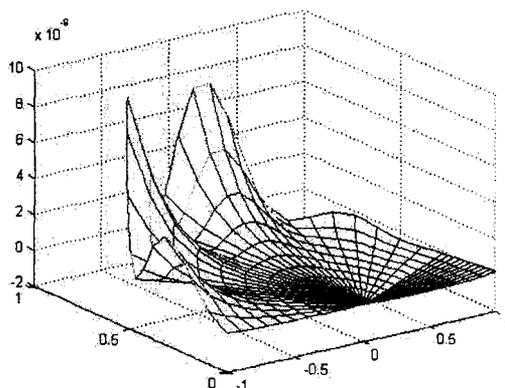


Рисунок 6 – Энергия упругих деформаций на поверхности индентора

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашеев, В. Н. Абразивное разрушение твердых тел [Текст] / В.Н. Кашеев. - М.: Наука, 1970. - 247 с.

Александров Артем Александрович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Магистр каф «Технология машиностроения и конструкторско - технологическая информатика»

Тел. (4862) 419818

E-mail: upk@ostu.ru

Степанов Юрий Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор, проректор по НР

Тел. (4862) 475071

E-mail: stepanov@ostu.ru

Барсуков Геннадий Валерьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско - технологическая информатика»

Тел. (4862) 419818

E-mail: awj@list.ru

Михеев Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, кафедра «Технология машиностроения и конструкторско - технологическая информатика»

Тел. (4862) 419818

E-mail: awj@list.ru

И.О. КОБЗЕВ, Е.В. ПАХОЛКИН

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

В работе проведен обзор экспериментальных и теоретических методов оценки температуры вспышки в узлах трения. На основе обзора выбран оптимальный метод. Показана актуальность таких исследований применительно к узлам трения с ресурсным режимом смазывания. Применение моделей тепловых процессов в трибосопряжениях может быть более эффективным при использовании экспериментально полученной информации об условиях фрикционного взаимодействия

Ключевые слова: температура вспышки, узел трения, методы оценки

In this paper we review the experimental and theoretical methods of estimating temperature flash in friction units of the resource regime of lubrication. Based on the review of selected optimal method. The urgency of such research with respect to sites of friction with the resource regime lubrication. The use of models of thermal processes in tribounit may be more effective when used experimentally obtained information about the conditions of frictional interaction.

Keywords: flash point, a knot of friction, the methods of evaluation

ВВЕДЕНИЕ

Срок службы узлов трения с ресурсным режимом смазывания напрямую зависит от срока службы смазочного материала. В таких узлах трения, в подавляющем большинстве случаев, применяют пластичные смазочные материалы. Согласно [11] их срок службы зависит от типа применяемой смазки, от рабочей температуры, от скорости, от нагрузки.

Для определения срока службы узлов трения с ресурсным режимом смазывания зарубежного производства существуют специальные таблицы и диаграммы зависимости срока службы пластичной смазки от температуры [12]. Существуют также диаграммы зависимости срока службы узлов трения с ресурсным режимом смазывания от температуры [11]. Данные диаграммы позволяют с достаточной степенью точности оценить срок службы трибоузла.

Проблема заключается в отсутствии сведений о реально существующей рабочей температуре, действию которой подвергается смазочный материал.

Таким образом, актуальной проблемой становится задача определения максимального значения рабочей температуры, воздействующей на пластичный смазочный материал при работе трибоузла.

Данная работа ограничивается рассмотрением температуры вспышки, возникающей при трении в закрытом однорядном шарикоподшипнике между рабочими поверхностями шариков и колец (температура вспышки, возникающая между телами качения и сепаратором, не рассматривается). Принимается, что тело качения осуществляет качение с проскальзыванием без кручения при действии радиальной нагрузки.

В [10] было предложено определить максимальную температуру фрикционного контакта как сумму средней объемной температуры, а также средней поверхностной температуры и температуры вспышки, рассматриваемых как приращение к объемной температуре:

$$T_{\max} = T_{\text{об}} + \Delta T_{\text{пов}} + \Delta T_{\text{всп}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{об}}$ – объемная температура;

$T_{\text{пов}}$ – средняя поверхностная температура – температура, усредненная по тонкому поверхностному слою одного из контактирующих тел;

$T_{\text{всп}}$ – температура вспышки – единичное, локальное и кратковременное повышение температуры на пятне контакта двух микронеровностей.

Среди трех составляющих температуры, приведенных в выражении (1), наибольший интерес представляет температура вспышки, приводящая к термодеструкции сма-

зочного материала, что снижает срок службы узлов трения с ресурсным режимом смазывания.

Известно, что контакт твердых тел происходит по пятнам контакта множества микронеровностей, совокупная площадь которых образует фактическую площадь контакта. Данная площадь на 3-4 порядка меньше номинальной площади контакта. Так как площадь пятна контакта двух микронеровностей очень мала, теплота, генерируемая в зоне трения, концентрируется на данных пятнах контакта. Продолжительность существования контактов (вспышек температуры) колеблется от наносекунд, до нескольких миллисекунд. За это время температура на пятнах контакта может достигать сотен градусов по Цельсию [4], что существенно превышает допустимые температуры эксплуатации смазочных материалов. Принимая во внимание недопустимость установки в ответственные изделия подшипников с потенциально низким ресурсом, целесообразным является их предварительный трибомониторинг различными методами (входной контроль, доэксплуатационный контроль, технологический прогон). Для подшипников с ресурсным режимом смазывания интерес представляет разработка методов, позволяющих оценить на этапе технологической обкатки возможные температуры в зоне трения, так как это, в свою очередь, позволяет оценивать вероятные скорости термодеструкции смазочных материалов. Одной из задач разработки методов является аналитический обзор по проблеме исследования тепловыделений в зонах трения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В работе [3] проведен обзор прямых и косвенных экспериментальных методов измерения температуры при трении. Каждый из данных методов ориентирован на измерение одной из трех составляющих максимальной температуры, определяемой выражением (1).

Среди представленных в работе [3] косвенных методов оценки температуры в зоне трения описаны метод цветных термоиндикаторов, метод легкоплавких вставок, метод оценки температуры по структурным изменениям в микрообъемах поверхностного слоя и методы, основанные на явлении термоэлектронной эмиссии.

Для оценки температуры вспышки пригодным является метод оценки температуры по структурным изменениям в микрообъемах поверхностного слоя. Метод основан на рентгеноструктурных исследованиях поверхностного слоя металла одного из трущихся тел, проводимых после некоторого цикла трения. Зная температуры полиморфных превращений металла, можно оценить температуру, достигаемую в зонах фактического контакта. Точность определения температуры таким методом зависит от интервала между соседними точками превращений.

Методу присущи следующие недостатки:

- температуру ниже самой низкой температуры превращения структуры металла метод фиксировать не позволяет, и применим для крайне узкого круга материалов;
- существенное изменение структуры слоя наблюдается лишь после длительных испытаний и является суммарным итогом многократного воздействия вспышек температуры на металл;
- структурные изменения в материале, на который действуют нормальные и касательные силы, могут происходить при более низкой температуре, чем при нагревании в свободном состоянии.

Для оценки температуры вспышки в узлах трения с ресурсным режимом смазывания, осуществляемой без демонтажа самого узла трения, данный метод не пригоден. При этом метод обладает невысокой точностью, технической сложностью и дороговизной.

Среди прямых методов измерения температуры наибольшее распространение получили методы, основанные на термопарах различной конструкции, а именно:

- метод естественной термопары;
- метод искусственной термопары;
- метод скользящей термопары;
- метод полуйскусственной термопары;

– метод комбинированной термопары.

Из всех перечисленных методов лишь метод искусственной термопары пригоден для приближенной оценки температуры вспышки. Суть метода состоит в следующем.

Термопара устанавливается в объеме трущихся тел. Спай двух проводов из различных металлов размещают в подповерхностном слое, так как при условии выхода этого спаия на поверхность трения будет измеряться температура трения этого спаия по контртелу, что недопустимо. О температуре слоя судят по разности потенциалов, образующихся при нагреве термопары. Устанавливая несколько термопар на различное расстояние от поверхности трения можно судить о распределении температуры внутри образца.

Метод имеет следующие недостатки:

- размер спаия, как правило, превышает толщину слоя, в котором локализуется основная доля тепловой энергии трения;
- нельзя получить точные данные о температуре поверхности трения в зоне контакта;
- на показания термопар оказывают влияние паразитные токи.

Необходимость монтажа термопар в объеме одного из тел трения, а также погрешности измерения, связанные с оговоренными выше недостатками, делают невозможным применение данного метода для определения температуры вспышки в период доэксплуатационного контроля узлов трения с ресурсным режимом смазывания.

Среди прямых методов измерения температуры также известен метод термосопротивления, но, как и большинство методов, основанных на термопарах, он пригоден лишь для измерения усредненного значения температуры в зоне трения.

Также к методам прямого измерения температуры относят различные пирометрические методы, основанные на зависимости между температурой, излучательной способностью тела и плотностью электрических зарядов на поверхности кристалла, воспринимающего излучение.

К преимуществам данных методов можно отнести:

- возможность наблюдения быстроизменяющихся распределений температуры;
- возможность определения температуры непосредственно в зоне трения.

Недостатки методов:

- методы предполагают демонтаж узла трения, с целью установки световода;
- применение световода вносит погрешность в результат измерений.

Приведенные выше недостатки также не позволяют использовать данные методы для решения поставленной задачи.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

В работах [4, 1] дается обзор математических моделей, описывающих зависимость температуры вспышки от ряда параметров.

Отмечается, что при решении тепловых задач широко применяют различные модельные представления, поскольку решение уравнения теплопроводности с начальными и граничными условиями, отражающими реальную геометрию контакта, условия теплоотдачи в окружающую среду (смазочный материал), изменения механических и теплофизических характеристик материалов при фрикционном нагреве является достаточно сложной проблемой. Использование же предположений в моделях фрикционного тепловыделения, с одной стороны, упрощает решение тепловой задачи, с другой – налагает ограничения на их применимость.

В данной работе рассмотрение математических моделей, описывающих температуру в зоне трения, ограничивается анализом тех моделей, которые позволяют описать зависимость температуры вспышки от условий фрикционного взаимодействия.

Исторически первой математической моделью, позволяющей описать температуру вспышки во фрикционном контакте, была модель Х. Блока (1910-2000) (*Harmen Blok*). Данная модель положила начало самостоятельному направлению в трибологии – теплофизике

трения (термотрибологии). Авторами работы [4] отмечается, что данная и в настоящее время не потеряла актуальность.

Основные положения, использованные Х. Блоком при создании данной модели, следующие:

- на поверхности трения отсутствуют различного рода пленки и загрязнения;
- контактирующие тела имеют гладкие поверхности, то есть контакт осуществляется по номинальной площади;
- теплота, выделившаяся при трении, полностью поглощается телами трения, теплоотдача в окружающую среду (в том числе и смазочный материал) отсутствует;
- трение подчиняется закону Амонтона, согласно которому коэффициент трения не зависит от нагрузки и скорости скольжения;
- удельные теплоемкости материалов контактирующих тел неограниченно велики;
- интенсивность источника, определяемая как количество теплоты, выделившееся на единице площади источника в единицу времени, распределена по его поверхности по тому же закону, что и контактное давление.

Х. Блок рассматривал источники тепловыделения различной формы (полосовой, круговой, прямоугольный) без учета их физической природы. Тепловой поток в его рассуждениях был направлен перпендикулярно плоскости источника. Решения для неподвижных и движущихся источников распространялись на случай, когда тепловой источник представлял собой единичное теплоизолированное пятно контакта.

Решения тепловой задачи Х. Блоком для основных случаев, представлены в работе [4]. Блок сформулировал критерии малых $\left(v < \frac{4 \cdot a_1}{25 \cdot r} \right)$ и больших $\left(v \geq \frac{20 \cdot a_1}{r} \right)$ скоростей, где v - скорость скольжения поверхности полупространства по неровности; a_1 - коэффициент температуропроводности материала неровности; r - радиус пятна контакта неровности с полупространством.

Х. Блок также вводит понятие коэффициента распределения тепловых потоков, который для малых скоростей определяется по формуле

$$\alpha_T = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2},$$

где λ_1 , λ_2 - коэффициенты теплопроводности неподвижной неровности и подвижной поверхности, по которой она скользит соответственно.

Рассматривая неограниченно долгое время скольжения, а также принимая, что пятно контакта неподвижной микронеровности (тело 1) с движущейся поверхностью пространства (тело 2) представляет собой круг, по поверхности которого плотность теплового потока q распределена равномерно, температуру вспышки, возникающую на неровности, он выражает следующим образом:

$$T_{всп1} = \frac{q \cdot r}{\lambda_1 + \lambda_2},$$

$$q = \frac{f \cdot N \cdot v}{\pi \cdot r^2},$$

где f – постоянный коэффициент трения;

N – нормально действующая к поверхности трения сила.

Приведенная формула справедлива для малых скоростей. Для больших скоростей максимальная температура на поверхности неровности определяется как

$$T_{всп1} = \frac{q \cdot r \cdot \psi}{\sqrt{2} \cdot (\lambda_2 \cdot \psi + \sqrt{\pi} \cdot \lambda_1)},$$

а на поверхности подвижного полупространства как

$$T_{\text{всп}2} = \frac{q \cdot r \cdot \psi}{\lambda_2 \cdot \psi + \sqrt{\pi} \cdot \lambda_1},$$

где $\psi = \sqrt{\frac{4 \cdot a_1}{v \cdot r}}$ – параметр, зависящий от скорости скольжения и размера теплового

источника. При больших скоростях коэффициент распределения тепловых потоков α_T Х. Блок определяет следующим образом

$$\alpha_T = \frac{\lambda_1 \cdot \sqrt{\pi}}{\lambda_1 \cdot \sqrt{\pi} + \lambda_2 \cdot \sqrt{\frac{16 \cdot a_1}{v \cdot L}}},$$

где L – длина контакта.

Блок показывает, что температурные поля вдоль линии контакта у движущейся поверхности и неподвижного источника тепловыделения разные: у неподвижной неровности поле симметрично относительно центра, у движущейся поверхности – смещено к задней грани контакта. Распределение температуры по длине источника тепловыделения изображено на рисунке 1

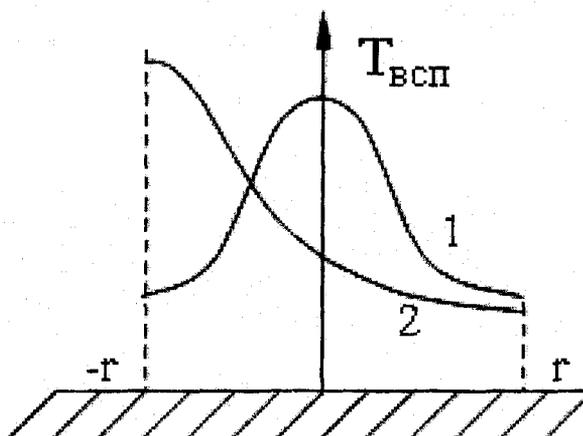


Рисунок 1 – Распределение температуры по длине источника

1 – распределение, симметричное относительно центра пятна контакта (неподвижный источник); 2 – распределение с максимумом на задней кромке пятна контакта (движущаяся поверхность).

Причем, как видно из рисунка, разными получаются и значения максимальных температур. Это заставляет Х. Блока пользоваться понятием средних максимальных температур в центре контакта. То есть для больших скоростей под максимальной температурой фрикционного контакта он понимает среднее арифметическое между температурой вспышки, возникающей на неровности и температурой вспышки возникающей на поверхности полупространства. Приравнивая эти две температуры, Х. Блок находит выражение для коэффициента распределения тепловых потоков для больших скоростей, представленное выше.

Помимо описанных выше допущений математической модели Х. Блока присущи следующие недостатки:

– Х. Блок постулировал закон распределения интенсивности тепловыделения по поверхности теплового источника, хотя в действительности он неизвестен;

– Х. Блок не учитывал взаимное влияние излучающих тепловую энергию пятен контакта, которое значительно проявляется при насыщенном пластическом контакте.

Следующей работой, посвященной описанию тепловых процессов при трении, явилась работа Егера (*Jaeger*). Егер в своих рассуждениях не затронул положений теории Блока. Однако ему удалось:

- найти распределение температуры не только при больших и малых, но и при промежуточных скоростях;
- учесть взаимное влияние единичных источников в пределах площадки контакта;
- получить распределение температуры по глубине полупространства;
- решить плоскую тепловую задачу для движущегося источника с интенсивностью, распределенной по различным законам.

Отличие решения Егера от решения Блока состоит лишь в том, что коэффициент разделения тепловых потоков он определял из условия равенства средних поверхностных, а не максимальных температур.

Математическая модель расчета температуры вспышки была также разработана Арчардом (*Archard*). Он решил тепловую задачу трения при следующих допущениях:

- единичная неровность на поверхности одного тела скользит по поверхности другого тела;
- пятно контакта представляет собой круговой тепловой источник;
- тепловые потоки в оба тела одномерны;
- коэффициент разделения тепловых потоков определяется из условия равенства средних температур контактирующих поверхностей в пределах пятна контакта;
- теплоотдача в окружающую среду отсутствует.

Арчард интерпретировал тепловой поток как термоток, проходящий через область с определенным термическим сопротивлением. Температура вспышки на неподвижном источнике определяется как:

$$T_{всп2} = \frac{Q_2}{4 \cdot r \cdot \lambda_2},$$

где Q_2 – тепловой поток, направленный в неровность;

r – радиус пятна контакта.

Эта формула также справедлива для случая движущегося источника (тела 1) при низких скоростях скольжения ($Pe < 0,4$), а при высоких скоростях ($Pe > 20$) температура вспышки движущегося источника определяется как

$$T_{всп1} = \frac{0,31 \cdot Q_1}{\lambda_1 \cdot r} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{v \cdot r}},$$

где Q_1 – тепловой поток, направленный в полупространство. Тогда при высоких скоростях температура на поверхности контакта определяется из следующего условия:

$$\frac{1}{T_{max}} = \frac{1}{T_{всп1}} + \frac{1}{T_{всп2}}.$$

Арчард учел зависимость площади контакта от нормальной нагрузки и предложил приближенную теорию температуры при упругом и пластическом контактах для больших ($Pe > 20$), и малых ($Pe < 0,4$) скоростей. Данные зависимости приведены в работе [4].

В представленных выше моделях рассматривались тепловые источники, имеющие правильную геометрическую форму пятна контакта. Но, как показывают результаты экспериментальных исследований, в действительности форма этих пятен близка к эллиптической, где большая ось эллипса параллельна направлению скольжения. Кюльманн-Вильсдорф (*Kuhlmann Wilsdorf*) модифицировала модели Блока и Егера с целью расчета температуры вспышки на эллиптическом пятне контакта. Для плоского эллиптического теплового источника температура вспышки определяется как:

$$T_{всп} = \frac{q \cdot R'}{\frac{\lambda_1}{\Phi_1(v_1) \cdot \Phi_2(e, v_1)} + \frac{\lambda_2}{\Phi_1(v_2) \cdot \Phi_2(e, v_2)}},$$

где $R' = \sqrt{\frac{\bar{A}}{\pi}}$ – характерный размер пятна контакта;

\bar{A} – средняя площадь пятна контакта;

e – отношение длины большой полуоси эллипса к малой полуоси;

Φ_1 – функция зависимости температуры от скорости, и изменяющаяся от 0,1 до 2;

Φ_2 – функция зависимости температуры от эллиптичности пятна контакта;

v_1, v_2 – скорости, соответственно, первого и второго тел [4].

В работе [10] на основании моделей Х. Блока, Д. К. Егера и Р. Хольма А.В. Чичинадзе была получена зависимость температуры вспышки на фактическом пятне касания. Температура вспышки рассматривалась как избыточная над средней температурой, и определялась выражением:

$$T_{\text{всп}} = \frac{\sqrt{2} + 1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{A_{\text{тр}} \cdot d_{\text{Г}} \cdot a_1^{0,5}}{A_{\text{Г}} \cdot t_{\text{Г}} \cdot [4 \cdot \lambda_2 \cdot a_1^{0,5} + \lambda_1 \cdot (\pi \cdot d_{\text{Г}} \cdot v_{\text{скт}})^{0,5}]},$$

где $A_{\text{тр}}$ – работа сил трения;

$d_{\text{Г}}$ – диаметр среднего пятна касания;

$A_{\text{Г}}$ – суммарная фактическая площадь контакта;

$t_{\text{Г}}$ – продолжительность трения;

$v_{\text{скт}}$ – скорость относительного перемещения поверхностей при трении.

Очевидно, что модель А.В. Чичинадзе лучше описывает зависимость температуры вспышки от параметров контакта, нежели вышеперечисленные модели, поскольку, в отличие от них учитывает:

- шероховатость поверхности трения;
- время цикла трения;
- твердость более мягкого материала тел трения;
- радиус закругления и максимальную высоту микровыступа.

Необходимо подчеркнуть, что при использовании модели температуры вспышки А.В. Чичинадзе применительно к поставленной задаче данную температуру необходимо рассматривать как приращение к средней поверхностной температуре, которая также должна быть определена как приращение к объемной температуре. Следовательно, из всех методов оценки температуры вспышки при трении наиболее подходящим является теоретический метод, основанный на математической модели, предложенной А.В. Чичинадзе.

Проблеме описания и теоретической оценки температуры вспышки посвящено достаточно много работ, среди которых работы [2, 9, 5]. Также необходимо отметить работы, посвященные теоретическим исследованиям температуры вспышки при трении скольжения в условиях смазывания [6, 7].

ПРЕДПОСЫЛКИ К ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ТРИБОДИАГНОСТИКИ

На основании выбранной математической модели ставится задача создания компьютерной модели, позволяющей связать температуру вспышки с диагностическим параметром. Причем в качестве такого параметра планируется использование активного электрического сопротивления (параметров сопротивления).

Это связано со следующими преимуществами электрических методов:

- они эффективны при решении задач диагностирования трибоконтакта в режиме трения, а также позволяют проводить мониторинг процессов разрушения смазочного слоя;
- позволяют комплексно оценивать состояние не конкретной зоны трения, а подшипника в целом;

- информация о состоянии объекта поступает непосредственно в виде электрического сигнала, что исключает трудности, связанные с преобразованием измерительного сигнала;
- диагностические параметры в зависимости от состояния подшипников изменяются на несколько порядков;
- электрические методы обладают пренебрежимо малой инерционностью [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балакин, В. А. Температурные задачи трения [Текст] / В.А. Балакин, В.П. Сергиенко, Ю.В. Лысенко // Трение и износ. - 2002. - № 3. - С. 258-267.
2. Богданович, П.Н. Влияние теплофизических свойств трущихся тел на температуру вспышки в высокоскоростном фрикционном контакте [Текст] / П.Н. Богданович, Д.В. Ткачук // Трение и износ. - 2001. - № 1. - С. 10-17.
3. Богданович, П.Н. Методы регистрации температуры при трении и механической обработке твердых тел (обзор) [Текст] / П.Н. Богданович, Д.В. Ткачук, В.М. Белов // Трение и износ. - 2006. - № 4. - С. 444-456.
4. Богданович, П.Н. Тепловые и термомеханические явления в контакте скольжения [Текст] / П.Н. Богданович, Д.В. Ткачук // Трение и износ. - 2009. - № 3. - С. 214-229.
5. Буяновский, И.А. Три стадии проявления температуры вспышки при трении [Текст] / И.А. Буяновский, Б.Э. Гурский // Трение и износ. - 1998. - № 2. - С. 187-193.
6. Маленко, И. П. Исследование температур на дискретных контактах при трении скольжения со смазочным материалом [Текст] / И.П. Маленко, П.И. Маленко // Вестник машиностроения. - 2009. - № 1. - С.39-44.
7. Маленко, П. И. Исследования влияния температур на дискретных множественных контактах на триботехнические свойства пар трения скольжения со смазочным материалом // Вестник машиностроения. - 2009. - № 10. - С. 33-42.
8. Подмастерьев, К. В. Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения [Текст] / К.В. Подмастерьев. - М.: Машиностроение - 1, 2001. - 376 с.: ил. – ISBN 5-94275-001-7.
9. Чичинадзе, А.В. К вопросу оценки температурных вспышек на фрикционном микроконтакте [Текст] / А.В. Чичинадзе, П.Н. Курочка, Н.В. Поляков [и др.] // Трение и износ. - 1999. - № 2. - С. 132-137.
10. Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) [Текст]: научное издание / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун [и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с. ил. - ISBN 5-217-03193-X (в пер.).
11. Компания МХС [Электронный ресурс] / Срок службы пластичной смазки – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.mxservis.ru>, свободный – Загл. С экрана. – Яз. рус.
12. NTN-SNR [Электронный ресурс] / Смазывание подшипников качения – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.snr.com.ru>, свободный – Загл. С экрана. – Яз. рус.

Пахолкин Евгений Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. 89208112686

E-mail: eugene_p@bk.ru

Кобзев Илья Олегович

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Аспирант кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»

Тел. 89208085387

E-mail: K87-107019@yandex.ru

И.М. ЧЕПИКОВА, А.С. ТАРАПАНОВ

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ПРЕДСТАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приводится синергетический подход к управлению технологическими системами, его сущность. Сформированы основные признаки самоорганизующихся технологических систем, их характеристики: аттракторы, точка бифуркации

Ключевые слова: синергетический подход, самоприспосабливающаяся технологическая система, винтовая поверхность, аттрактор, точка бифуркации

Its essence is resulted the synergetic approach in management of technological systems. The basic signs a self-adapting technological systems, their characteristic are generated: attractors, a point bifurcations

Keywords: the sinergetichesky approach, a self-adapting technological system, screw surface, attractor, point of bifurcation

Синергетический подход в науке во многом напоминает классический системный подход, а сама синергетика имеет важные точки соприкосновения с общей теорией систем. В синергетическом подходе, в отличие от общесистемного, изучаются конкретные принципы и механизмы самоструктурирования технических систем. В отличие от общей теории систем, синергетика сосредоточивает свое внимание на кооперативных, когерентных и самосогласованных процессах, возникающих в сложных нелинейных технологических системах. Для синергетики формирования общей системной концепции – самоорганизации, обязательно учитывается конкретное физическое содержание рассматриваемых явлений и процессов, происходящих в технологической системе. Например, автоколебания, вибрации системы, которые могут возникать произвольно в течение обработки деталей. Синергетика – обобщенная наука основанная на нелинейной динамике и термодинамике необратимых процессов. В течение короткого времени синергетика превращается во всеобщую теорию развития, имеющую весьма широкие мировоззренческие основы. Смысл и содержание этой новой интегральной науки состоит в том, что в открытых системах обменивающихся с внешней средой энергией, веществом и информацией, возникают процессы самоорганизации, т.е. процессы рождения из физического хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с новыми свойствами систем. Два фундаментальных свойства синергетических систем – это, во-первых, обязательный обмен с внешней средой энергией, веществом и информацией и, во-вторых, непрерывное взаимодействие поведения компонентов системы. Всеми этими свойствами обладают технологические системы.

В целом ряде работ отечественных и зарубежных ученых в последнее время было показано, что для естественных динамических систем свойственно наличие некоторых поверхностей притяжения – инвариантных многообразий в их пространстве состояний. Такие установившиеся образования получили название аттракторов. Аттрактор – это притягивающее множество в пространстве состояний технологических систем, характеризующихся определенными параметрами входящих подсистем. Аттракторы, которые можно интерпретировать как математический образ детерминированных неперiodических процессов, для которых невозможен долгосрочный прогноз, получили название «странных». Такие аттракторы весьма чувствительны к изменению начальных условий. Из последних работ по исследованию аттракторов нелинейных динамических систем следует, что для многих природных систем характерен режим движения по некоторым многообразиям в их пространстве состояний. Так, в природных системах переменные, характеризующие их состояние, стремятся к таким значениям, которые соответствуют некоторым соотношениям (уравнениям баланса), т.е. инвариантным многообразиям в их пространстве состояний. Существуют также аналогичные связи, накладываемые непосредственно не на переменные состояния, а на скорость их изменения. В технических системах существование задаваемых инвариантных многообразий должно обеспечиваться самой процедурой синтеза законов управления. В сложных технических системах управления при расширении разнообразия входящих в них подсистем обычно ведет к ухудшению их качества [1].

Применение инвариантных многообразий для решения задач управления различными динамическими объектами основывается на прямой аналогии между процессами в естественных системах и в технических управляемых системах. Эта аналогия базируется на фундаментальных принципах физики – законе сохранения энергии, законе сохранения количества движения, законе сохранения массы и т.д. Инвариантные многообразия, которые присущи синтезируемым системам, представляют собой некоторые функции, которые во время движения не изменяются в силу указанных законов сохранения. В механике, например, величины, которые подчиняются соответствующим законам сохранения, называют интегралами движения, являющимися некоторыми постоянными величинами. Любое механическое движение содержит в себе те или иные инвариантные величины. Изучение механического движения возможно именно в той мере, в какой удастся найти эти величины и сформулировать на их основе количественных законов энергии. Развитие науки показывает фундаментальное значение принципов сохранения, действующих не только в области механического движения. Основопологающей идеей, присущей предмету и методу науки, является идея сохранения, или, иначе, принцип инвариантности. Этот принцип содержится в структуре любой теории, описывающей то или иное природное явление. Выявление инвариантных свойств исследуемых систем позволяет сформулировать специфические закономерности функционирования технологических систем.

Развивается новый синергетический подход к синтезу систем управления нелинейными многомерными динамическими объектами технологических систем, основанный на естественном гомеостазисе – сохранении внутренних желаемых свойств технологических систем. Язык инвариантов здесь играет роль базового языка науки, определяющего системную сторону теории управления и устанавливающего непосредственную связь этой теории с фундаментальными принципами современного естествознания – принципами отбора из множества возможных инвариантных соотношений, отражающих законы сохранения в технологических системах.

Управление – это всегда то или иное воздействие на соответствующий объект. В этой связи возникает проблема создания прикладной теории управления, в возможно большей мере учитывающей естественные свойства объекта, при этом сами управленческие воздействия желательно сделать минимально возможными для достижения поставленной цели. Отсюда следует, что синергетическая теория – это, в первую очередь, теория несилового управления, не противоречащего естественному движению объекта. Синергетическая теория управления представляет собой попытку выявить и установить гармонию естества – «гонии» (от греческого слова «рождение») и искусства создания, конструирования («ургии» от греческого «деятельность»). Очень важно соблюсти пропорцию и согласованность указанных двух компонентов – природного и искусственно сотворенного – в самой структуре новой теории управления по отношению к технологическим системам [1].

Синергетический подход позволяет осуществить своего рода прорыв в области синтеза и проектирования многомерных и взаимосвязанных технологических систем управления широким классом сложных нелинейных динамических объектов различной физической природы. Этот подход нашел конкретное применение в основном для решения проблемы управления нелинейными техническими объектами (роботами, подвижными аппаратами, технологическими агрегатами и т.д.).

Классическая наука, как пишет Г. Хакен, «долгое время была занята лишь вопросами строения – но не возникновения! – структур, существующих вокруг нас [1]. Наука должна объяснить природу самозарождения и развития структур – иными словами, суть процесса самоорганизации». Классическая наука при изучении структур систем и протекающих в них процессов применяла в основном способ редукции – «разложения» изучаемой технологической системы на элементарные составляющие. Более того, сама наука подверглась подобно му разложению – на физику, химию, математику, социологию, психологию и т.д. Синергетика же, в первую очередь, занимается проблемой взаимодействия друг с другом отдельных элементов, формирующих соответствующую структуру технологической системы. Ключевая задача синергетики состоит в выявлении единых законов самоорганизации, позволяющих понять механизмы возникновения структур в царящем вокруг нас мире разнообразия. Это сверхсложная задача современной науки.

В синергетике технологическая система, рассматривается как сложная самоорганизующаяся, открытая, нелинейная система, со всеми присущими ей свойствами, зонами, принципами развития. Главная роль должна принадлежать учету именно самоорганизующихся механизмов, в том числе и хаоса, представляющего в данном случае как конструктивный механизм самоорганизации, дающий системе возможность выхода на аттрактор, заключа

ную в нем собственную тенденцию развития, инициирующую процесс самоорганизации сложных систем, в том числе технологических. Эта ситуация, когда «управление реакцией системы на изменение внешних и внутренних условий в идеале сводится к поиску «резонансных зон», где величина результата определяется не силой воздействия, а согласованностью его с внутренними свойствами» [2]. Достаточно лишь возбудить действие внутренних тенденций, и система сама построит необходимую структуру. Нужно только знать потенциальные возможности данной технологической системы и способы их стимуляции.

В основе синергетического подхода к управлению технологическими системами – механизм резонансных направляющих воздействий на нелинейную систему, в ходе развития которой всегда существует область параметров и стадий, в рамках которых нелинейная система особенно чувствительна к воздействиям, согласованным с ее внутренними свойствами, при этом воздействие может быть весьма малым. Российский исследователь И.А. Аглиуллин отмечает в этой связи, что «резонансное воздействие» означает, что важна не величина управляющего воздействия, а его правильная топология (пространственная организация), то есть согласованность с ее внутренними качествами и свойствами, являющаяся предпосылкой устойчивого развития системы в направлении достижения выдвигаемых целей [1].

Одной из важнейших стадий неустойчивости системы и восприимчивости к малым воздействиям является точка (область) бифуркации. В момент бифуркации дальнейшую судьбу системы определяют случайные воздействия (флуктуации). Флуктуация в области бифуркации может породить не только самоорганизацию благоприятной ситуации, но и подтолкнуть систему к хаосу. Возможность подобного развития событий делает особенно важным управленческое воздействие в этот момент. С другой стороны, именно в этот момент воздействие может быть опасным как никогда. Любое действие управляющей системы (в силу того, что в точке бифуркации самая малая флуктуация может быть решающей и вызывать скачок на другой аттрактор) способно привести к волне нелинейных обратных связей в системе и направить ее на проигрышный аттрактор или даже разрушить. Поэтому управление ситуацией в области бифуркации должно отвечать следующим требованиям:

- управляющие воздействие должно апеллировать, резонировать к выигрышному аттрактору;

- управляющее воздействие должно осуществляться своевременно. Процессы воздействия на объект могут выйти из-под контроля и вызвать необратимые изменения.

Таким образом, синергетический подход отвергает классическое представление об управлении сложными технологическими системами, где результат управленческих действий является однозначным. Синергетика основывается на целостной картине мира, поэтому, как правило, управление по синергетическим правилам является наиболее экологичным. Однако, именно резонансное воздействие, обращенное к «неблагоприятным», но внутренне присущим системе свойствам, может оказаться максимально разрушительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесников, А.А. Современная прикладная теория управления. Ч. II: синергетический подход в теории управления [Текст] / Под ред. А.А. Колесникова. – М.: ФЦ «Интеграция» - Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. - 559 с.
2. Пригожин, И.И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках [Текст] / И.И. Пригожин. – М.: Наука, 1985. – 327с.

Чепикова Ирина Михайловна

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

Аспирант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел. (48677) 3-11-67

E-mail: irinaangel555@gmail.com

Тарапанов Александр Сергеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орёл

д.т.н., профессор, профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»

Тел. (4862) 55-55-24

E-mail: tmsi@ostu.com

Г.В. ЧЕРНЕНКО, А.В. ЗЕЛЕНЩИКОВ, К.А. АДИГАМОВ

ВЛИЯНИЕ УГЛА ПОДЪЕМА РЕБРА КОЖУХА НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОГО ШНЕКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Приведены результаты аналитических и экспериментальных исследований шнекового конвейера с оребренным кожухом. Показано, что с увеличением угла подъема ребра кожуха производительность конвейера повышается.

Ключевые слова: *ребро кожуха, шнековый конвейер*

Results of analitik and experimental researches the conveyor having screw with a casing having edges are resulted. It is shown that with increase in an angle of lead of an edge of a casing productivity of the conveyor raises/

Keywords: *edge guard, screw conveyor*

При транспортировании грузов вертикальным шнековым конвейером типовой конструкции с гладким кожухом перемещаемый материал движется снизу вверх по винтовой траектории навстречу вращению шнека и одновременно вовлекается шнеком во вращательное движение, что в результате уменьшает скорость перемещения материала по спирали и, как следствие, производительность шнекового конвейера [1].

Одним из эффективных способов, уменьшающих вращательное движение материала вместе со шнеком, является оребрение внутренней поверхности кожуха. С целью обоснования этого положения рассмотрим взаимодействие частицы транспортируемого материала со спиралью шнека и ребром кожуха (рисунок 1).

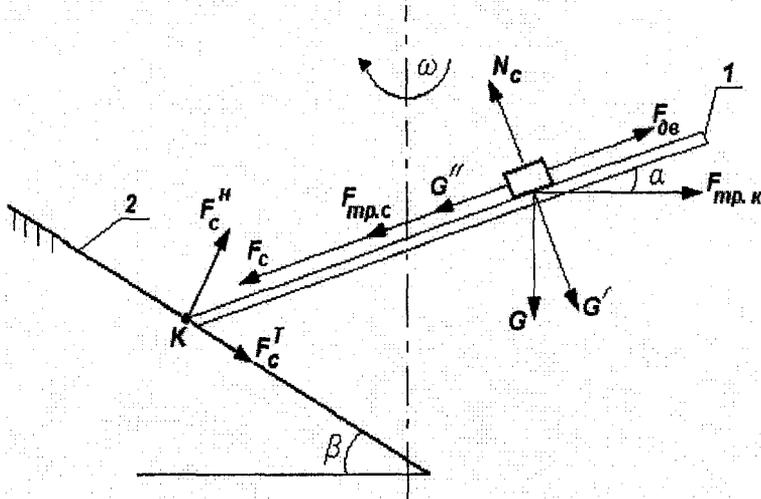


Рисунок 1 - Схема сил, действующих на частицу материала при работе шнекового конвейера с оребренным кожухом

При вращении шнека возникает движущая сила $F_{дв}$, которая перемещает частицу материала вверх по спирали. Величину этой силы можно определить из выражения:

$$F_{дв} = F_{тр.к} \cdot \cos \alpha - F_c, \quad (1)$$

где $F_{тр.к}$ - сила трения частицы материала о кожух шнекового конвейера;

α - угол подъема спирали;

F_c - сила сопротивления перемещению частицы материала по спирали.

$$F_{mp,k} = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot f_k, \quad (2)$$

где m – масса частицы материала;

ω – угловая скорость;

R – радиус шнека;

f_k – коэффициент трения частицы материала по внутренней поверхности кожуха.

$$F_c = F_{mp,ш} + G \sin \alpha, \quad (3)$$

где $F_{mp,ш}$ – сила трения частицы материала о шнек;

G – вес частицы материала.

Под воздействием спирали 1 вращающегося шнека частица материала вступает в контакт в точке K с неподвижным ребром 2, которое установлено внутри кожуха под углом β . При этом сила F_c , направленная вдоль спирали вниз, вызывает в точке контакта реакцию ребра на действие этой силы в виде нормальной F_c^n и тангенциальной F_c^T составляющих. Нормальная составляющая F_c^n отталкивает частицу материала от ребра кожуха, т.е. оказывает положительное воздействие на ее перемещение по спирали вверх, а тангенциальная составляющая F_c^T прижимает частицу материала к спирали и, тем самым, тормозит ее. Следовательно, необходимо, чтобы F_c^n имела максимальное значение, а F_c^T – минимальное.

Это условие выполняется, если нормальная составляющая реакции ребра кожуха F_c^n направлена вдоль спирали вверх, что возможно в том случае, когда ребро кожуха установлено перпендикулярно спирали шнека.

Из схемы на рисунке 2 следует:

$$F_c^n = F_c \cdot \cos \gamma, \quad F_c^T = F_c \cdot \sin \gamma, \quad (4)$$

где γ – угол между силой F_c и нормальной составляющей реакции ребра F_c^n .

Зависимости (4) показывают, что, если угол γ уменьшается, то F_c^n становится больше, а F_c^T – меньше. При $\gamma=0$

$$F_c^n = F_c, \quad F_c^T = 0. \quad (5)$$

Так как

$$\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta), \quad (6)$$

при известном угле подъема спирали шнека α из выражения (6) можно определить то значение угла подъема ребра кожуха β , при котором $\gamma = 0$:

$$\beta = 90^\circ - \alpha. \quad (7)$$

Выполненный анализ показывает, что наличие ребра, установленного на внутренней поверхности кожуха, создает дополнительное движущее воздействие на частицу материала, величина которого зависит от угла β , вследствие чего можно ожидать повышения производительности шнекового конвейера.

Проверка этого вывода выполнялась на экспериментальном стенде при транспортировании сухого песка. Шнек применялся диаметром 56 мм с шагом навивки спирали 40 мм, при этом угол подъема спирали составлял $12^\circ 42'$. Экспериментальные кожухи имели однозаходные ребра с углом подъема $20^\circ, 35^\circ, 50^\circ, 70^\circ$. Внутренний диаметр кожухов равнялся 59 мм. Эксперименты проводились при частоте вращения шнека 100, 150, 200, 250, 300 мин^{-1} . Производительность шнекового конвейера определялась как объем материала, перегруженного из загрузочного устройства стенда в мерную емкость в единицу времени. Для сравнения выполнены также эксперименты по транспортированию сухого песка шнековым конвейером с гладким кожухом, при этом и шнек, и кожух имели размеры, аналогичные предыдущим. Результаты экспериментов представлены на рисунке 3.

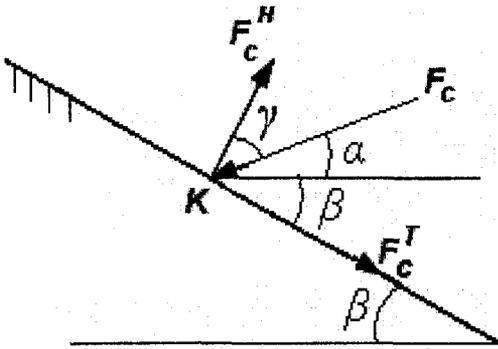


Рисунок 2 - Схема к определению угла подъема ребра кожуха β

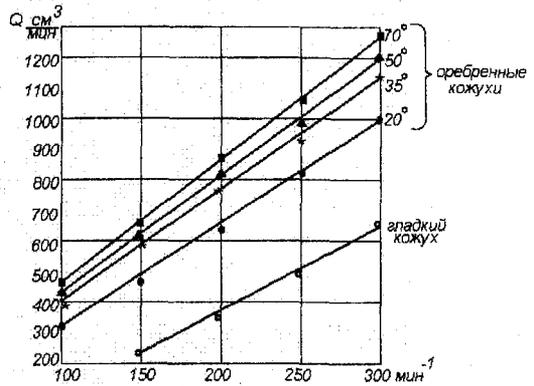


Рисунок 3 - Зависимости производительности шнекового конвейера от частоты вращения шнека при транспортировании сухого песка

Данные, представленные на рисунке 3, показывают, что производительность шнекового конвейера с оребренными кожухами значительно выше, чем при работе конвейера с гладким кожухом в исследованном диапазоне частоты вращения шнека. Так, при частоте вращения шнека $n_{ш} = 150 \text{ мин}^{-1}$ производительность выросла в 1,92-2,71 раза, при $n_{ш} = 200 \text{ мин}^{-1}$ в 1,69-2,50 раза, при $n_{ш} = 250 \text{ мин}^{-1}$ в 1,60-2,08 раза, при $n_{ш} = 300 \text{ мин}^{-1}$ в 1,50-1,95 раза. Нижние значения этих интервалов относятся к варианту, когда на шнековом конвейере был установлен кожух с углом подъема ребра 20°, верхние – при установке кожуха с углом подъема ребра 70°. Как и предполагалось, увеличение угла подъема ребра кожуха приводит к повышению производительности шнекового конвейера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры [Текст]/А.М. Григорьев.-М., «Машиностроение», 1972, 184с.

Черненко Геннадий Владимирович

Шахтинский институт (филиал) Южно-Российского государственного технического университета (НПИ), г. Шахты
Аспирант кафедры «Прикладная механика и конструирование машин»
Тел. 8-928-198-02-76
E-mail: mail@sssu.ru

Зеленщиков Александр Владимирович

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты
Аспирант кафедры «Прикладная механика и конструирование машин»
Тел. (951)-5349458
E-mail: mail@sssu.ru

Адигамов Касьян Абдурахманович

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, г. Шахты
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Прикладная механика и конструирование машин»
Тел. (918)-8546093, (928)-9216711
E-mail: mail@sssu.ru

УДК 621.923.4

О.А. ВАСИЛЕНКО, О.С. ЗАБРОДА, Ю.В. ВАСИЛЕНКО

СПОСОБ ПЛОСКОГО ШЛИФОВАНИЯ С НАЛОЖЕНИЕМ ОСЕВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ШПИНДЕЛЬ СТАНКА

Рассмотрен предварительный динамический анализ шпиндельного узла на предмет исследования его виброустойчивости с целью реализации предложенного способа шлифования

Ключевые слова: *изотропный микрорельеф; шпиндель; вибрации; гидродинамические подшипники*

Having considered the preliminary dynamic analysis of the spindle unit for the study of its vibration in order to implement the proposed method of grinding

Keywords: *isotropic microrelief; spindle; vibration; hydrodynamic bearings*

Повышение эффективности производства и создание конкурентоспособной продукции неразрывно связаны с разработкой принципиально новых технологий, позволяющих повысить точность и надежность выпускаемых машин, которые в значительной мере определяются эксплуатационными свойствами их деталей [1].

В технологии машиностроения имеются значительные резервы улучшения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин, существенно зависящие от качества поверхностного слоя.

Качество поверхности детали окончательно формируется на финишных операциях. Совершенствуется такой метод чистовой обработки, как шлифование. Широкие возможности и целесообразность применения этого метода сейчас определяется не только условиями обеспечения высокой производительности, но и созданием поверхностей с изотропным микрорельефом.

Получение поверхности с изотропным микрорельефом требует дополнительных операций обработки. Формирование на обработанной поверхности сетки перекрещивающихся микронеровностей характерно для процессов хонингования, суперфиниширования и различных комбинированных методов, которые с этой целью и вводятся в технологический процесс, однако значительно менее производительны, чем шлифование.

Поэтому актуальной проблемой является разработка научно обоснованных решений, направленных на формирование на обрабатываемой поверхности изотропного микрорельефа на этапе чистового шлифования, где такой микрорельеф будет образовываться в том случае, когда следы обработки, т.е. направления резания зерен, будут иметь различное относительное расположение.

Анализ особенностей поверхностей с изотропным микрорельефом свидетельствует не только о новизне подхода к решению проблемы качества поверхности, но и о его прогрессивности, поскольку повышаются точность и эксплуатационные характеристики деталей [2].

Необходимость обеспечения изотропного микрорельефа объясняется еще и тем, что такие поверхности обладают более высокой износостойкостью. Комплексным параметром, характеризующим микрорельеф поверхности с точки зрения износостойкости, является относительная опорная длина профиля t_p (кривая Аббота) [3]. Эта кривая показывает, что после вибрационного шлифования износ поверхности детали и период ее приработки в процессе эксплуатации значительно снижаются.

Получение изотропного микрорельефа при шлифовании может осуществляться двумя методами:

- 1) за счет изменения кинематики процесса обработки;
- 2) за счет усложнения кинематики процесса путем сообщения поперечных колебаний элементам технологической системы.

Примерами первого метода являются:

- способ круглого наружного шлифование торцом чашечного круга [4];
- способ круглого внутреннего шлифование криволинейных (радиусных) поверхностей [5].

Получение изотропного микрорельефа при плоском шлифовании может осуществляться за счет усложнения кинематики процесса шлифования:

- сообщением поперечных (осевых) колебаний инструменту;
- сообщением поперечных колебаний заготовке.

Сообщение поперечных колебаний инструменту имеет ряд преимуществ: повышение эффективности воздействия на качество поверхностного слоя деталей и производительность обработки независимости от размера и массы заготовки; повышение эффективности гидроочистки рабочей поверхности абразивного круга при использовании СОТС, что способствует снижению силы шлифования и контактной температуры в зоне обработки.

Для обоснованной оценки возможностей данного способа необходимо провести динамический анализ шпиндельного узла, который включает в себя исследование виброустойчивости подшипников.

В качестве объекта анализа выбран шпиндель шлифовального станка 3Е711ВФ1 (рисунок 1), на котором планируется проводить экспериментальную часть исследований.

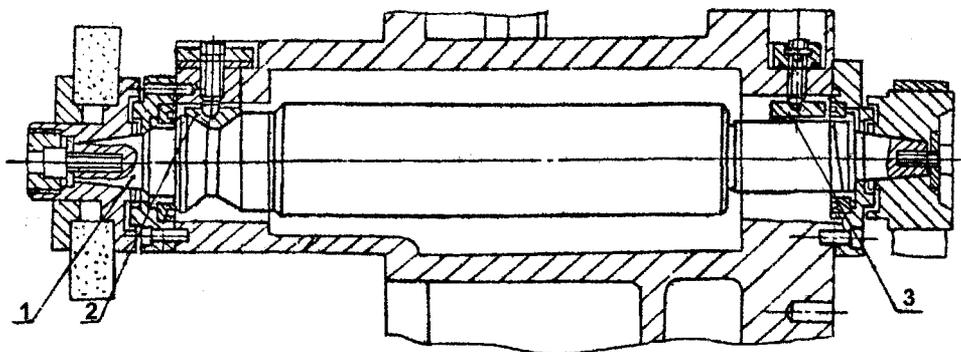


Рисунок 1 – Шпиндель шлифовального станка 3Е711ВФ1

Шпиндель 1 вращается в двух гидродинамических подшипниках 2 и 3. В передней опоре установлен сферический подшипник (рисунок 2), в задней – цилиндрический (рисунок 3).

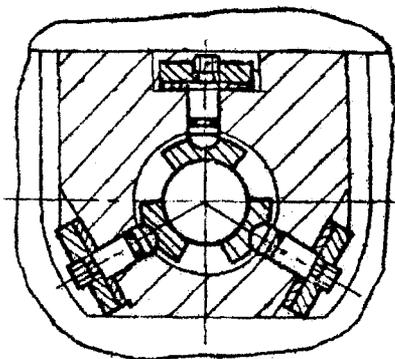


Рисунок 2 – Сферический подшипник

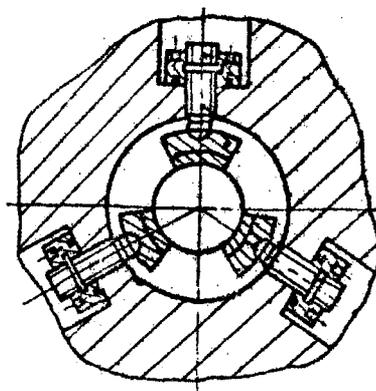


Рисунок 3 – Цилиндрический подшипник

При реализации процесса сообщения поперечных колебаний инструменту для получения изотропного микрорельефа и высокого качества поверхности, необходимо задавать частоту вибраций в пределах от 3000 до 22000 Гц. Увеличение частот колебаний оказывает существенное влияние на виброустойчивость гидродинамических подшипников и на их функционирование в целом.

Вибрационная устойчивость, как способность подшипников работать в нужном диапазоне вибраций, является определяющим критерием работоспособности станка. Действительно, увеличение уровня интенсивности вибраций приводит к повышению напряжений в подшипниках и, как следствие, снижению запаса прочности. Сообщение колебаний высокой частоты ведет к потере устойчивости, заложенной в самой природе гидродинамической смазки и может привести к росту амплитуд до величины радиального зазора [6].

Виброустойчивость подшипников зависит от гидродинамического режима смазки. Формирование этого режима происходит следующим образом. Жидкость вследствие маслянистости прилипает к твердым поверхностям и нагнетается в конфузorno-диффузорный зазор, образованный втулкой подшипника и валом (рис. 4). Этот процесс в определенной мере можно сравнить с насосным эффектом. При относительном сдвиге слоев смазки, согласно гипотезе Ньютона, вдоль смазочного слоя развивается градиент давлений [6].

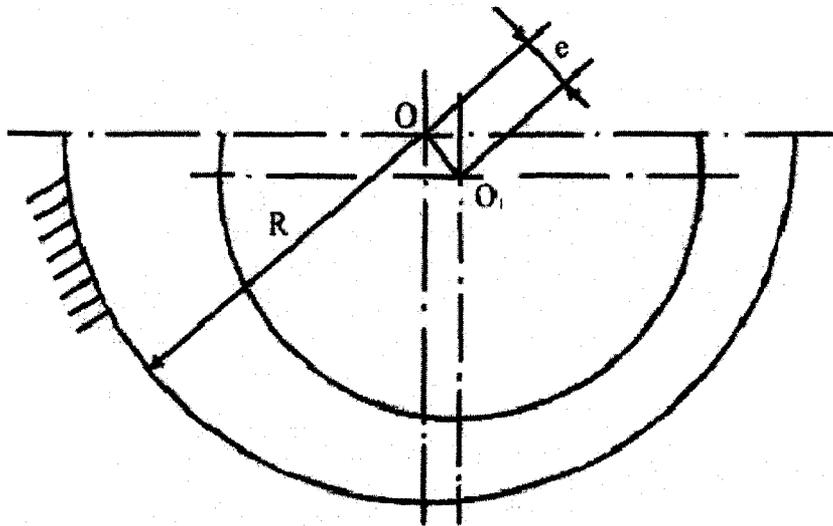


Рисунок 4 – Схема функционирования гидродинамического подшипника

Давление в конфузornoй части зазора возрастает, т.е. градиент давления положительный, а в диффузорной части смазочного слоя уменьшается. При этом наибольшее давление формируется в зоне минимального зазора. Возрастание гидродинамических давлений в связи с наложением поперечных колебаний приводит к уменьшению эксцентриситета и степени сужения зазора, что в свою очередь является причиной снижения уровня давлений. Таким образом, при жидкостном режиме смазки подшипники имеют высокие эксплуатационные характеристики. Поэтому возникает необходимость создание требуемого гидродинамического режима смазки, который бы обеспечивал виброустойчивость подшипников при сообщении осевых колебаний инструменту.

Применение современных средств проектирования в виде программных комплексов, основанных на математических моделях и эффективных вычислительных методах, требуют углубленного знания физики смазочных процессов. Поэтому основной расчет гидродинамического режима смазки подшипников основывается на том, что несущий смазочный слой должен передавать нагрузку на корпус агрегата, а его толщина при этом должна быть больше минимальной величины. Такой режим работы обеспечивает максимальную износостойкость.

Реализация гидродинамического режима смазки предполагает выполнение следующих необходимых условий:

- 1) наличие вязкостных свойств смазочного материала и смачиваемости поверхностей;
- 2) относительное движение опорных поверхностей;
- 3) отсутствие или минимальное скольжение смазочного материала по образующим несущий слой поверхностям;
- 4) наличие щелевого зазора.

Таким образом, разработка адекватной математической и программной модели гидродинамического режима смазки подшипников шпинделя шлифовального станка 3Е711ВФ1 при сообщении поперечных колебаний инструменту требует использования системного подхода для реализации экспериментальной части исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Суслов, А. Г. Научные основы технологии машиностроения [Текст] / А. Г. Суслов, А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.: ил.
2. Шнейдер, Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом [Текст] / Ю.Г. Шнейдер. – СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 264с.: ил.
3. Кремень, З.И. Технология шлифования в машиностроении [Текст] / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. Под общ. ред. З.И. Кремень. – СПб: Политехника, 2007. – 424с.: ил.
4. Козлов, А. М. Повышение качества и точности цилиндрических деталей при шлифовании [Текст] / А. М. Козлов. – Липецк: ЛГТУ, 2004. – 181 с.
5. Колтунов, И.И. Повышение точности и качества шлифования внутренних криволинейных поверхностей [Текст] / И.И. Колтунов, Ю.С. Степанов, А.С. Тарапанов. – М.: Изд-во «Машиностроение-1», 2007. – 270с.
6. Савин, Л.А. Моделирование роторных систем с опорами жидкостного трения: монография [Текст] / Л.А. Савин, О.В. Соломин. – М.: Машиностроение – 1, 2006. – 444с.

Василенко Ольга Аркадьевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Магистрант кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы»
Тел. (4862) 541451
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

Заброда Олеся Сергеевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Аспирант кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы»
Тел. (4862) 541419
E-mail: olesya_zabroda@mail.ru

Василенко Юрий Валерьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
к.т.н., доцент, декан факультета «Технология и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 541451
E-mail: vyuv-post@yandex.ru

В.В. ВЕЛЬТ, С.И. БРУСОВ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ШАГА

В статье представлена методика анализа кинематических параметров лезвийной обработки винтовой поверхности переменного шага, включающая в себя определение рабочих углов концевой фрезы и параметров срезаемого слоя, являющихся основой для определения силы резания и погрешностей обработки

Ключевые слова: винтовая поверхность; переменный шаг; фрезерование; кинематические параметры

In clause the research of the kinematic parameters of helix surfaces of the variable step processing is made including definition of real angles of a mill and of thickness of cut layers which are a basis for definition of cutting force and quality of the processing is presented

Keywords: helix surface; variable step; milling; kinematic parameters

Обработка винтовых поверхностей инструментами, у которых производящая поверхность является поверхностью вращения, занимает значительное место в общей массе производства деталей с винтовыми поверхностями. К таким инструментам относятся дисковые, пальцевые, гребенчатые фрезы, шлифовальные круги, ролики. Винтовые механизмы широко используются в различных машинах, детали одних из них работают в зацеплении и служат или для измерения частоты вращения, либо для преобразования вращательного движения в поступательное. В настоящее время широко применяются насосные установки и компрессоры, рабочие поверхности роторов этих изделий являются винтовыми поверхностями переменного шага.

Внедрение в производство винтовой поверхности другого профиля и конфигурации или применения новой схемы резания, появление новых инструментальных и обрабатываемых материалов заставляет проводить трудоемкие и дорогостоящие исследования по определению режимов резания, степени их влияния на точность и шероховатость.

Вследствие этого необходимо проведение теоретического исследования влияния метода режима обработки, а также винтовой поверхности на кинематические, силовые характеристики процесса шероховатость получаемой канавки, износ инструмента и производительность процесса.

Рассмотрим два способа формообразования винтовых поверхностей переменного шага (дисковой и концевой фрезами) на основе пространственного отображения схемы резания, что позволяет просчитать положение режущей кромки в пространстве в любой момент времени и, соответственно, определить значения рабочих углов инструмента и толщину срезаемого слоя на каждом участке режущего лезвия.

Математическое отображение схемы резания в общем виде:

$$\begin{aligned}x &= f_1(V, S, L); \\y &= f_2(V, S, L); \\z &= f_3(V, S, L),\end{aligned}\tag{1}$$

где V – параметр движения резания,

S – параметр движения подачи,

L – параметр режущего лезвия инструмента,

x, y, z – координаты точки режущего лезвия инструмента.

Для случая обработки цилиндрической винтовой поверхности дисковой фрезой математическое отображение схемы резания будет иметь следующий вид [1]:

$$\begin{aligned}
 x_i &= (\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\cos \omega + (r_i + \Delta r)\sin \varphi(V)\sin \omega + p \varphi(S); \\
 y_i &= [A_\omega + h_j - (r_i + \Delta r)\cos \varphi(V)]\cos \varphi(S) - \\
 &\quad - [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\sin \omega - (r_i + \Delta r)\sin \varphi(V)\cos \omega]\sin \varphi(S); \\
 z_i &= [A_\omega + h_j - (r_i + \Delta r)\cos \varphi(V)]\sin \varphi(S) + \\
 &\quad + [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\sin \omega - (r_i + \Delta r)\sin \varphi(V)\cos \omega]\cos \varphi(S),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где $\varphi(L)$ – расстояние от i -ой секущей плоскости, перпендикулярной оси фрезы, до центра фрезы;

r_i – радиус фрезы в i -ой секущей плоскости, перпендикулярной оси фрезы;

$\varphi(V)$ – угол поворота фрезы;

$\Delta\varphi(L)$ – приращение расстояния от секущей плоскости до центра фрезы;

Δr – приращение радиуса фрезы;

ω – угол установки инструмента;

A_ω – расстояние между осью фрезы и осью винта;

$\varphi(S)$ – угол поворота винта;

p – винтовой параметр, связанный с шагом винтовой поверхности соотношением

$p = P/2\pi$ (P – шаг винтовой поверхности).

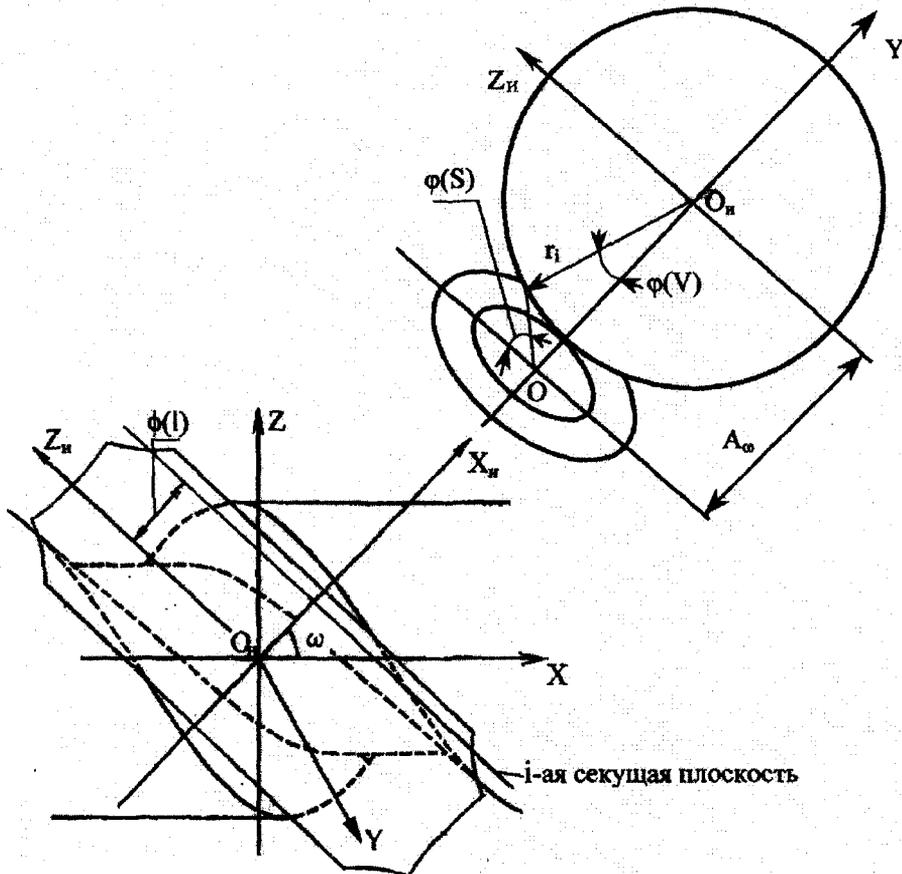


Рисунок 1 – Схема обработки винтовой поверхности дисковой фрезой

Модель винтовой поверхности переменного шага, обрабатываемой дисковой фрезой:

$$\begin{aligned} x &= (\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\cos\omega + (r_i + \Delta r)\sin\varphi(V)\sin\omega + p(\varphi(S))\varphi(S); \\ y &= [(r_i + \Delta r)\cos\varphi(V) - A_\omega]\cos\varphi(S) - \\ &\quad - [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\sin\omega - (r_i + \Delta r)\sin\varphi(V)\cos\omega]\sin\varphi(S); \\ z &= [(r_i + \Delta r)\cos\varphi(V) - A_\omega]\sin\varphi(S) + \\ &\quad + [(\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\sin\omega - (r_i + \Delta r)\sin\varphi(V)\cos\omega]\cos\varphi(S). \end{aligned} \quad (3)$$

Уравнения являются пространственным математическим отображением схемы резания при обработке винтовой поверхности дисковой фрезой в декартовой системе координат. Изменения параметра $\varphi(L)$ воспроизводит контур режущих лезвий зуба фрезы, изменение $\varphi(V)$ и $\varphi(S)$ – перемещение зуба в соответствии с кинематикой процесса.

Математическая модель схемы резания при обработке винтовой поверхности концевой фрезой может быть получена заменой оси вращения фрезы X_n на Z_n и учета того обстоятельства, что ось концевой фрезы перпендикулярна оси винта, то есть $\omega = 90^\circ$.

Таким образом, система уравнений (3) преобразуется в модель схемы резания при обработке винтовой поверхности переменного шага концевой фрезой:

$$\begin{aligned} x &= (r_i + \Delta r)\cos\varphi(V) + p(\varphi(S))\varphi(S); \\ y &= (r_i + \Delta r)\sin\varphi(V)\cos\varphi(S) - (\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\sin\varphi(S); \\ z &= (r_i + \Delta r)\sin\varphi(V)\sin\varphi(S) + (\varphi(L) + \Delta\varphi(L))\cos\varphi(S). \end{aligned} \quad (4)$$

Кинематический анализ процессов лезвийной обработки винтовых поверхностей переменного шага включает в себя определение рабочих углов инструмента и параметров срезаемого слоя, которые являются основой расчета силы резания и качества обработанной поверхности [2].

Данный расчет рабочих углов и параметров срезаемого слоя основан на применении математического отображения кинематической схемы резания, которая определяет положение любой точки режущего лезвия инструмента в процессе резания.

Вектор скорости перемещения в направлении движения резания:

$$\bar{V}_V = \left\{ \frac{\partial x}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} V_x; \frac{\partial y}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} V_y; \frac{\partial z}{\partial\varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} V_z \right\}. \quad (6)$$

Частные производные по параметру движения резания для случая обработки винтовой поверхности переменного шага концевой фрезой:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial\varphi(V)} &= r_i \sin\omega \cos\varphi(V); \\ \frac{\partial y}{\partial\varphi(V)} &= r_i(\cos\varphi(S)\sin\varphi(V) - \cos\omega \cos\varphi(V)\sin\varphi(S)); \\ \frac{\partial z}{\partial\varphi(V)} &= r_i(\sin\varphi(S)\cos\varphi(V) + \cos\omega \sin\varphi(V)\cos\varphi(S)). \end{aligned} \quad (7)$$

Вектор скорости перемещения в направлении движения подачи:

$$\bar{V}_S = \left\{ \frac{\partial x}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_x; \frac{\partial y}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_y; \frac{\partial z}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_z \right\}. \quad (8)$$

Частные производные по параметру движения подачи для обработки конической винтовой поверхности концевой фрезой:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \varphi(S)} &= \frac{dp(\varphi(S))}{d\varphi(S)} \varphi(S) + p(\varphi(S)); \\ \frac{\partial y}{\partial \varphi(S)} &= -(A_\omega - r_i \cos \varphi(V)) \sin \varphi(S) + (\varphi(L) \sin \omega - r_i \cos \omega \sin \varphi(V)) \cos \varphi(S); \\ \frac{\partial z}{\partial \varphi(S)} &= (A_\omega - r_i \cos \varphi(V)) \cos \varphi(S) - (\varphi(L) \sin \omega - r_i \cos \omega \sin \varphi(V)) \sin \varphi(S). \end{aligned} \quad (9)$$

Частные производные по параметру режущей кромки для случая обработки винтовой поверхности переменного шага прямым зубом концевой фрезой:

$$\begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \varphi(L)} &= \frac{dr}{d\varphi(L)} \sin \varphi(V) \sin \omega + \cos \omega; \\ \frac{\partial y}{\partial \varphi(L)} &= \frac{dr}{d\varphi(L)} (\sin \varphi(V) \cos \omega \sin \varphi(S) - \cos \varphi(V) \cos \varphi(S)) - \sin \omega \sin \varphi(S); \\ \frac{\partial z}{\partial \varphi(L)} &= -\frac{dr}{d\varphi(L)} (\cos \varphi(V) \sin \varphi(S) + \sin \varphi(V) \cos \omega \cos \varphi(S)) + \sin \omega \cos \varphi(S). \end{aligned} \quad (10)$$

Так как $\frac{d\varphi(V)}{d\tau} = 2\pi n$, $\frac{d\varphi(S)}{d\tau} = 2\pi n_\sigma$, где n – угол поворота фрезы, n_σ – угол поворота заготовки, то векторы скоростей перемещения в направлениях движения резания и движения подачи будут равны:

$$\begin{aligned} \bar{V}_V &= \{ r_i \sin \omega \cos \varphi(V) \cdot 2\pi n V_x; \\ r_i (\cos \varphi(S) \sin \varphi(V) - \cos \omega \cos \varphi(V) \sin \varphi(S)) \cdot 2\pi n V_y; \\ r_i (\sin \varphi(S) \cos \varphi(V) + \cos \omega \sin \varphi(V) \cos \varphi(S)) \cdot 2\pi n V_z \}. \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \bar{V}_S &= \left\{ \left(\frac{dp(\varphi(S))}{d\varphi(S)} \varphi(S) + p(\varphi(S)) \right) \cdot 2\pi n_\sigma V_x; \right. \\ &\quad - (A_\omega - r_i \cos \varphi(V)) \sin \varphi(S) + (\varphi(L) \sin \omega - r_i \cos \omega \sin \varphi(V)) \cos \varphi(S) \cdot 2\pi n_\sigma V_y; \\ &\quad \left. (A_\omega - r_i \cos \varphi(V)) \cos \varphi(S) - (\varphi(L) \sin \omega - r_i \cos \omega \sin \varphi(V)) \sin \varphi(S) \cdot 2\pi n_\sigma V_z \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Кинематическое изменение заднего угла в направлении перемещения по подаче можно определить по формуле:

$$\Delta \alpha = \operatorname{arctg} \frac{|\bar{V}_S|}{|\bar{V}_V|}. \quad (13)$$

Для вычисления толщины срезаемого слоя, необходимо получить уравнение плоско-

сти, касательной к поверхности резания в рассматриваемой точке. Эта плоскость задается тремя векторами:

$$\bar{n} = \left\{ \frac{\partial x}{\partial \varphi(L)}; \frac{\partial y}{\partial \varphi(L)}; \frac{\partial z}{\partial \varphi(L)} \right\};$$

1) вектором, касательным к режущей кромке

2) суммарным вектором скорости $\bar{V}_{VS} = \{V_{XVS}; V_{YVS}; V_{ZVS}\};$

3) вектором, задающим положение рассматриваемой точки в системе координат

$$\bar{z} = \{(x - x_A); (y - y_A); (z - z_A)\}.$$

Составляющие вектора толщины равны:

$$a_x = \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial y}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \left[- \frac{dr}{d\varphi(L)} (\cos \varphi(V) \sin \varphi(S) + \sin \varphi(V) \cos \omega \cos \varphi(S)) + \sin \omega \cos \varphi(S) \right] - \left(\frac{\partial z}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial z}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \times \left[\frac{dr}{d\varphi(L)} (\sin \varphi(V) \cos \omega \sin \varphi(S) - \cos \varphi(V) \cos \varphi(S)) - \sin \omega \sin \varphi(S) \right]; \quad (14)$$

$$a_y = \left(\frac{\partial z}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial z}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \left(\frac{dr}{d\varphi(L)} \sin \varphi(V) \sin \omega + \cos \omega \right) - \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial x}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \times \left(- \frac{dr}{d\varphi(L)} (\cos \varphi(V) \sin \varphi(S) + \sin \varphi(V) \cos \omega \cos \varphi(S)) + \sin \omega \cos \varphi(S) \right);$$

$$a_z = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial x}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \left(\frac{dr}{d\varphi(L)} (\sin \varphi(V) \cos \omega \sin \varphi(S) - \cos \varphi(V) \cos \varphi(S)) - \sin \omega \sin \varphi(S) \right) - \left(\frac{\partial y}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} + \frac{\partial y}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} \right) \times \left(\frac{dr}{d\varphi(L)} \sin \varphi(V) \sin \omega + \cos \omega \right).$$

Значение толщины срезаемого слоя в рассматриваемой точке получаем, спроектировав на направление вектора \bar{V}_S вектор \bar{a} :

$$a = \frac{\frac{\partial x}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_x \cdot a_x + \frac{\partial y}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_y \cdot a_y + \frac{\partial z}{\partial \varphi(S)} \frac{d\varphi(S)}{d\tau} V_z \cdot a_z}{\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}} \quad (15)$$

Кинематическое изменение переднего угла γ определяется по формуле:

$$\Delta \gamma = \arctg \frac{a}{\left| \frac{\partial x}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} V_x \cdot a_x + \frac{\partial y}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} V_y \cdot a_y + \frac{\partial z}{\partial \varphi(V)} \frac{d\varphi(V)}{d\tau} V_z \cdot a_z \right|} \quad (16)$$

Некоторые ключевые зависимости приведены на рисунке 2.

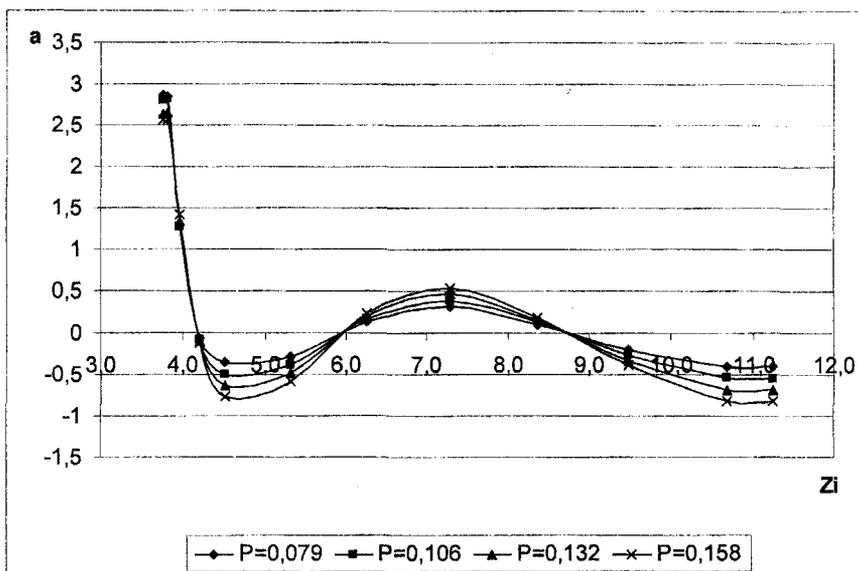


Рисунок 2 – Зависимость толщины срезаемого слоя от величины шага винтовой поверхности по длине режущей кромки концевой фрезы при обработке конической винтовой поверхности

Расчет толщины срезаемого слоя с применением математического отображения кинематической схемы резания, которая позволяет определить положение любой точки режущего лезвия концевой фрезы при обработке винтовой поверхности переменного шага, позволил определить, что при увеличении шага винтовой поверхности в два раза толщина срезаемого слоя на вершинном режущем лезвии уменьшается на 30–40% раза, на боковых кромках – также уменьшается, но очень незначительно.

В дальнейшем значения рабочих углов режущей части концевой фрезы и геометрические параметры срезаемого слоя могут быть использованы для определения силы резания, погрешностей обработки, параметров шероховатости при обработке винтовой поверхности переменного шага.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брусов, С.И. Комплексный анализ параметров лезвийной обработки винтовых поверхностей [Текст] / С.И. Брусов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. – М.: Машиностроение-1, 2006. – 128 с.
2. Брусов, С.И. Комплексный анализ и управление механической обработкой винтовых поверхностей [Текст] / С.И. Брусов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. - Издательство «Машиностроение». Справочник. Инженерный журнал. 2002. №11. – С. 27–29

Вельт Вероника Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Магистр кафедры «Технология машиностроения и конструкторско - технологическая информатика»
 Тел. (4862) 541503
 E-mail: tmsi@ostu.ru

Брусов Сергей Иванович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения и конструкторско - технологическая информатика»
 Тел. (4862) 541503
 E-mail: bsi16177@gmail.com

И.В. ПОДОЛИНА, В.П. МЕРИНОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ ФРЕЗЕРОВАНИЕМ

В данной статье рассматривается определение режимов резания при обработке крупногабаритных деталей тел вращения фрезерованием

Ключевые слова: режимы резания, тело вращения, фрезерование

In given article definition of modes of cutting at processing of large-sized details of bodies of rotation by milling is considered

Keywords: cutting modes, a rotation body, milling

Черновая обработка валов больших диаметров и длин, например валков прокатных станов и роликов зоны вторичного охлаждения машин непрерывного литья заготовок, связана со снятием значительных неравномерных припусков до 15 мм на сторону. Это объясняется тем, что заготовки таких деталей получают в основном методами свободнойковки или электрошлаковым переплавом.

Одним из наиболее производительных методов обработки длинных наружных поверхностей вращения больших диаметров со снятием значительных припусков, особенно неравномерных, является торцовое фрезерование с продольной подачей [1 – 3].

Эффективность способов фрезерования и фрезоточения заготовок типа тел вращения определяется надежным стружкодроблением, повышением стойкости режущих инструментов вследствие оптимального времени контакта с заготовкой, увеличением производительности в среднем в 1.5 - 1.8 раза [2].

Сочетание двух вращательных движений – детали с малой угловой скоростью и инструмента с большой угловой скоростью и предварительном врезании на всю глубину припуска является кинематической схемой процесса фрезерования поверхностей вращения. Припуск в этом случае, в отличие от точения, снимается не кольцевыми слоями, а отдельными элементами, заключенными между циклоидными кривыми траекторий движения резания инструментов и потому толщина среза является переменной, изменяющейся от нуля до максимального значения. Главное движение резания – вращение инструмента вокруг своей оси, движения подачи – вращение заготовки и прямолинейное движение фрезы вдоль оси детали.

При наладке на обработку торцовой фрезой ось инструмента расположена перпендикулярно оси детали. Ось фрезы может пересекаться с осью детали, но наилучшие результаты дает схема установки фрезы со смещением, отвечающая условию [1]:

$$h > r - \sqrt{t(D-t)},$$

где h – смещение оси фрезы относительно оси детали; r – радиус фрезы; t – глубина резания; D – диаметр заготовки.

На рисунке 1 представлена схема образования профиля вала в осевом сечении в результате работы главных режущих кромок [3]. В точке 1 происходит врезание зуба фрезы в деталь. Вследствие подъема на угол τ траектории относительного движения точка 1 при переносе в осевое сечение спроецирует точку 1'. Полную глубину припуска фреза снимает при пересечении ее зубьями осевого сечения в точках 2 и 3.

Если бы торцовая фреза работала без осевого перемещения, то ее зубья выходили из контакта с деталью в точке 5, расположенной симметрично относительно точки 1 и отстоящей от нее вдоль оси на расстоянии:

$$q = 2\sqrt{r^2 - [h - \sqrt{t(D-t)}]^2}.$$

Остальные величины, входящие в формулы (2), (3):

n_ϕ – частота вращения фрезы; z – число зубьев фрезы; φ – угол в плане главной режущей кромки; S_z – подача на зуб фрезы.

Ширина фрезерования равна:

$$b_\phi = \sqrt{r^2 - \left[h - \sqrt{t(D-t)} \right]^2} + \frac{S_0}{2} + \frac{S_0}{\pi D} \left[\sqrt{t(D-t)} - h + \sqrt{r^2 - \frac{S_0^2}{4}} \right]. \quad (4)$$

На основе приведенных зависимостей была разработана программа расчета режимов резания при фрезеровании тел вращения.

Выбор режимов производится в следующей последовательности:

1. Глубина резания выбирается на основе расчета припусков под обработку или технологических справочников.
2. Прямолинейная подача фрезы вдоль оси детали рассчитывается по формуле (1).
3. Скорость резания рассчитывается по известным зависимостям технологии машиностроения или выбирается по рекомендациям технологических справочников.
4. По скорости резания определяется частота вращения фрезы.
5. Частота вращения детали определяется по формуле (2).
6. Ширина фрезерования определяется по зависимости (4).
7. Коэффициент непрерывности и число зубьев фрезы, находящиеся непрерывно в работе, определяются зависимостями:

$$p = \frac{1}{2\pi} \left(\arccos \frac{h - \sqrt{t(D-t)}}{r} + \arcsin \frac{S_0}{2r} \right), \quad z' = z \cdot p.$$

8. Основное время обработки при фрезеровании равно:

$$t_0 = \frac{L}{n_a \cdot S_0} + \frac{1}{n_a},$$

где L – длина обработки

9. Для определения одного из параметров шероховатости обработанной поверхности R_z , по направляющей цилиндрической поверхности использована зависимость:

$$R_z = \frac{C \cdot t^x}{(v_\phi / v_d)^m \cdot z^y},$$

где v_ϕ – скорость резания, м/мин; v_d – скорость подачи, м/мин.

10. Профиль обработанной детали будет иметь выступ высотой:

$$\Delta = \sqrt{(R-t)^2 + (r-h)^2} - (R-t).$$

где R – радиус обрабатываемой заготовки.

11. В точке выхода зубьев фрезы из контакта с деталью на последней будет оставаться выступ, высота которого

$$\Delta_1 = \sqrt{(R-t)^2 + \left(h - \sqrt{r^2 - \frac{S_0^2}{4}} \right)^2} - (R-t).$$

Исходными данными для расчета по программе являются: диаметр и длина заготовки, диаметр и число зубьев фрезы, глубина резания, подача на зуб фрезы, период стойкости инструмента, угол в плане, значения коэффициентов, используемых для расчета скорости резания, силы резания, шероховатости.

Программа рассчитывает величину смещения оси фрезы относительно оси заготовки, подачу фрезы и условие отсутствия мест, необработанных режущими кромками, то есть условие $S_0 > q$. Если условие не выполняется, то выбирается условие $S_0 = q$.

После выполнения данных условий рассчитываются следующие параметры: частота вращения фрезы, средняя величина среза, частота вращения детали, ширина фрезерования, коэффициент непрерывности и число зубьев фрезы, одновременно находящихся в работе.

Рассчитав режимы обработки, определяется основное время и параметры качества обработанной поверхности: высота выступов и шероховатость.

Расчеты режимов резания по разработанной программе позволяет сделать следующие выводы:

1. Сравнение основного времени обработки деталей одним резцом и фрезой показало, что время обработки при фрезеровании крупногабаритных деталей тел вращения значительно (в среднем до 60%) меньше, причем оно сокращается при увеличении диаметра фрезы.

2. Основное время обработки деталей диаметрами 300-600 мм и длиной 2000 мм с использованием фрез диаметрами 125-200 мм находится в пределах 70 – 190 мин.

3. При диаметрах торцовых фрез 125-200 мм и диаметрах обрабатываемых заготовок 300 – 600 мм, подаче на зуб фрезы 0.14 мм, частоте вращения фрезы 85 – 105 мин⁻¹ частота вращения заготовки находится в пределах 0.1 – 0.5 мин⁻¹, при величине смещения фрезы в пределах 47 – 84 мм.

4. Увеличение частоты вращения детали приводит к необходимости уменьшения подачи фрезы и, как следствие, к увеличению основного времени обработки.

5. Шероховатость обработанной поверхности после фрезерования соответствовала черновому фрезерованию плоских поверхностей или полустистовому точению резцами.

Было проведено сравнение рассчитанных режимов обработки с экспериментальными исследованиями при обработке деталей из стали 25X1M1Ф диаметром 340 мм и длиной 2000 мм торцовыми фрезами диаметром 200 мм. Обработка проводилась на токарно-винторезном станке модели 165 с помощью специального приспособления, установленного на суппорте станка, с частотами вращения фрезы и детали соответственно 124 и 2 мин⁻¹. Расчеты показали хорошую сходимость результатов с экспериментами.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили полученные ранее результаты о повышении производительности обработки крупногабаритных деталей тел вращения торцовыми фрезами. Предложенная методика режимов обработки и разработанная программа позволяет выбирать режимы резания для конкретных видов обработки и позволяет выявить закономерности, действующие при фрезеровании крупногабаритных деталей тел вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Этин, А.О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием [Текст] / А.О. Этин. - М.: Машиностроение, 1964 – 323 с.
2. Ермаков, Ю.М. Комплексные способы эффективной обработки резанием [Текст] / Ю.М. Ермаков. - М.: Машиностроение, 2003 – 272 с.
3. Меринов, В.П. Повышение производительности механической обработки крупногабаритных деталей тел вращения [Текст] / В.П. Меринов. Теория и практика производства листового проката, Липецк 2008. – с.219 – 225.

Подолова Ирина Викторовна

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
студентка группы ТМ-05-1, кафедра «Технология машиностроения»
(4742) 328232
E-mail: mailbox@stu.lipetsk.ru

Меринов Виктор Петрович

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения»
(4742) 328232
E-mail: mailbox@stu.lipetsk.ru

В.С. СЕЛИФОНОВ, А.В. ХАНДОЖКО

МЕХАНИЧЕСКОЕ И ГИДРОСТРУЙНОЕ РЕЗАНИЕ РЕЗИНОТКАНЕВЫХ ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дается характеристика механическому разрезанию дисковыми фрезами и новой технологии гидроструйного раскроя резинотканевых листовых материалов. На основе проведенных экспериментальных исследований делается вывод о целесообразности промышленного применения гидрорезания для раскроя резинотканевых материалов

Ключевые слова: механическое резание, гидроструйное резание

The characteristic is given to mechanical cutting by disk mills and new technology of hydrojet cutting of the rubber sheet materials duplicated by a fabric. On the basis of the spent experimental researches the conclusion about expediency of industrial application of hydrojet cutting of the given materials becomes

Keywords: mechanical cutting, hydrojet cutting

В машиностроении резинотканевые детали (по ГОСТ 7338-77) служат для уплотнения неподвижных соединений, предотвращения трения между металлическими поверхностями, восприятия ударных нагрузок в машинах и агрегатах и т.д. Причем эти детали работают в различных рабочих средах: в воде и растворах солей, щелочи, кислоте, жирах, маслах, эмульсиях и т.д. Отдельную группу изделий, изготавливаемых на основе резинотканевых листовых материалов, составляют конвейерные ленты (по ГОСТ 20-76) для транспортирования сыпучих, кусковых и штучных грузов. Ленты изготавливают следующих видов: общего назначения, морозостойкие, теплостойкие, повышенной теплостойкости, пищевые и негорючие (для угольных шахт).

Особый интерес представляет процесс резания вышеуказанных дублированных материалов вследствие их сложного строения, и, прежде всего, с точки зрения качества обработанной поверхности. Так при механической резке дисковыми фрезами плоскостей стыков конвейерных лент (для дальнейшей вулканизации или склеивания) зачастую наблюдаются местные вырывания частиц тканевой основы и участка резины, а также разлохмаченность краев в плоскости разреза. Поэтому для устранения этих недостатков важным является строгое соблюдение режимов и условий фрезерования.

При рассмотрении процесса вырубания деталей из резинотканевых пластин одним из важных условий обработки является непрерывное смачивание водой или мыльной эмульсией режущей кромки вырубного штампа. Причем керосин, бензин и различные масла, разрушающие резину, применять категорически запрещено. Кроме того, ввиду наличия текстильных волокон и нитей в структуре резинотканевой пластины и вследствие этого, - увеличения силы резания при прохождении режущей кромки вырубного штампа по данному участку, происходит увод резака и скос боковых поверхностей детали до 0,5 мм. Это обстоятельство приводит к дополнительным трудозатратам на шлифование указанных неровностей.

Практика механической обработки деталей из резинотканевых листовых материалов с наличием указанных недостатков обусловила поиск новых, высокоэффективных, экологически чистых способов обработки. Этому вполне соответствует способ резания высоконапорной струей жидкости (ВСЖ).

На рисунке 1 представлена технологическая схема, которая характеризует процесс гидрорезания листовых и пакетных материалов, где:

P_c - давление струи;

d_c - диаметр сопла;

$\rho_{ж}$ - плотность технологической жидкости;

l - расстояние между соплом и материалом,

$\sigma_{сж}$ - предел прочности материала при сжатии;

S - подача материала относительно струи;
 h - толщина материала (или пакета);
 i - число слоев настила;
 b - ширина реза.

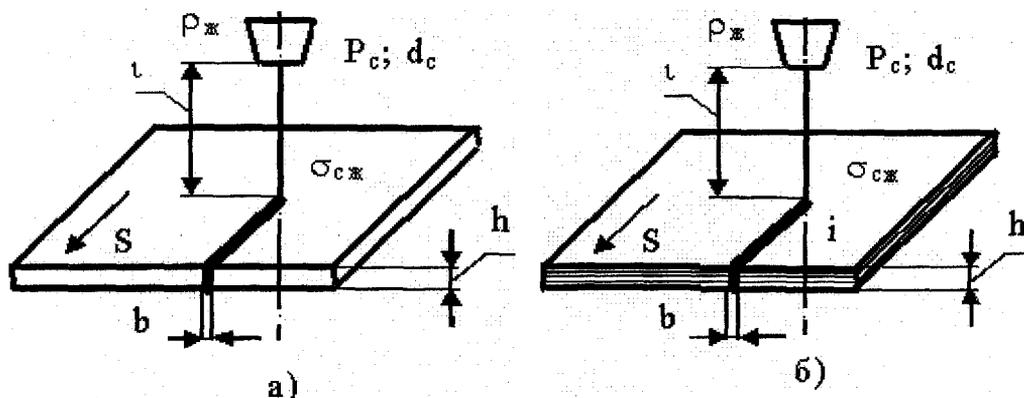


Рисунок 1 – Схемы резания листовых (а) и пакетных (б) заготовок

Проблеме гидрорезания различных материалов посвящены работы отечественных исследователей: Г. В. Барсукова, М. А. Бурашова, Р. А. Тихомирова, Е. Н. Петухова, В. Н. Подураева, О. И. Скирденко, Ю. А. Пономарева, В. С. Гуенко, И. В. Петко, И. И. Шапиро и других. Однако, необходимо заметить, что наибольшего развития вплоть до применения в массовом и крупносерийном производствах процесс гидрорезания конструкционных материалов получил за рубежом, в индустриально развитых странах.

В США, ФРГ и других странах ЕЭС, Японии, странах АТР, Канаде и др. странах за последние 35 лет ведутся разработки по созданию передовых технологий контурной, экологически чистой резки таких материалов, как алюминий, листовые полимерные материалы (стеклопластики, углепластики и др.), мрамор, гранит, кевлары и сотовые материалы, эластомеры, резина, бронированное стекло, текстиль и т. д.

Крупнейшими мировыми фирмами-производителями установок для струйной обработки являются в настоящее время американские Flow International, имеющие филиалы в Европе, и немецкие Trumpf и Bystronic [1].

Единственным отечественным производителем гидрорежущих установок, изготавливаемых на базе насосных станций типа АРБ МЗ. 104. 006, является НВП "Грот ЛТД." (г. Владимир). Всего в настоящее время этой организацией выпущено и внедрено в производство порядка 165 единиц гидрорежущего оборудования различного технологического назначения, качество и технические характеристики которого не уступают мировым стандартам.

Способ раскроя резинотканевых материалов ВСЖ обладает достаточно высокой производительностью. Это подтверждено многими отечественными и зарубежными исследователями.

Авторами в условиях ОАО «Изотерм» (г. Брянск) были проведены экспериментальные исследования по раскрою ВСЖ изделий из резинотканевых пластин (по ГОСТ 7338-77).

При вырезании деталей уплотнительных колец с использованием ВСЖ затраты времени составили 4 с., а на вырезание деталей уплотнений, имеющих большие размеры, - до 30 с. При раскрое настила в 6 слоев дневная производительность составила 6200 штук, тогда как опытный работник на прессе вырубает за 8 ч. максимально 6000 штук. В этом случае имеют место значительные отходы.

По результатам экспериментальных исследований по раскрою пакетов резинотканевых листовых материалов были разработаны рекомендации по выбору режимов резания с целью их внедрения в технологические процессы механической обработки (таблица 1).

Рекомендации разработаны с учетом оптимизации толщины пакета и величины допустимой подачи из условий обеспечения прорезаемости материалов и обеспечения требуемого качества кромки реза, когда практически отсутствует разлохмаченность текстильных волокон и нет местных вырываний резины.

Таблица 1 - Режимы резания для раскроя пакетов резинотканевых материалов ВСЖ

Обрабатываемый материал	Режимы резания					
	P, МПа	d, мм	ι, мм	S, м/мин	h, мм	i
Резинотканевые детали, вырезаемые из пластин (по ГОСТ 7338-77)	350	0,15	5-7	0,8	70	7
		0,22	5-7	0,8	90	9
		0,3	5-7	0,7	120	12
Элементы, вырезаемые из резинотканевой конвейерной ленты (по ГОСТ 20-76)	400	0,15	20	1	50	2
		0,22		1,2		
		0,3		1,5		

При обработке пакета резинотканевых деталей по ГОСТ 7338-77 отсутствует необходимость в креплении пластин на раскройном столе. Но при разрезании конвейерных лент по ГОСТ 20-76 необходимо применять специальное зажимное приспособление, т.к. раскрой ведется под углом к боковой плоскости ленты. Эта особенность обработки влечет также к увеличению параметра ι из-за необходимости и доступности размещения сопловой головки сбоку от поверхности конвейерной ленты.

Увеличение рабочего давления ВСЖ при разрезании конвейерных лент связано с необходимостью обеспечения большей силы воздействия струи из-за более твердой структуры ленты (твердость по Шору $HS_A 56$ в сравнении с резинотканевыми пластинами по ГОСТ 7338-77 - $HS_A 40$). Гарантированное разрезание прочных текстильных нитей основы ленты обеспечивается при повышении давления ВСЖ до 400 МПа и придания ей скорости порядка 1100 м/с.

Дальнейшее исследование процесса разрезания дублированных материалов требует построения аналитических зависимостей и математических моделей взаимодействия ВСЖ и частей материала, имеющего сложную структуру с обеспечением требуемых параметров качества и точности раскроя.

ВЫВОДЫ

Проведенные экспериментальные исследования процесса разрезания резинотканевых листовых материалов высоконапорной струей воды позволяют отказаться от применения специальных штампов и традиционных способов, которые зачастую не обеспечивают требуемых параметров качества и точности обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Этин, А.О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием [Текст] / А.О. Этин. - М.: Машиностроение, 1964 – 323 с.

Селифонов Виталий Сергеевич

Брянский государственный технический университет, г. Брянск
 Магистр кафедры «Металлорежущие станки и инструменты»
 (4832) 588264
 E-mail: pk@tu-bryansk.ru

Хандожко Александр Владимирович

Брянский государственный технический университет, г. Брянск
 д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
 (4832) 588264
 E-mail: pk@tu-bryansk.ru

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ КРИВОШИПНО-ШАТУННЫХ ПРЕССОВ

В работе рассмотрены основные требования, предъявляемые к исполнительным механизмам кривошипно-шатунных приводов, приведены некоторые основные пути совершенствования исполнительных механизмов, в качестве примера предложен вариант модернизации исполнительного механизма, обеспечивающий повышение эксплуатационной надёжности механического пресса.

Ключевые слова: механизм, пресс, кривошипно – шатунный.

The paper discusses the basic requirements for the actuators crank drives are some basic ways to improve implementation gears, as an example offered the option of upgrading the implementation gear, providing increasing reliability of mechanical presses.

Key words: mechanism, press, crank – crank

Механические прессы различных рабочих нагрузок широко применяются в промышленности для листовой штамповки, в т.ч. для пробивки, вырубки, гибки, вытяжки, чеканки, сборки и других технологических операций.

В механическом прессе кинематическая энергия запасается в маховике, а затем передаётся исполнительному механизму, в качестве которого наиболее часто используется кривошипный.

Срок эксплуатации прессового оборудования составляет 30 и более лет, поэтому на промышленных предприятиях широко используется кузнечно-прессовое оборудование устаревших конструкций. В настоящее время это оборудование приходит в неработоспособное состояние по причине физического износа и требуется обновление станочного парка. В условиях жёсткой конкуренции с зарубежными поставщиками отечественные производители прессового оборудования обязаны использовать инновационные разработки, повышающие технико-экономические показатели выпускаемой продукции.

К исполнительным механизмам предъявляются следующие требования:

- компактность и простота конструкции;
- надёжность эксплуатации;
- технологичность и экономичность;
- плавность пуска, снижение динамических нагрузок в период неустановившегося движения;
- точность движения;
- наличие устройств, останавливающих машину при нарушении технологического процесса;
- удобство обслуживания и ремонта

Надёжность исполнительного механизма как одной из наиболее изнашиваемых подсистем кривошипного пресса во многом определяет надёжность и безопасность эксплуатации пресса в целом, поэтому при проектировании вновь создаваемых механических прессов вопрос повышения эксплуатационной надёжности исполнительного механизма является одним из наиболее актуальных. В современных конструкциях систем включения механических прессов с точки зрения эксплуатационной надёжности выявлен ряд недостатков. Наиболее перспективными путями их устранения являются:

- обеспечение снижения нагрузок на направляющие;
- выявление и устранение избыточных связей в конструкции;
- выявление возможностей снижения радиуса кривошипа с целью снижения нагрузок на шарнирные соединения и уплотнительные устройства.

Далее в качестве примера предложен вариант совершенствования конструкции исполнительного механизма безмуфтовой системы включения кривошипно-шатунного привода с использованием ломаных шатунов. Требованиями для возможности применения ломающихся шатунов в системах включения являются: быстроходность прессы, условное ограничение по усилию прессы — 1МН.

В качестве прототипа выбрана одна из наиболее перспективных конструкций.

На рисунке 1 приведен исполнительный механизм с ломаным шатуном с приводом от пневмоцилиндра, упором на одном из звеньев и уравнишителем. Упор позволяет обеспечить заданное положение звеньев относительно друг друга.

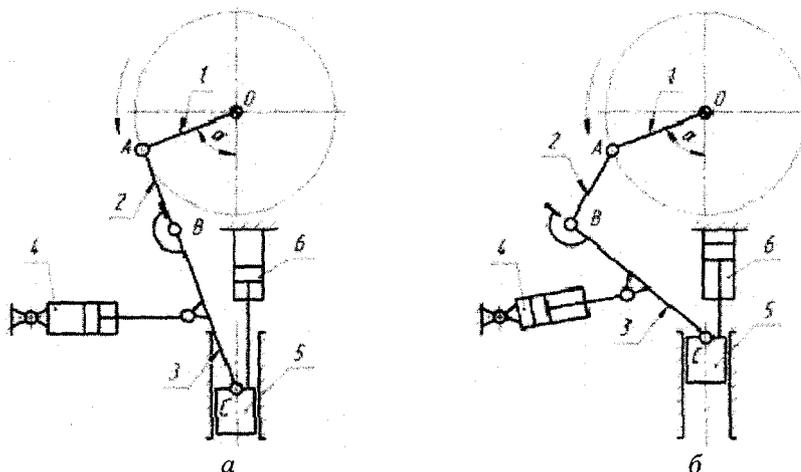


Рисунок 1 - Исполнительный механизм кривошипного прессы: а - ломаный шатун в выпрямленном рабочем положении; 1 - кривошип; 2 - верхнее звено шатуна АВ; 3 - нижнее звено шатуна ВС с упором; 4 - пневмоцилиндр; 5 - ползун; 6 - уравниватель. б - ломаный шатун в нерабочем положении

Ломаный шатун состоит из двух шарнирно соединенных между собой звеньев 2 и 3. Выпрямление «ломающегося» шатуна производится за счет кинематики кривошипного механизма в тот период, когда шарнир кривошипа 1 находится в своем верхнем положении. Скорость вертикального перемещения шатуна в этот период равна нулю и затем плавно возрастает, резких ударов не происходит.

Удержание ломаного шатуна в выпрямленном рабочем положении (см. рисунке 2, а) производится внешним устройством – пневмоцилиндром 4. Ползун 5 при этом совершает вертикальное рабочее движение вниз и затем поднимается в свое верхнее положение кривошипом 1.

В то время, когда рабочий ход не происходит, «ломающийся» шатун производит качательное движение относительно шарнира, (см. рисунок 2, б).

В данной системе включения обязательно наличие уравнивателя 6 – устройства, обеспечивающего удержание ползуна в верхнем положении.

Применение «ломающихся» шатунов в системе включения прессов позволяет выдерживать требования безопасности по прекращению рабочего хода ползуна 4 при аварийном или экстренном останове, в этом случае шатун складывается под действием системы управления, а ползун возвращается в исходное положение под действием уравнивателя 6.

Известен исполнительный механизм, содержащий смонтированные на станине и шарнирно связанные коленами ломаного шатуна ползун и приводной кривошипный вал, а также шарнирно закрепленный одним звеном на станине силовой цилиндр, при этом связанное с ползуном колено ломаного шатуна имеет рычаг, с которым шарнирно соединено второе звено силового цилиндра [1].

Недостатками известного устройства являются постоянные перемещения поршня силового цилиндра при совершении рабочих и холостых ходов, что приводит к повышенному износу уплотнительных устройств силового цилиндра и наличие постоянной нагрузки на звеньях

ломаного шатуна, поскольку удержание ползуна в верхнем положении производится за счет постоянного подъема вверх рычага нижнего звена, что приводит к повышенному износу шарнирных соединений в исполнительном механизме и дополнительным энергозатратам.

Технической задачей является повышение эксплуатационной надежности исполнительного механизма, кривошипного вала и подшипников, в которых он установлен.

На рисунке 2 показан модернизированный вариант исполнительного механизма кривошипного пресса с рычагом на верхнем колене ломаного шатуна, на рисунке 3 – то же, с рычагом на нижнем колене.

Для достижения поставленной задачи рычаг колена ломаного шатуна 5 при расположении его на верхнем колене 2 находится со стороны перемещения шарнира ломаного шатуна при его складывании, а при расположении на нижнем колене находится со стороны, противоположной стороне перемещения шарнира ломаного шатуна при его складывании, имеет на конце вертикально расположенный паз, через который проходит шток силового цилиндра 7, на котором выполнены два упора, упор 9 расположен выше рычага и имеет возможность взаимодействия с ним при движении вниз, упор 10 расположен в пазу ползуна 11 с возможностью перемещения его вдоль паза и взаимодействия с ползуном при перемещении его вверх.

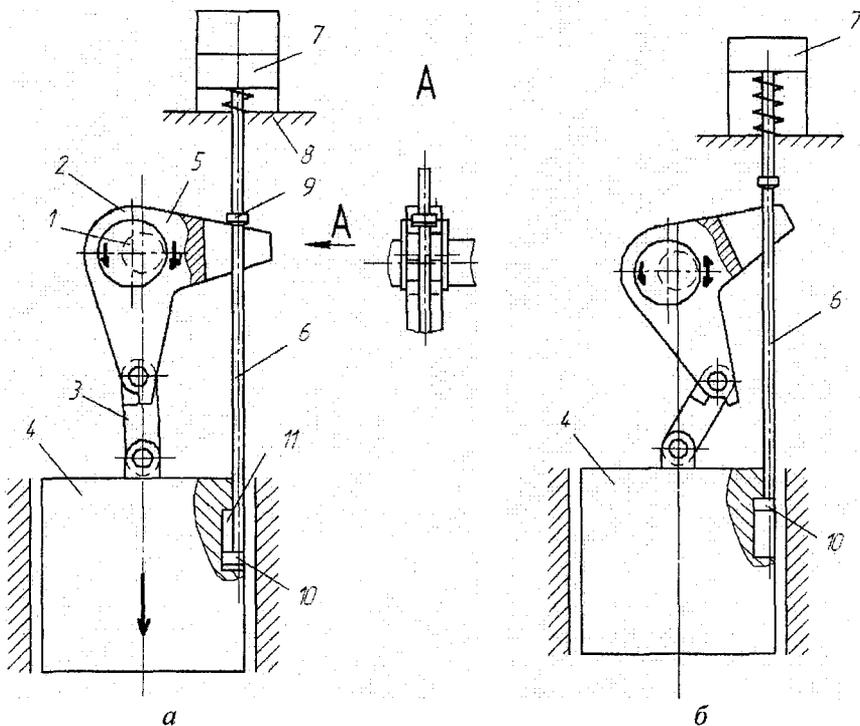


Рисунок 2 - Исполнительный механизм кривошипного пресса с рычагом на верхнем колене ломаного шатуна: а – рабочий ход; б – холостой ход

Повышение надежности кривошипного вала и подшипников, в которых он установлен, обеспечивается возможностью эксплуатации пресса с малым радиусом кривошипа и большим ходом ползуна за счет перемещения ползуна вверх силовым цилиндром выше ВМТ (верхней мёртвой точки) при выключении исполнительного механизма и последующего распрямления ломаного шатуна при включении. Исключена избыточная связь между штоком пневмоцилиндра и ползуном.

Исполнительный механизм с рычагом на нижнем колене имеет аналогичное устройство, отличается только расположением рычага.

Устройство работает следующим образом.

В режиме рабочего хода на рисунке 1 при подаче сжатого воздуха в верхнюю полость силового цилиндра 7 шток 6 перемещается вниз и нажимает установленным на нем упором 9

на рычаг 5, который проворачивает верхнее колено 2 ломаного шатуна. Ломаный шатун, состоящий из колен 2 и 3, прикрепленных шарнирно к приводному кривошипному валу 1 и ползуну 4, при этом выпрямляется и удерживается в выпрямленном положении во время совершения всего рабочего хода.

Включение исполнительного механизма должно происходить во время максимального подъема кривошипа приводного вала.

Выпрямление ломаного шатуна должно происходить до выполнения технологической операции.

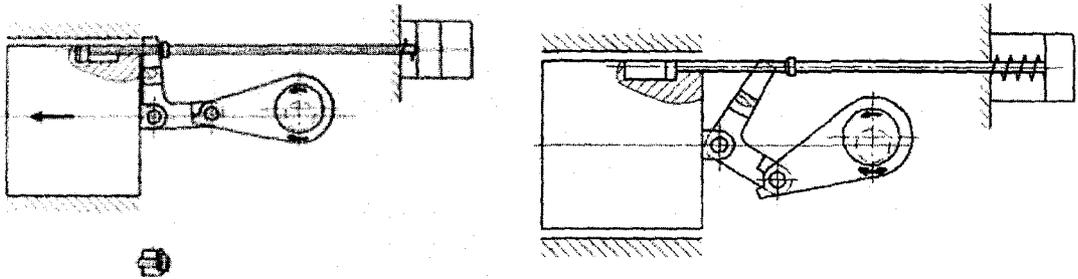


Рисунок 3 - Исполнительный механизм кривошипного прессы с рычагом на нижнем колене во время совершения рабочего хода: а - рабочий ход; б - холостой ход

В режиме холостого хода сжатый воздух удаляется из верхней полости силового цилиндра 7, шток 6 при этом перемещается вверх и удерживает упором 10 ползун 4 в крайнем верхнем положении.

Подъем ползуна 4 осуществляется кинематически приводным кривошипным валом 1, поэтому перевод силового цилиндра 7 в режим холостого хода может производиться сразу же после прохождения им крайнего нижнего положения, что ускоряет подъем ползуна и сокращает время выключения исполнительного механизма.

Таким образом, в работе рассмотрены основные пути повышения надёжности исполнительного механизма кривошипно-шатунного привода, представлена усовершенствованная конструкция исполнительного механизма, обеспечивающая повышение надёжности работы исполнительного механизма, кривошипного вала и подшипников, в которых он установлен благодаря возможности работы прессы с малым радиусом кривошипа и большим ходом ползуна за счет перемещения ползуна вверх силовым цилиндром выше ВМТ при выключении исполнительного механизма и последующего распрямления ломаного шатуна при включении, исключена избыточная связь между ползуном и штоком пневмоцилиндра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство СССР №905119 В 30В 1/26.
2. Бигун, О.П. Открытый однокривошипный пресс с рычажно-пневматическим механизмом включения [Текст] / О.П. Бигун. - «Кузнечно-штамповое производство». №9, 1977, с. 35, рис. 2.
3. Бочаров, Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование [Текст] / Ю.А. Бочаров. - М.:Издательский центр «Академия», 2008. 480 с.
4. Банкетов, А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование [Текст] / А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров - М.: Машиностроение, 1982. 576 с.
5. Власов, В. И. Системы включения кривошипных прессов [Текст] / В.И. Власов. - М.: Машиностроение, 1969.
6. Ковалев, В.В. Разработка и исследование методов повышения технического уровня горячештамповочных и листоштамповочных кривошипных прессов [Текст] / Ковалев, В.В. - Дис. д-ра техн. наук : 05.03.05 Воронеж, 2006.
7. «Exzenterpressen Umrusten von Pressen» [Текст] / журнал «Eisen und Stahl», №12, 1977.

Зыков Алексей Сергеевич

Курский государственный технический университет, г. Курск

Аспирант кафедры "Машиностроительные технологии и оборудование"

Тел. 89081203859

E-mail: zykov_alexey@mail.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ФРЕЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ И АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ТОРЦОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕДИ

В работе рассмотрена оптимизация конструкции комбинированного инструмента для фрезерной обработки и алмазного выглаживания торцовых поверхностей деталей из меди, выполняемые за один проход. В процессе оптимизации построены расчётные схемы и определены зависимости, которые учитывают основные геометрические параметры.

Ключевые слова: комбинированный инструмент, расчётная схема, геометрический анализ параметров, поверхностная пластическая деформация, алмазное выглаживание.

The paper considers the optimization of the design combined tool for milling and the diamond caress end surfaces of parts made of copper, performed in one pass. In the process of optimization design schemes are built and identified according to uchityvayuet basic geometric parameters.

Keywords: combined tool, design scheme, the geometric analysis of the parameters, superficial plastic deformation, the diamond caress.

В настоящее время на большинстве предприятий, изготавливающих диоды большой мощности (рисунок 1), используются устаревшие технологические процессы, предусматривающие для обработки торцовой поверхности деталей, образующей $p-n$ переход 2, две операции: точение на токарном и шлифование на плоскошлифовальном станке.

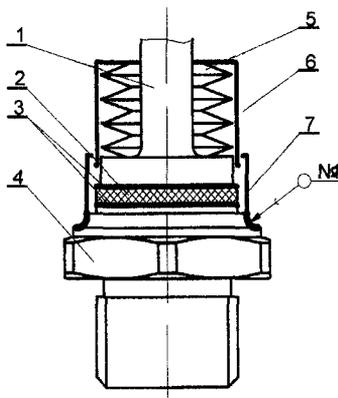


Рисунок 1 – Конструкция плоскостного диода большой мощности

1 – анод; 2 – $p-n$ переход (кремний+молибден); 3 – посеребренные прокладки из тонкой меди; 4 – основание; 5 – тарельчатые пружины; 6 – стакан; 7 – кольцо; №1 паяное соединение (припой серебряный)

Данные технологии далеки от совершенства, так как после точения торцовая поверхность имеет низкое качество, а в центре торца из-за погрешности установки резца по оси шпинделя остается не срезанный “хвост”. Кроме того, процесс шлифования является трудоемким и не самым удачным решением при обработке такого материала, как медь. При шлифовании меди имеет место быстрое засаливание шлифовального круга, что требует частой его правки, и наблюдается шаржирование абразивных зерен в обрабатываемую поверхность, ухудшающее ее качество.

Для повышения качества и производительности обработки плоских торцовых поверхностей деталей из меди и других мягких материалов предлагается использовать комбинированный способ [1, 2], сочетающий обработку резанием и поверхностным пластическим деформированием с применением комбинированного режущего инструмента.

Применение комбинированного инструмента позволяет совмещать несколько переходов и даже операций в одну. Преимущества комбинированного инструмента заключаются в увеличении производительности (за счет уменьшения машинного и вспомогательного времени на обработку заготовки), удешевлении операций (за счет применения более простых станков), возможности удаления значительных припусков (за счет совмещения работы нескольких режущих инструментов). Однако комбинированные инструменты сложны в изготовлении и дороже. Несмотря на это, в массовом и крупносерийном производстве они вполне рентабельны.

Все комбинированные инструменты можно подразделить на две основные группы:

- 1) состоящие из инструментов одного и того же вида;
- 2) состоящие из инструментов разных видов.

Рассматриваемый комбинированный инструмент, относится ко второй группе, объединяющий обработку металлов резанием и пластическим деформированием поверхностного слоя плоского торца заготовок из меди (рисунок 2).

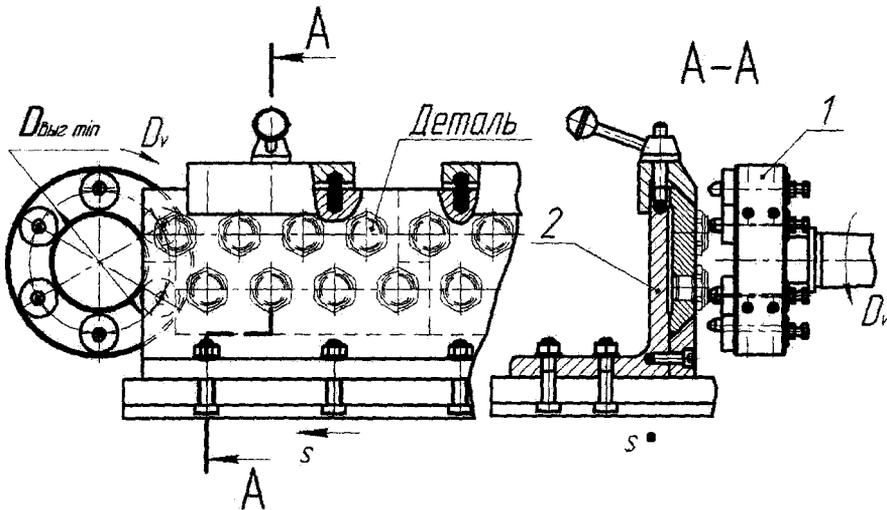


Рисунок 2 – Комбинированный инструмент и приспособление для фрезерной обработки торцовых поверхностей деталей «Основание»
1 – комбинированная фреза; 2 – приспособление.

Для регулировки резца и выглаживателя в радиальном направлении используются эксцентриковые втулки, располагаемые на определённых расстояниях от оси вращения фрезы.

Значения геометрических параметров режущей части резца для обработки меди определяем по карте 2 нормативов [3], по которой:

$$\varphi = 75^\circ; \varphi_1 = 15^\circ; R_{рез} = 0,4 \text{ мм}; \gamma = 25^\circ; \alpha = 12^\circ; \alpha_B = 12^\circ; \gamma_B = 15^\circ; \lambda = 5^\circ.$$

Значения геометрических параметров режущей части выглаживателя определяем по рекомендации [4]. Необходимая величина радиуса зависит от твёрдости обрабатываемого материала заготовки и допустимой величины силы выглаживания. Основным критерием выбора величины радиуса является твёрдость материала обрабатываемой заготовки. Для деталей из мягких сталей и цветных сплавов радиус сферы инструмента должен составлять $R_{выг} = 2,5 \dots 3,5$ мм. Выбираем радиус сферы выглаживателя равным 3 мм.

Так как в начале обработки следует снять слой металла и подготовить поверхность для последующего выглаживания, то располагаем вершину резца на максимальном расстоянии от оси вращения комбинированной фрезы.

В ходе геометрического анализа (рисунок 3 – 6) были определены параметры, которые влияют на размеры конструкции фрезы 1 и приспособления 2 [5, 6] для обработки торцовых поверхностей деталей «Основание»:

b – расстояние от оси алмазного выглаживателя до точки C , образованной в процессе резания главной режущей кромкой резца, так как центры осей резца и выглаживателя располагаются на разных радиусах;

$R_{рез}$ и $R_{выг}$ – радиусы скругления вершины резца и алмазного выглаживателя;

k – расстояние от оси резца до вершины режущей кромки;

T – расстояние от оси резца до точки C , образованной в процессе резания главной режущей кромкой;

t_1 и t – соответственно глубина точения и алмазного выглаживания относительно поверхности заготовки;

$D_{заг}$ – диаметр заготовки;

Z – количество рядов заготовок в приспособлении;

$S_{рез}$ – подача, назначаемая при точении;

$S_{выг}$ – конструктивная подача, назначаемая при алмазном выглаживании;

Δ_{ϕ} – боковой вылет фрезы.

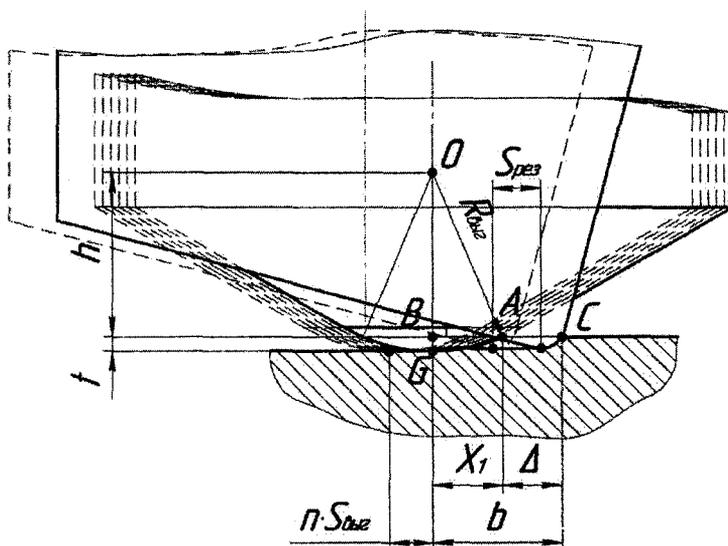


Рисунок 3 – Расчётная схема определения расстояние от оси алмазного выглаживателя до точки C

Исходя из анализа геометрических параметров и оптимальных режимов обработки торцевой поверхности детали «Основание», назначаем для алмазных выглаживателей конструктивную подачу из соотношения:

$$\begin{aligned} S_{рез} &= n \cdot S_{выг}, \\ S_{выг} &= S_{рез}/n, \end{aligned} \quad (1)$$

где n – количество алмазных выглаживателей;

$S_{рез}$ – подача, назначаемая при точении;

$S_{выг}$ – подача, назначаемая при алмазном выглаживании.

Расстояние от оси алмазного выглаживателя до точки C , образованной в процессе резания главной режущей кромкой резца, определяем по расчётной схеме (см. рисунок 3):

$$b = X_1 + \Delta, \quad (2)$$

где X_1 – половина хорды на вершине алмазного выглаживателя, образованной при отсечении сегмента высотой t ;

Δ – минимальный зазор между точкой A , расположенной на радиусном участке алмазного выглаживателя и до точки C , образованной в процессе резания главной режущей кромкой резца. Примем $\Delta = 1 \dots 1,5$ мм, в зависимости от диаметра расположения режущих инстру-

ментов на комбинированной фрезе. При большем диаметре расположения режущих инструментов, назначаем меньшее значение Δ .

Из прямоугольного треугольника ABO определяем отрезок $AB = X_1$:

$$X_1^2 + h^2 = R_{\text{выг}}^2$$

$$X_1 = \sqrt{R_{\text{выг}}^2 - h^2}, \quad (3)$$

где h – высота прямоугольного треугольника ABO ;

$R_{\text{выг}}$ – радиус скругления вершины выглаживателя.

$$h = R_{\text{выг}} - t, \quad (4)$$

где t – глубина алмазного выглаживания относительно поверхности заготовки.

Подставив (4) в (3), получаем:

$$X_1 = \sqrt{R_{\text{выг}}^2 - (R_{\text{выг}} - t)^2}. \quad (5)$$

Решая совместно зависимости (5) и (2), определяем расстояние от оси алмазного выглаживателя до поверхности, образованной в процессе резания главной режущей кромкой резца:

$$b = \sqrt{R_{\text{выг}}^2 - (R_{\text{выг}} - t)^2} + \Delta. \quad (6)$$

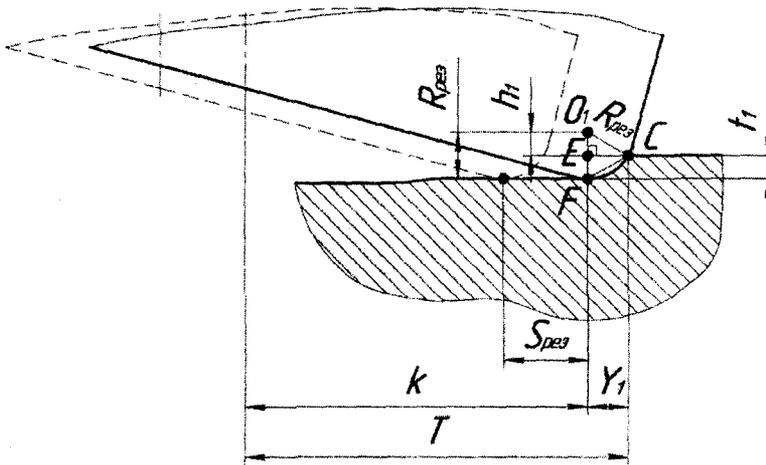


Рисунок 4 – Расчётная схема для определения расстояния от центра резца до точки C

Расстояние от оси резца до точки C , определим по расчётной схеме (см. рисунок 4):

$$T = k + Y_1, \quad (7)$$

где k – расстояние от оси резца до вершины режущей кромки (определяется из геометрии резца);

Y_1 – расстояние от вершины режущей кромки (точка F) до точки C .

Из прямоугольного треугольника CEO определяем отрезок Y_1 :

$$h_1^2 + Y_1^2 = R_{\text{рез}}^2$$

$$Y_1 = \sqrt{R_{\text{рез}}^2 - h_1^2}, \quad (8)$$

где h_1 – высота прямоугольного треугольника CEO ;

$R_{\text{рез}}$ – радиус скругления вершины резца.

$$h_1 = R_{\text{рез}} - t_1, \quad (9)$$

где t_1 – глубину точения относительно поверхности заготовки.

Подставив (9) в (8), получаем:

$$Y_1 = \sqrt{R_{\text{рез}}^2 - (R_{\text{рез}} - t_1)^2}. \quad (10)$$

Решая совместно зависимости (7) и (10), определяем расстояние от оси резца до точки C , образованной в процессе резания главной режущей кромкой резца:

$$T = k + \sqrt{R_{\text{рез}}^2 - (R_{\text{рез}} - t_1)^2}. \quad (11)$$

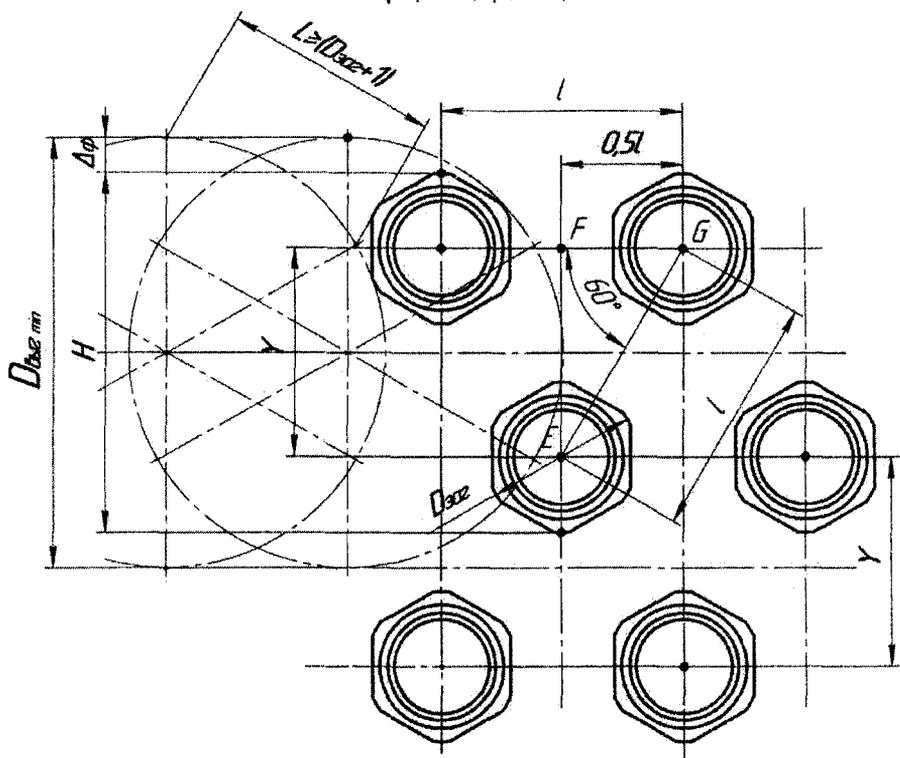


Рисунок 5 – Расчётная схема для определения минимального диаметра расположения выглаживателя относительно центра вращения фрезы

Определяем из расчётной схемы (см. рисунок 5) минимальный диаметр расположения выглаживателя ($D_{\text{выг min}}$) относительно центра вращения фрезы.

Так как заготовки располагаются в приспособлении в шахматном порядке, то получаем равносторонний треугольник со сторонами равными (l):

$$l = 1,5 \cdot D_{\text{заг}}, \quad (12)$$

где 1,5 – коэффициент, учитывающий необходимый зазор между деталями для удобства закрепления и съема деталей «Основание»;

$D_{\text{заг}}$ – максимальный диаметр размера заготовок.

Из прямоугольного треугольника EFG определяем высоту расположения рядов друг относительно друга:

$$Y = l \cdot \sin 60^\circ. \quad (13)$$

Подставив (12) в (13), получаем:

$$Y = 1,5 \cdot D_{\text{заг}} \cdot \sin 60^\circ. \quad (14)$$

Расстояние между крайними внешними точками на заготовках (H) определяем по расчётной схеме (см. рисунок 5):

$$H = (Z - 1) \cdot Y + D_{\text{заг}}, \quad (15)$$

где Z – количество рядов заготовок в приспособлении;

Y – высота расположения рядов друг относительно друга.

Подставив (14) в (15), получаем:

$$H = (Z - 1) \cdot 1,5 \cdot D_{\text{заг}} \cdot \sin 60^\circ + D_{\text{заг}},$$

$$H = D_{\text{заг}} \cdot [(Z - 1) \cdot 1,5 \cdot \sin 60^\circ + 1]. \quad (16)$$

Минимальный диаметр расположения выглаживателя ($D_{\text{выг min}}$) относительно центра вращения фрезы определяем по зависимости:

$$D_{\text{выг min}} = H + 2 \cdot \Delta_\Phi, \quad (17)$$

где Δ_Φ - боковой вылет, назначается согласно рекомендациям [3].

Подставив (16) в (17), получаем:

$$D_{\text{выг min}} = D_{\text{заг}} \cdot [(Z - 1) \cdot 1,5 \cdot \sin 60^\circ + 1] + 2 \cdot \Delta_\Phi, \\ R_{\text{выг min}} = \frac{D_{\text{выг min}}}{2} = \frac{D_{\text{заг}}}{2} \cdot [(Z - 1) \cdot 1,5 \cdot \sin 60^\circ + 1] + \Delta_\Phi. \quad (18)$$

Максимальный радиус расположения выглаживателя относительно центра вращения фрезы ($R_{\text{выг max}}$) определяем по расчётной схеме (см. рисунок 6):

$$R_{\text{выг max}} = R_{\text{выг min}} + n \cdot S_{\text{выг}}. \quad (19)$$

Решая совместно зависимости (18) и (19), определяем значение максимального диаметра расположения выглаживателей в корпусе комбинированной фрезы:

$$R_{\text{выг max}} = \left(\frac{D_{\text{заг}}}{2} \cdot [(Z - 1) \cdot 1,5 \cdot \sin 60^\circ + 1] + \Delta_\Phi \right) + n \cdot S_{\text{выг}}. \quad (20)$$

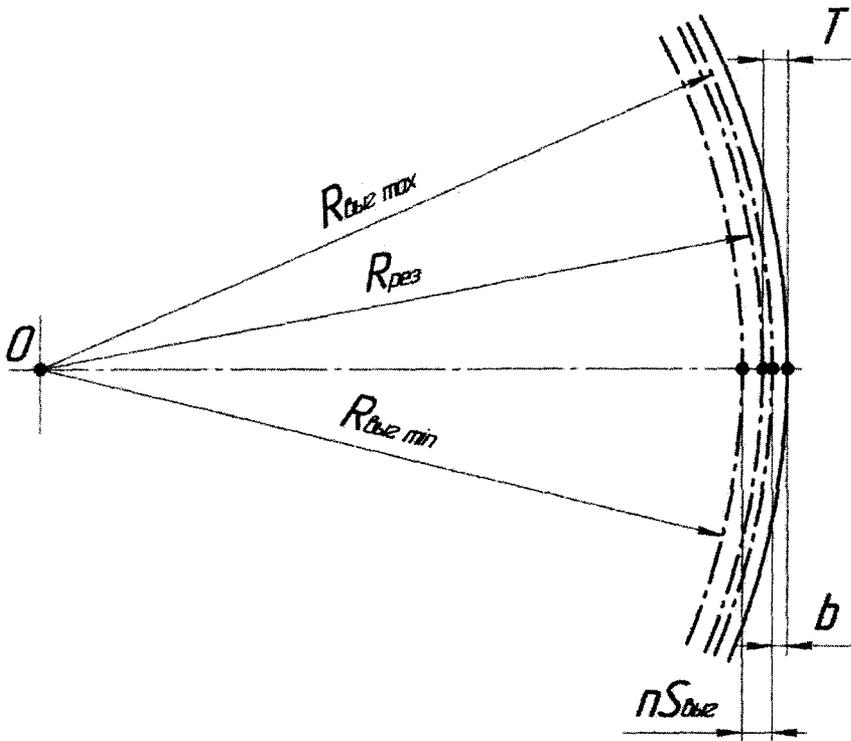


Рисунок 6 – Расчётная схема расположения резца относительно алмазного выглаживателя

Из расчетной схемы (см. рисунок 6), выражаем радиус расположения резца относительно центра вращения фрезы:

$$R_{\text{выг max}} + b = R_{\text{рез}} + T, \\ R_{\text{рез}} = R_{\text{выг max}} + b - T. \quad (21)$$

Подставив (6), (11) и (20) в (21), получаем зависимость для определения оптимального радиуса расположения резца, относительно центра вращения фрезы:

$$R_{\text{рез}} = \left[\left(\frac{D_{\text{зар}}}{2} \cdot [(Z-1) \cdot 1,5 \cdot \sin 60^\circ + 1] + \Delta_\Phi \right) + n \cdot S_{\text{выг}} \right] + \left[\sqrt{R_{\text{выг}}^2 - (R_{\text{выг}} - t)^2} + \Delta \right] - \left[k + \sqrt{R_{\text{рез}}^2 - (R_{\text{рез}} - t_1)^2} \right].$$

ВЫВОДЫ

В статье рассмотрен комбинированный инструмент для фрезерной обработки и последующего алмазного выглаживания торцовых поверхностей деталей из меди.

В ходе геометрического анализа конструкции комбинированного инструмента для фрезерной обработки и торцовых поверхностей деталей из меди, определены основные параметры.

На основе полученных расчётных схем, получены зависимости, учитывающие основные конструктивные параметры комбинированного инструмента, технологической оснастки и режимов обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сотников В.И. Фреза для комбинированной обработки плоских торцовых поверхностей деталей из мягких материалов [Текст] / В.И. Сотников, А.Н. Ткаченко // Известия ОрёлГТУ. – (Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»). – Орёл: Изд-во ОрёлГТУ, 2008. – № 2-4/270 (545). – С. 87-91. – ISSN 2073-7408.
2. Пат. 2338631 С1 Российская Федерация, МПК⁷ В23С 5/06, В24В 39/06. Фреза комбинированная для обработки плоских торцовых поверхностей заготовок деталей из мягких материалов [Текст] / В.В. Мудров, В.И. Сотников, А.Н. Ткаченко; заявитель и патентообладатель ГУВПО Орёл ГТУ. – № 2007120954/02; заявл. 04.06.2007; опубл. 20.11.2008. Бюл. №32. – 6 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с., ил.
4. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] / Л.Г. Одинцов. – М.: Машиностроение, 1987. – 328 с., ил.
5. Сотников В.И. Приспособление для обработки плоских торцов заготовок детали «Основание» [Текст] / В.И. Сотников, А.Н. Ткаченко // Известия ОрёлГТУ. – (Серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии»). – Орёл: Изд-во ОрёлГТУ, 2008, № 2-3/270 (545). – С. 92-96. – ISSN 2073-7408.
6. Пат. 2350435 С1 Российская Федерация, МПК⁷ В23В 39/06. Устройство для обработки плоских торцевых поверхностей заготовок деталей из мягких сталей [Текст] / В.В. Мудров, В.И. Сотников, А.Н. Ткаченко; заявитель и патентообладатель ГУВПО Орёл ГТУ. – № 2007120955/02; заявл. 04.06.2007; опубл. 27.03.2009. Бюл. №9. – 6 с.

Ткаченко Антон Николаевич

Орловский государственный технический университет, Технологический институт, г. Орел
Студент кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы»

Тел.: 89192658241

E-mail: 777.voin.anton@mail.ru

Ткаченко Артём Николаевич

Орловский государственный технический университет, Технологический институт, г. Орел
Аспирант кафедры «Автоматизированные станочные и инструментальные системы»

Тел.: 89606436332

E-mail: artyom270286@yandex.ru

Сотников Владимир Ильич

Орловский государственный технический университет, Технологический институт, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Автоматизированные станочные и инструментальные системы»

Тел.: (4862) 54 14 19

E-mail: asis@ostu.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САД СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ КОМПЛЕКТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ КОРПУС ФИЛЬТРА В ОАО «АВТОАГРЕГАТ»

В работе представлена трехмерная модель технологической оснастки для внедрения новой продукции в условиях ОАО «Автоагрегат». Были решены задачи оптимизации технологического процесса, стабилизации усилий зажимных механизмов, а также компоновки, с учетом рабочего пространства станка Tongital TMV 850-A. Проработана конструкция силового зажима. Ведутся переговоры к внедрению данной работы в производство

Ключевые слова: трехмерная твердотельная модель, технологический процесс, зажимной механизм, схемы базирования, позиционирование детали, оптимизация, этапы проектирования, пневмоцилиндр, переустановка детали

The paper presents three-dimensional model of technological equipment for new product introduction in Open Joint-Stock Company «Autoagregat». The problem of optimizing the technological process, the stabilization efforts in clamping mechanisms, as well as the make-up, taking into account the working space machine Tongital TMV 850-A. Power clamp structure has been designed. Negotiations for the introducing of this work in production are being conducted

Keywords: three-dimensional solid-state model, technological process, tightening the mechanism, basing schemes, detail positioning, optimization, design stages, the pneumocylinder, detail reinstallation

Современные станки с ЧПУ позволяют выполнять большее количество операций без потери качества обработки. К приспособлениям, применяющимся на данных станках, предъявляют повышенные требования к точности, жесткости, быстрой смене инструмента и надежности. Такие системы включают взаимосвязанные и функционирующие как единое целое оборудование, технологическую оснастку, заготовку и процесс резания.

Отличительной особенностью современного машиностроения является существенное ужесточение эксплуатационных характеристик машин: увеличиваются скорость, ускорение, температуры, уменьшаются масса, объем, вибрация, время срабатывания механизмов и т.п. Темпы такого ужесточения постоянно возрастают, и машиностроители вынуждены всё быстрее решать конструкторские и технологические задачи. В условиях рыночных отношений быстрота реализации принятых решений играет главенствующую роль [1].

В связи с внедрением на ОАО «Автоагрегат» новой продукции, в частности Корпус фильтра ФТ 040.1117 110, и приобретением нового оборудования Tongital TMV 850-A, возник вопрос о создании специальной оснастки для крепления деталей на всех переходах технологического процесса.

Конструкцию станочного приспособления нужно разрабатывать с учетом обеспечения необходимой точности обработки и максимального сокращения времени на установку. Приступая к конструированию, необходимо ознакомиться с конструкциями техоснастки, применяемой в базовом технологическом процессе, а также с существующими типовыми конструкциями приспособлений. Следует отдавать предпочтение применению быстродействующих зажимов: пневматических, гидравлических, гидропластовых, пнев-

могидравлических и электромеханических зажимов, а также многоместных и автоматизированных приспособлений.

При конструировании и изготовлении приспособлений обеспечивают их высокую надежность по показателям безотказности, долговечности, ремонтпригодности, а в некоторых случаях и сохраняемости. Приспособления должны быть эргономичными, их обслуживание должно быть простым и легким. Органы управления должны быть немногочисленными и располагаться в одном месте[2].

Деталь Корпус ФТ 040.1117 110 обрабатывается с шести сторон. В данный момент позиционирование детали относительно инструмента осуществляется при помощи шести станочных приспособлений (рисунок 1). Крепление детали во всех приспособлениях ручное. Имеются две схемы базирования.

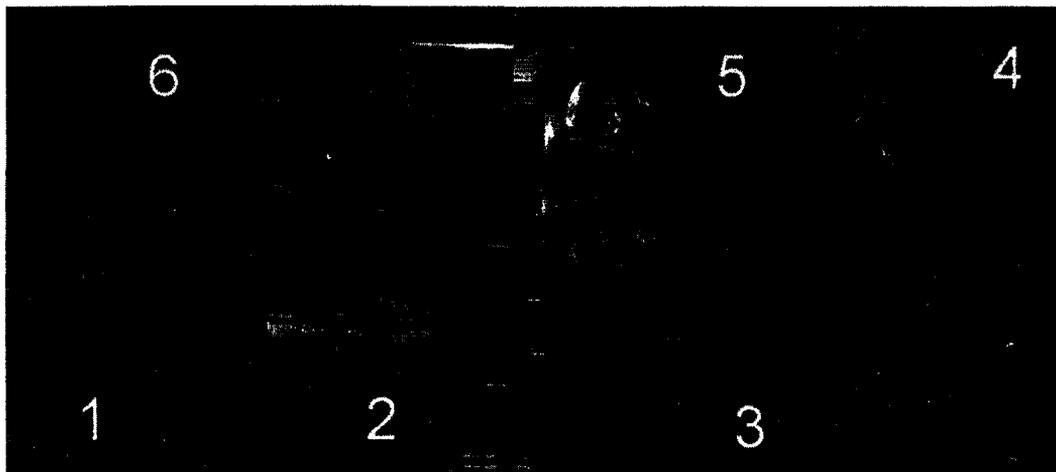


Рисунок 1 – Компоновка приспособлений на станке Tongital TMV 850-A

Выявлены проблемы:

1.Нестабильность зажимных механизмов, что приводит либо к недостаточному зажиму, и, как следствию, повышенной вибрации, либо к повышенному усилию зажима что приводит к деформации заготовки и нарушению герметичности детали выявляемой при последующей эксплуатации.

2.Переустановка на каждом переходе технологического процесса приводит к возникновению погрешности закрепления и погрешности оснастки.

В работе были поставлены следующие цели:

1. Оптимизация техпроцесса механической обработки
2. Регулирование усилия зажима
3. Повышение точности

В работе решались следующие задачи:

1. Стабилизация усилия зажима
2. Сокращение числа переустановок
3. Уменьшение основного времени
4. Улучшение условий труда

Предложено заменить данную оснастку двумя двухместными трехпозиционными приспособлениями с механизированным приводом.

Работа заключалась в создании трехмерной твердотельной модели технологической оснастки и проведении всех необходимых расчетов.

На первом этапе проектирования создана трехмерная твердотельная модель корпуса (рисунок 2).

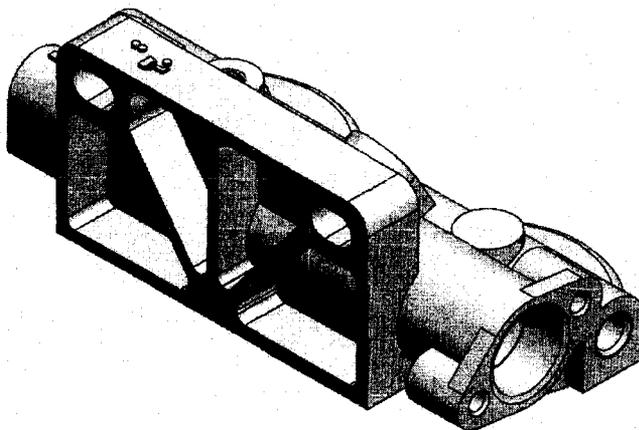


Рисунок 2 - Трехмерная твердотельная модель «Корпус ФТ 040.1117 110»

На втором этапе была выбрана схема базирования с учетом доступности обрабатываемых поверхностей для режущего инструмента. Данная схема лишает деталь шести степеней свободы (рисунок 3).

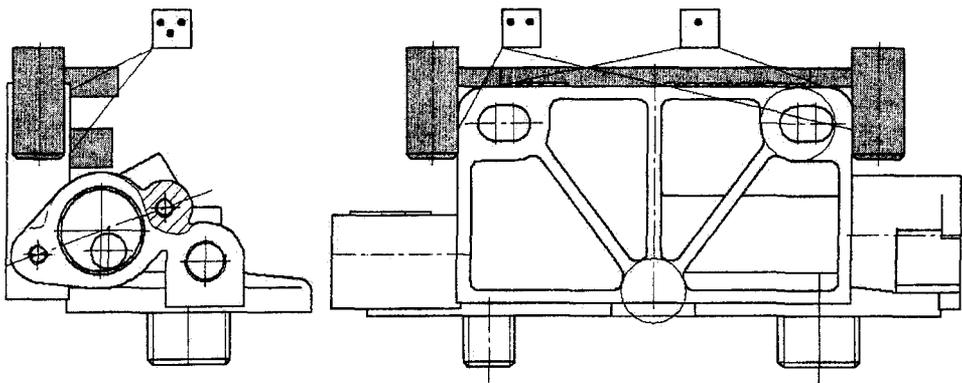


Рисунок 3 – схема базирования детали «Корпус ФТ 040.1117 110»

На третьем этапе проектирования произвели расчет необходимой силы зажима. Для этого была рассчитана сила резания. Так как на данном приспособлении будет производиться три перехода механической обработки: фрезерование, сверление отверстий, нарезание внутренней резьбы, необходимо выбрать тот, в котором сила резания больше; в данном случае расчет производился по силе резания при фрезеровании. При сравнении силы резания и силы зажима, развиваемой пневматическим приводом, приходим к выводу, что сила достаточна. Также имеется возможность ее регулирования в связи с требованиями технологического процесса. Данная схема обеспечивает точность и достаточную силу зажима, которая позволяет противодействовать силам резания и не приводит к деформации детали.

В данный момент на предприятии одновременно обрабатываются шесть деталей, стоящих последовательно в шести различных приспособлениях. Это позволяет сократить основное время обработки. Нами предложено основное время сократить за счет уменьшения времени на установку. При этом обрабатываться будут одновременно четыре детали на двух различных приспособлениях.

На четвертом этапе производим проектирование силового привода. Выбираем пневматический привод мембранного типа, с целью уменьшения габаритных размеров приспособления (рисунок 4). Что согласовано с технологическими возможностями оборудования. Для передачи усилия от штока пневмоцилиндра к зажимам используется клиновой механизм,

который обеспечивает необходимые условия передачи усилия и имеет меньшие габариты в сравнении с рычажным механизмом. [3,4].

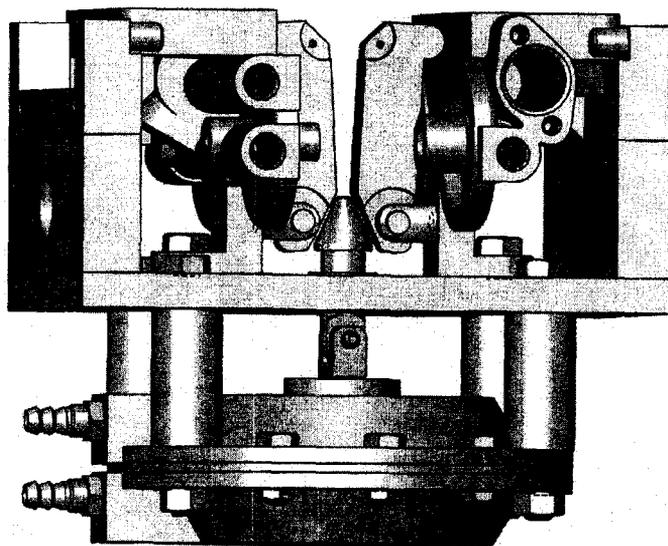


Рисунок 4 – Силовой привод

Практика показала, что в случае использования самотормозящих механизмов, освободить (вытолкнуть) клин труднее, чем зажать. В таких случаях рекомендуется применять конструкцию силового привода со штоком ударного действия (рисунок 5) или обеспечивать большое давление в цилиндре при обратном ходе. В вильчатом штоке предусмотрено овальное отверстие, через которое проходит штифт, соединяющий шток поршня с клином. При такой конструкции шток вхолостую пробегает расстояние l , а затем с ударом выталкивает клин [3.4].

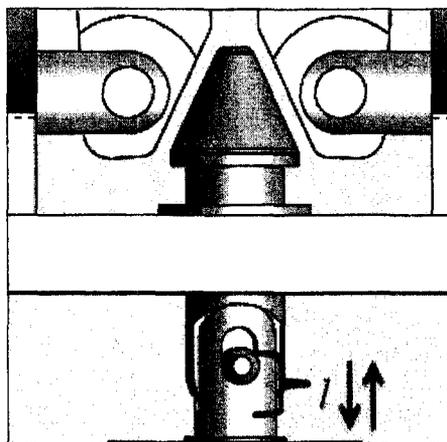


Рисунок 5 – Шток ударного действия

На следующем этапе проектирования производилось создание поворотного механизма (рисунок 6). Наличие поворотного механизма в данном приспособлении обеспечивает поворот обрабатываемой детали на строго определенный угол, позволяет сократить число переустановок детали. Данный поворотный механизм позволяет осуществлять поворот на 180° градусов с фиксацией через каждые 90° , тем самым, повышается производительность [3.4].

Плавность хода поворотного диска обеспечивают бронзовые опорные втулки. Ножи поворотного механизма обеспечивают свободное вращение с учетом крепления пневматиче-

ского цилиндра. Отверстие в левой ножке предназначено для вывода шлангов, питающих пневмоцилиндр.

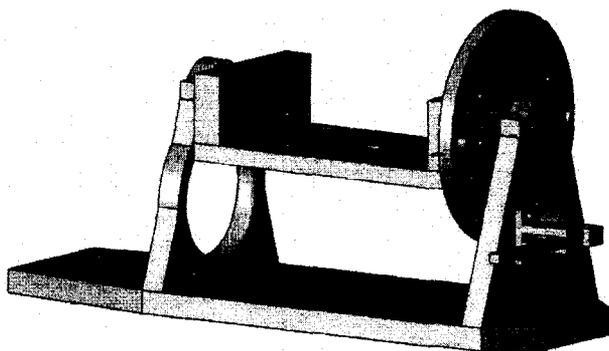


Рисунок 6 – Общий вид поворотного механизма

Фиксация поворотного механизма осуществляется за счет подпружиненного конического пальца, что обеспечивает минимальное угловое смещение при позиционировании детали на всех трех переходах данной операции. Во избежание заклинивания пальца угол наклона его образующей выбран более 10° на сторону. Отжим пальца при повороте осуществляется при помощи рычага (рисунок 7).

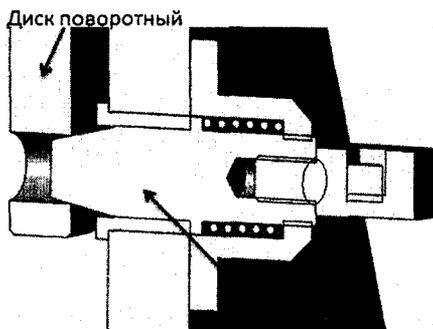


Рисунок 7 – Механизм фиксации поворотного диска

На шестом этапе проектирования была создана сборка приспособления с установленными деталями (рисунок 8). Сборка осуществляется при помощи шплинтов и болтов, что делает приспособление ремонтпригодным.

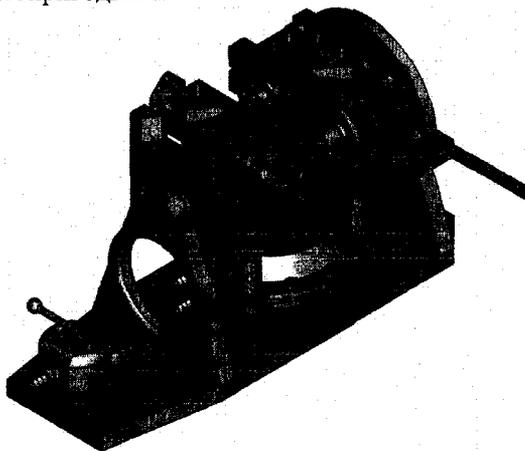


Рисунок 8 – Общая сборка приспособления

Данная 3D модель дает возможность проверить работоспособность приспособления во всех рабочих положениях (рисунок 9), при помощи сопряженных рабочих поверхностей и ограничений, накладываемых на каждый элемент сборочного соединения.

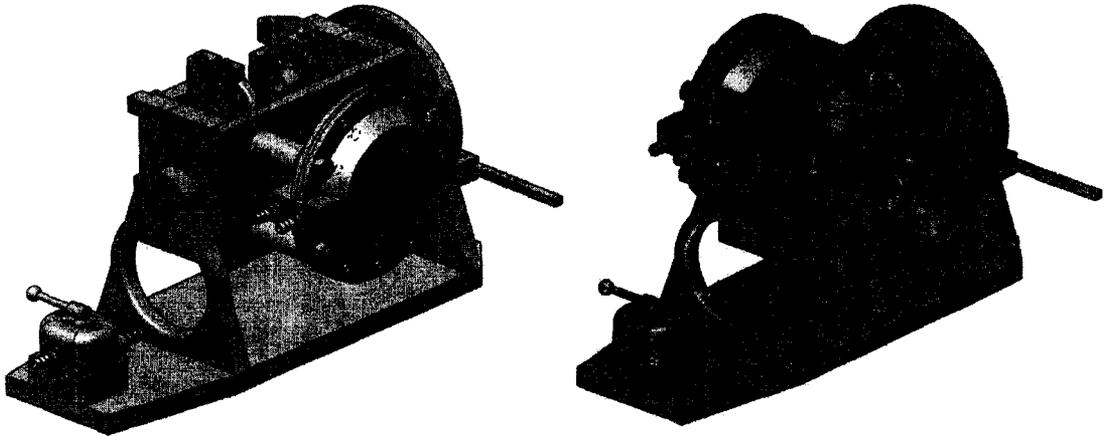


Рисунок 9 – Общие виды при поворотах на 90° влево и вправо

Спроектированное пневматическое приспособление является трехпозиционным, двухместным, что позволяет обеспечить точность и необходимую силу зажима. Использование данного приспособления позволит сократить основное время, повысить точность за счет сокращения числа переустановок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косилова, А.Г. Справочник технолога-машиностроителя [Текст] / Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова: Т1-в 2-х т. - 4-е изд., М.: Машиностроение, 1985. 496с.
2. Ансеров, М.А. Приспособления для металлорежущих станков. 4-е изд, исправл. и доп. [Текст] / М.А. Ансеров - Л.:Машиностроение, 1975. - 656с.
3. Ануриев, В.И. Справочник технолога-машиностроителя: В 3-х т. Т. 2.. 8-е изд, перераб. и доп. [Текст] / В.И. Ануриев – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с., ил.
4. Ануриев, В.И. Справочник технолога-машиностроителя: В 3-х т. Т. 2.. 8-е изд, перераб. и доп. [Текст] / В.И. Ануриев – М.: Машиностроение, 2001. – 902 с., ил.
5. Ануриев, В.И. Справочник технолога-машиностроителя: В 3-х т. Т. 3. 8-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В.И. Ануриев – М.: Машиностроение, 2001. – 864 с., ил.

Валькман Дмитрий Юрьевич

Ливенский филиал ГОУ ВПО «Орел ГТУ», г.Ливны

Студент гр.31-Т специальности «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»

Тел. 89803611826

E-mail: dimon.valkman@mail.ru

Киселева Светлана Валентиновна

Ливенский филиал ГОУ ВПО «Орел ГТУ» г.Ливны

Ст. преподаватель кафедры «Технология машиностроения».

Тел. 8(48677)3-45-35

E-mail: dimon.valkman@mail.ru

О.В. ЕПИФАНОВА, Д.И. ТРОИЦКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ПЕРЕЧНЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ САМ-СИСТЕМ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКЕ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

В статье рассмотрены возможные стратегии предприятия в области подготовки управляющих программ при помощи САМ-систем, сформулирована обобщенная структура САМ-системы и предложена методика выбора перечня функциональных возможностей САМ-системы, в зависимости от конкретных производственных условий.

Ключевые слова: ЧПУ, управляющая программа, САМ-система, структура САМ-системы

The paper considers the possible enterprise strategies for NC code development using CAM systems. A generalized CAM system has been developed; a methodology for selecting a set of CAM functionality depending on the specific production conditions has been suggested

Keywords: NC, NC code, CAM system, CAM system structure

ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

На современных предприятиях оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ) получило очень широкое распространение. Высокая сложность современных изделий делает автоматизацию процесса разработки управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ при помощи САМ-систем неотъемлемой частью процесса подготовки производства. По данным корпорации CIMData [1] в 2005...2008гг. рынок САМ-систем представлен десятью наиболее популярными фирмами-разработчиками (рисунок 1).

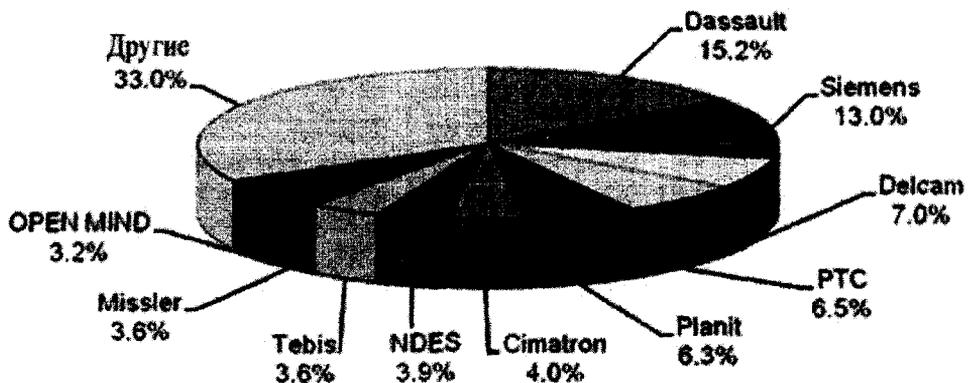


Рисунок 1 – Лидеры рынка САМ-систем по данным CIMData 2005... 2008гг.

Помимо этого существует большое количество менее известных фирм-разработчиков; однако около 33% пользователей САМ-систем применяли не программные продукты ведущих поставщиков: некоторые пользователи предпочли им системы, разработанные самостоятельно или на заказ, что свидетельствует о наличии большого количества технологических задач, которые не решаются в полной мере наиболее распространенными САМ-системами. Это в свою очередь приводит к возникновению необходимости обоснованного выбора структуры и стратегии использования САМ-системы с целью повышения эффективности процесса автоматизированной разработки управляющих программ для оборудования с ЧПУ.

ВЫЯВЛЕНИЕ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРЫ САМ-СИСТЕМ

Как показали проведенные исследования, спектр функциональных возможностей САМ-систем в зависимости от производителя варьируется незначительно. Имеется некоторый набор ключевых модулей, необходимых для построения эффективно работающей САМ-системы и значительное количество элементов, которые могут присутствовать в САМ-системе опционально. На схеме (рисунок 2) представлены основные функциональные возможности САМ-систем и их вклад в процесс автоматизированной разработки управляющих программ.



Рисунок 2 – Ключевые функциональные возможности САМ-систем

Для формирования представления об обобщенной структуре САМ-системы рассмотрим сначала процесс автоматизированной подготовки УП.

Процесс автоматизированной подготовки УП [2] обобщенно представляет собой последовательность шагов: первоначально осуществляется ввод исходной информации о геометрии детали, затем производится выбор оборудования для обработки, настройка операции, заключительными этапами являются формирование текста УП в универсальном формате и в формате используемой системы ЧПУ (рисунок 3).

При этом возможны различные варианты представления исходных данных и оборудования, для которого управляющая программа предназначена. Наиболее важным этапом является процесс настройки и расчета операции: пользователю необходимо пройти путь от выбора поверхностей для обработки к формированию и проверке траектории движения инструмента.

Результаты расчетов, сформированные в универсальном формате, должны быть проверены. Заключительным этапом являются выбор и настройка постпроцессора и проверка конечного варианта управляющей программы.

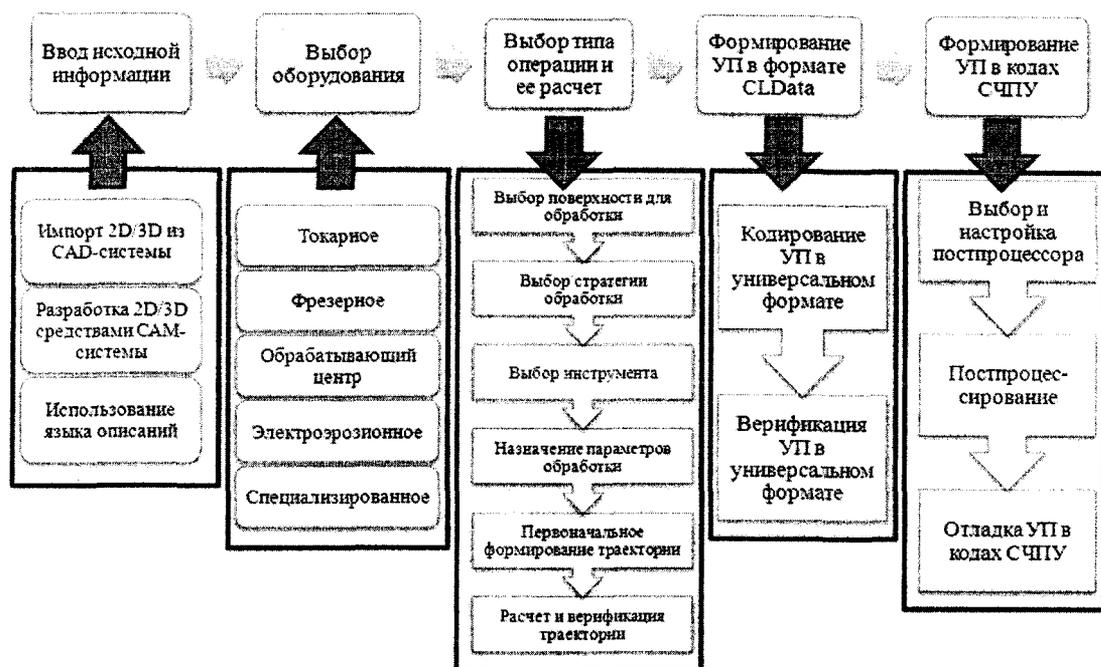


Рисунок 3 – Обобщенный алгоритм разработки управляющей программы

На основании процесса подготовки управляющих программ с помощью САМ-системы можно сформулировать обобщенную структуру САМ-системы (рисунок 4), элементы которой, модули, обеспечивают поддержку каждого из этапов процесса разработки УП. В зависимости от потребностей предприятия, функциональность модулей будет варьироваться, однако общий их состав должен оставаться неизменным, чтобы обеспечить реализацию всех стадий подготовки УП.

При этом можно выделить группу модулей, состав которой может значительно изменяться в зависимости от типа используемого оборудования, сложности разрабатываемых изделий, требований к ним и пр. Это блок расчета и формирования УП. Следует отметить, что основное влияние на характер расчетов будет оказывать тип применяемой обработки. В зависимости от используемого оборудования возможно использование модулей для различных типов обработки:

- фрезерование:
 - автоматическое торцевое фрезерование;
 - обработка остатков (нахождение и выборка материала, оставшегося после предыдущей операции);
 - черновое и чистовое фрезерование;
 - 2-, 2.5-, 3-, 4-, и 5-ти осевая обработка поверхности;
 - фрезерование контура поверхности;
 - интерактивный контроль инструмента с разделяющими, ведущими и контрольными поверхностями;
- токарная обработка:
 - черновая и чистовая токарная обработка наружного и внутреннего контура;
 - черновая и чистовая токарная обработка торцов;
 - нарезка резьбы и канавок;
- сверление:
 - цикл сверления;
 - цикл расточки;

- цикл нарезания внутренней резьбы;
- цикл глубокого сверления с заданием глубины возвратно-поступательных погружений;
- сверление по шаблонам;
- электроэрозионная обработка:
 - контроль 2.. 4 осевой обработки;
 - изменение параметров движения инструмента в любой момент;
 - определение условий обработки в углах.

Помимо этого существуют модули расчета траекторий движения инструмента для специализированного оборудования.

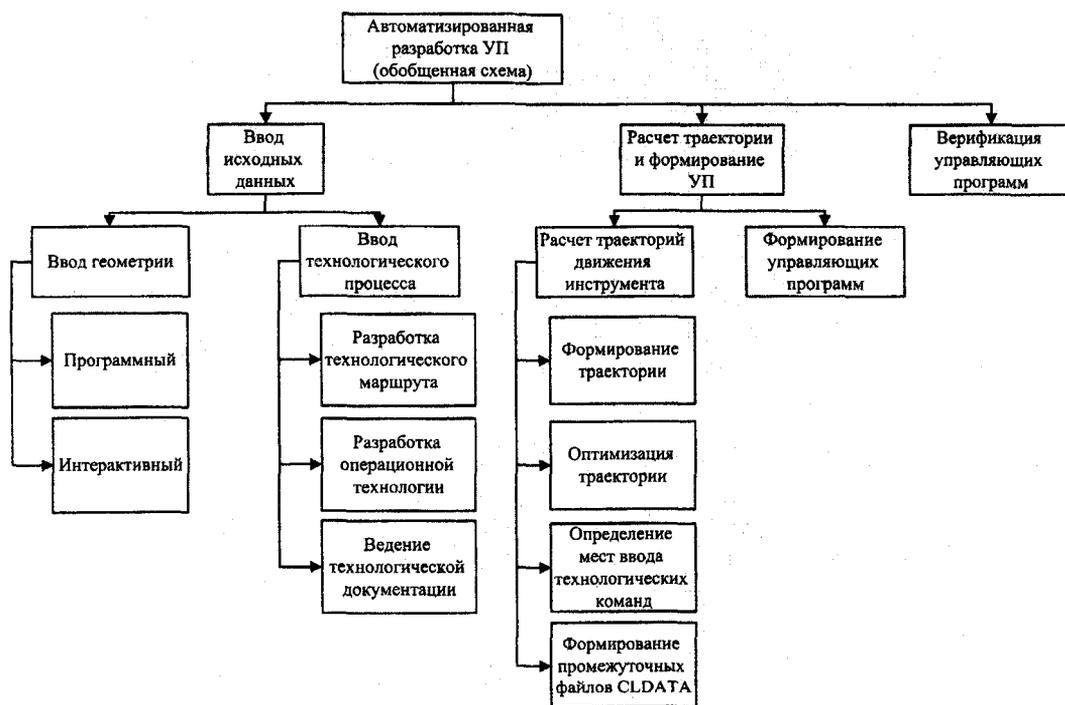


Рисунок 4 – Обобщенная структура САМ-системы

СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЯ В ОБЛАСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ РАБОТКИ УП

Можно выделить стратегии предприятия в области автоматизированной разработки управляющих программ при технологической подготовке производства. Возможны следующие варианты:

1. Подготовка УП вручную (с минимальным привлечением средств автоматизации и САМ-систем).
2. Автоматизированная подготовка УП, для выполнения которой может понадобиться:
 - приобрести компьютерную технику;
 - приобрести САМ-систему:
 - САМ-система одного из ведущих поставщиков;
 - специализированная САМ-система;
 - приобрести или разработать модули расширения функциональных возможностей;
 - приобрести или разработать постпроцессоры для имеющегося оборудования.
3. Расширенная верификация не выполняется.
4. Расширенная верификация выполняется:
 - с привлечением средств верификации САМ-системы;

- с привлечением специализированных верификаторов;
- с привлечением средств анализа и оптимизации.

При выборе соответствующей стратегии необходимо учитывать следующие условия производства:

1. Серийность выпуска и инвариантность производства.
2. Срочность заказа.
3. Характеристики имеющегося оборудования.
4. Имеющееся в наличии программное обеспечение.
5. Сложность разрабатываемого изделия.
6. Требования к разрабатываемым изделиям.
7. Квалификация персонала.

Факторы производства будут оказывать существенное влияние на выбор параметров САМ-системы. На рисунке 5 представлена обобщенная схема влияния факторов производства на выбор соответствующих характеристик САМ-систем.

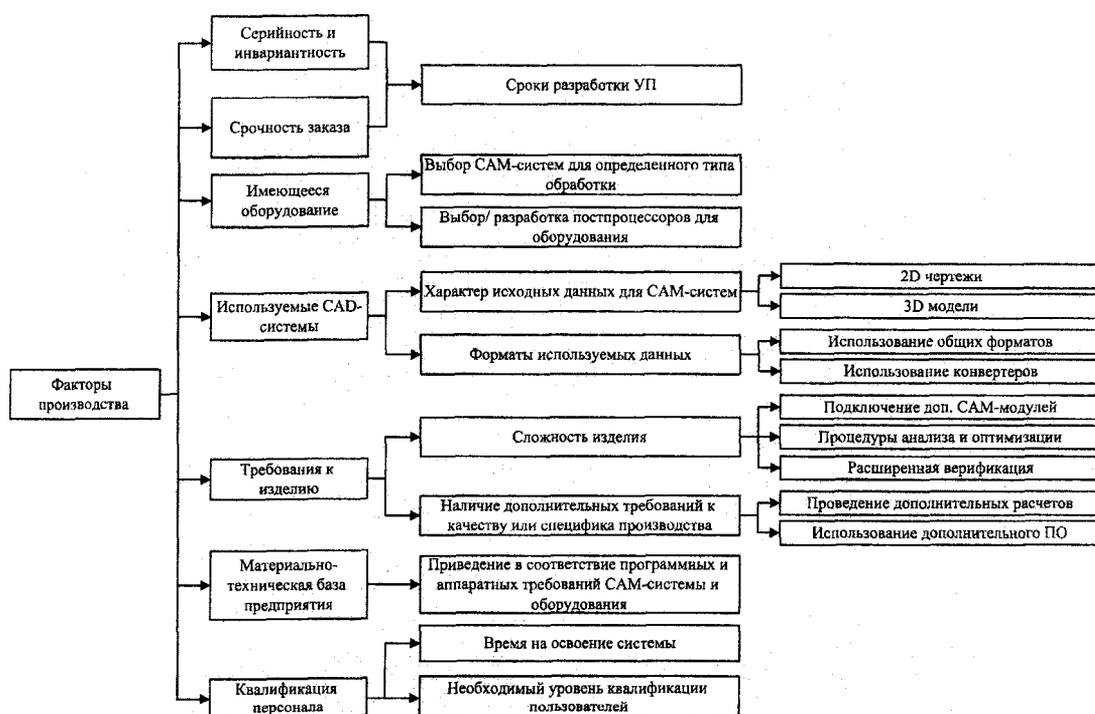


Рисунок 5 – Основные факторы производства и их влияние на выбор параметров САМ-систем

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА СТРУКТУРЫ САМ-СИСТЕМЫ

Задача выбора состава САМ-системы, удовлетворяющей потребностям предприятия будет выглядеть следующим образом (рисунок 6):

На входе процедуры выбора – множество факторов производства

На выходе – множество параметров САМ-системы, обеспечивающих соответствие САМ-системы потребностям предприятия.

При этом входы процедуры выбора могут быть представлены лингвистическими переменными, принимающими некоторые условные значения, на основании которых могут быть выбраны те или иные модули САМ-системы:



Рисунок 6 – Задача выбора состава САМ-системы

Серийность: мелко-/ средне-/ крупносерийное/ массовое.

Инвариантность: значительная/ незначительная.

Срочность заказа: срочный/ нет.

Имеющееся оборудование: фрезерное/ токарное/ электроэрозионное/ обрабатывающий центр/ специальное.

Используемые САД-системы (характер исходных данных): 2D/ 3D; универсальные форматы/ использование конвертеров.

Требования к изделию: требования к точности, требования к качеству поверхности, есть/нет сложно профильные поверхности, есть/нет стандартные конструктивные элементы, есть/нет необходимость использования фасонного инструмента.

Материально-техническая база: характеристики имеющегося компьютерного оборудования, наличие/ отсутствие дополнительного программного обеспечения, наличие/ отсутствие локальной сети.

Квалификация персонала: высокая/средняя/низкая; есть/ нет дополнительные требования к навыкам и знаниям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью работы является повышение эффективности процесса автоматизированной разработки УП для оборудования с ЧПУ за счет обоснованного выбора структуры САМ-систем. Для решения этой задачи был проведен анализ функциональных возможностей САМ-системы и сформирована ее обобщенная структура, выявлена взаимосвязь между структурными элементами САМ-систем и параметрами производства, на основании проведенных исследований предполагается разработать методику выбора стратегии формирования и использования САМ-систем в зависимости от конкретных производственных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CAM Software Market Leaders Named by CIMdata [Электронный ресурс] / URL:http://www.cimdata.com/news_events/press_release.html?press_release_ID=3
2. Ловыгин, А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM – система [Текст] / А.А. Ловыгин, А.В. Васильев, С.Ю. Кривцов - М.: «Эльф ИПР», 2006. 286 с.
3. Липунцов, Ю.П. Управление процессами. Методы управления предприятием с использованием информационных технологий [Текст] / Ю.П. Липунцов - М.: ДМК Пресс; М.: Компания АйТи, 2003. 224 с.

Епифанова Ольга Викторовна

ГОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула
Аспирант кафедры «Автоматизированные станочные системы»
Тел. (905)-1445313
E-mail: O.Yepifanova@yandex.ru

Троицкий Дмитрий Игоревич

ГОУ ВПО «Тульский государственный университет», г. Тула
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автоматизированные станочные системы»
Тел. (903)-8442800
E-mail: dtroitsky@tsu.tula.ru

В.С. ЗАЙЦЕВА, Г.В. БАРСУКОВ, А.В. МИХЕЕВ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОНИКАНИЯ ХРУПКОГО ИНДЕНТОРА В АНИЗОТРОПНУЮ ПРЕГРАДУ ПРИ ИХ СВЕРХЗВУКОВОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ

Авторами статьи проведено численное моделирование проникания хрупкого индентора в анизотропную преграду при их сверхзвуковой относительной скорости, что позволяет оценить площадь контактного взаимодействия и решить задачу о их совместном разрушении. Полученные новые знания в области разрушения хрупкого индентора будут использованы для повышения эффективности технологии резания материалов гидроабразивной струей.

Ключевые слова: индентор; проникание; абразивное зерно; анизотропная преграда

Authors of article spend numerical modelling of introduction of a fragile body to an anisotropic barrier at their supersonic relative speed, that allows to estimate the area of contact interaction and to solve a problem about their joint destruction. The received new knowledge in the field of destruction of a fragile body will be used for increase of efficiency of technology of cutting of materials by a abrasive water jet

Keywords: drummer; introduction; abrasive grain; an anisotropic barrier

Постоянно растущий уровень требований потребителя к показателям качества и производительности процессов резки, разработка и создание новых материалов, большой сортмент и номенклатура разрезаемых изделий, многократность использования операций резки на стадиях изготовления детали определяет прогресс в совершенствовании существующих технологий, оборудования, инструмента.

К числу таких перспективных процессов разделения материалов следует отнести гидроабразивное резание материалов. Физическая основа процесса разрезания это результат эрозионного воздействия на металл высокоскоростного потока твёрдых частиц. Отделение частиц разрезаемого материала состоит из комбинированного действия механизмов резки, хрупкого разрушения, усталости и плавления. Скорость процесса эрозии зависит от кинетической энергии частиц, механических свойств разрезаемого материала, угла атаки, формы частиц.

Для формообразования, изменения размеров и качества поверхностей чаще всего применяются минеральные абразивные материалы. Объем снимаемой стружки единичным зерном определяет производительность гидроабразивного резания. В связи с чем, необходимо знать глубину и ширину царапины от единичного зерна.

Рассмотрим задачу о проникании сферического индентора в анизотропный материал, когда угол между контактной поверхностью и осью симметрии внедряемой частицы α небольшой (рисунок 1). При определении траектории движения сферического индентора будем учитывать вращение частицы вокруг центра масс.

Для решения задачи сделаем следующие допущения:

- 1) величина заглубления индентора в материал меньше его радиуса;
- 2) угловая скорость вращения зерна вокруг оси симметрии отсутствует, а вокруг центра масс равна нулю в начальный момент контакта;
- 3) в начальный момент контакта с поверхностью материала вектор скорости индентора совпадает с осью его симметрии;

С учетом того, что:

$$H_{1*} = \cos \theta = \frac{a_0 - \Delta}{a_0}, \quad (1)$$

$$H_{2*} = \sin \theta = \frac{\sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2}}{a_0}, \quad (2)$$

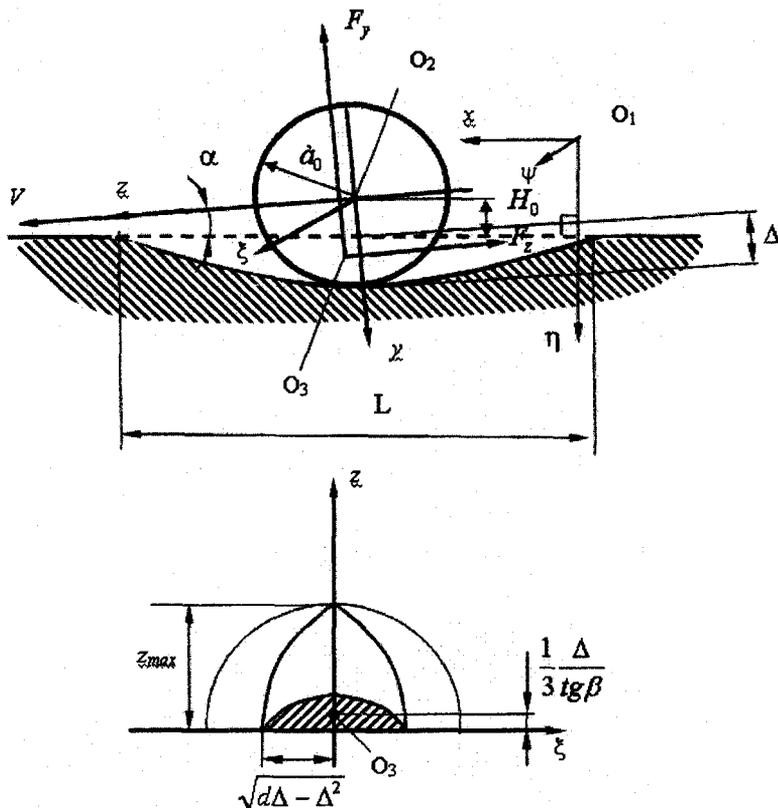


Рисунок 1 - Схема взаимодействия сферического индентора с поверхностью преграды

избыточное давление, действующее на поверхность контакта сферического индентора с материалом, определим по зависимости:

$$\begin{aligned}
 P = & -\left(\frac{1}{1-b}\right)^{\nu} \left(P_a + \rho_0(1-b) \left(\frac{dc_*}{dt} \right)^2 \left(\frac{a_0 - \Delta}{a_0} \right)^2 \right) + \\
 & + a_0 \left\{ \frac{2\tau_0}{a_0(1+\mu)} \left(\frac{1}{2\nu} \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu} \right] + \right. \right. \\
 & + \frac{2\sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2}}{a_0(2\nu+1)} \left[1 - \left(\frac{1}{\sqrt{1-b}} \right)^{2\nu+1} \right] + \left. \left. \frac{2a_0\Delta - \Delta^2}{a_0^2(2\nu+2)} \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu+1} \right] \right) \right\} + \\
 & + \frac{\rho}{2(\nu-1)} \left(\frac{a_0 - \Delta}{a_0} \frac{d^2c_*}{dt^2} + \frac{1}{a_0} \left(\frac{dc_*}{dt} \right)^2 \left(2 \left(\frac{a_0 - \Delta}{a_0} \right)^2 - \frac{2a_0\Delta - \Delta^2}{a_0^2} \right) \right) \times \\
 & \times \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu-1} \right] - \frac{\rho}{a_0(\nu-2)} \left(\frac{dc_*}{dt} \left(\frac{a_0 - \Delta}{a_0} \right) \right)^2 \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu-2} \right] \quad (3)
 \end{aligned}$$

где $\theta = \arcsin \frac{\sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2}}{a_0}$

Определим площадь проекции сферического индентора S_x и S_y на плоскости xz и yz подвижной системы координат xuz .

Выражение для определения площадей запишем в следующем виде:

$$S_x = S_1 \sin \alpha + S_2 \cos \alpha, \quad (4)$$

$$S_y = S_1 \cos \alpha - S_2 \sin \alpha, \quad (5)$$

где $S_1 = \frac{\pi(2a_0\Delta - \Delta^2)}{2},$

$$S_2 = a_0^2 \arcsin \frac{\sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2}}{a_0} - \sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2} (a_0 - \Delta),$$

Δ - глубина внедрения индентора в поверхность,

α - угол между подвижной системой координат и поверхностью материала.

Откуда:

$$S_x = \frac{\pi(2a_0\Delta - \Delta^2)}{2} \sin \alpha + \left[a_0^2 \arcsin \frac{\sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2}}{a_0} - \sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2} (a_0 - \Delta) \right] \cos \alpha, \quad (6)$$

$$S_y = \frac{\pi(2a_0\Delta - \Delta^2)}{2} \cos \alpha - \left[a_0^2 \arcsin \frac{\sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2}}{a_0} - \sqrt{2a_0\Delta - \Delta^2} (a_0 - \Delta) \right] \sin \alpha. \quad (7)$$

Учитывая, что на всю поверхность контакта действует давление P , определяемое формулой (3), найдем значения осевой и поперечной силы:

$$F_x = P \cdot S_x, \quad (8)$$

$$F_y = P \cdot S_y. \quad (9)$$

Определим приближенное значение результирующего момента сил относительно центра масс индентора:

$$M = [Y + (a_0 - \Delta) \cos \alpha] F_x - [X + (a_0 - \Delta) \sin \alpha] F_y, \quad (10)$$

где $X = \frac{S_2 x_2 \cos^2 \alpha - S_1 x_1 \sin^2 \alpha}{S_x},$

$$Y = \frac{S_1 y_1 \cos^2 \alpha + S_2 y_2 \sin^2 \alpha}{S_y},$$

x_1, x_2, y_1, y_2 - координаты центров тяжести фигур в плоскостях xz и yz .

Для составления уравнения движения индентора вычислим проекцию осевой составляющей скорости и ускорения на ось η и ζ неподвижной системы координат $\eta\zeta\gamma$ в момент времени $t=0$ [1]:

$$\begin{aligned} \frac{d\eta}{dt} &= V_0 \sin \alpha_0, \\ \frac{d\zeta}{dt} &= V_0 \cos \alpha_0. \end{aligned} \quad (11)$$

Анализируя рисунок (1) можно записать, что:

$$\Delta = \eta - \alpha_0, \quad (12)$$

$$\alpha = \alpha_0 - \phi. \quad (13)$$

Тогда выражение (3) можно переписать в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 P = & -\left(\frac{1}{1-b}\right)^\nu \left(P_a + \rho_0(1-b) \left(\frac{d\eta}{dt} \right)^2 \left(\frac{2a_0 - \eta}{a_0} \right)^2 \right) + \\
 & + a_0 \left\{ \frac{2\tau_0}{a_0(1+\mu)} \left(\frac{1}{2\nu} \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^\nu \right] + \frac{2\sqrt{2a_0(\eta - a_0) - (\eta - a_0)^2}}{a_0(2\nu + 1)} \right) \times \right. \\
 & \times \left[1 - \left(\frac{1}{\sqrt{1-b}} \right)^{2\nu+1} \right] + \frac{2a_0(\eta - a_0) - (\eta - a_0)^2}{a_0^2(2\nu + 2)} \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu+1} \right] \right\} + \\
 & + \frac{\rho}{2(\nu-1)} \left(\frac{2a_0 - \eta}{a_0} \frac{d^2\eta}{dt^2} + \frac{1}{a_0} \left(\frac{d\eta}{dt} \right)^2 \left(2 \left(\frac{2a_0 - \eta}{a_0} \right)^2 - \frac{2a_0(\eta - a_0) - (\eta - a_0)^2}{a_0^2} \right) \right) \times \\
 & \times \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu-1} \right] - \frac{\rho}{a_0(\nu-2)} \left(\frac{d\eta}{dt} \left(\frac{2a_0 - \eta}{a_0} \right) \right)^2 \left[1 - \left(\frac{1}{1-b} \right)^{\nu-2} \right] \left. \right\} \quad (14)
 \end{aligned}$$

Запишем уравнения движения центра масс сферического индентора по поверхности анизотропного тела относительно неподвижной системы координат $x\psi\eta$:

$$\begin{cases}
 m \frac{d^2\eta}{dt^2} = F_y \sin \alpha - F_x \cos \alpha, \\
 m \frac{d^2\zeta}{dt^2} = -F_y \cos \alpha - F_x \sin \alpha, \\
 I \frac{d^2\phi}{dt^2} = [Y + (a_0 - \Delta) \cos \alpha] F_x - [Y + (a_0 - \Delta) \sin \alpha] F_y,
 \end{cases} \quad (15)$$

где m - масса сферического индентора;

I - экваториальный момент инерции;

Подставляя (8), (9), (11), (12) в (15), получим:

$$\begin{cases}
 m \frac{d^2\eta}{dt^2} = P(S_y \sin(\alpha_0 - \phi) - S_x \cos(\alpha_0 - \phi)), \\
 m \frac{d^2\zeta}{dt^2} = -P(S_y \cos(\alpha_0 - \phi) + S_x \sin(\alpha_0 - \phi)), \\
 I \frac{d^2\phi}{dt^2} = P([Y_2 + (2a_0 - \eta) \cos(\alpha_0 - \phi)] S_x - [X_1 + (2a_0 - \eta) \sin(\alpha_0 - \phi)] S_y),
 \end{cases} \quad (16)$$

Начальные условия для системы уравнений (16):

$$\begin{aligned}
 \eta(0) = a_0 & \quad \frac{d\eta(0)}{dt} = V_0 \sin \alpha_0 & \quad \frac{d^2\eta(0)}{dt^2} = 0, \\
 \zeta(0) = 0 & \quad \frac{d\zeta(0)}{dt} = V_0 \cos \alpha_0 & \quad \frac{d^2\zeta(0)}{dt^2} = 0, \\
 \phi(0) = \alpha_0 & \quad \frac{d\phi(0)}{dt} = 0 & \quad \frac{d^2\phi(0)}{dt^2} = 0.
 \end{aligned}$$

Система уравнений (16) не имеет аналитического решения. Поэтому решение было получено численно (рисунки 2, 3).

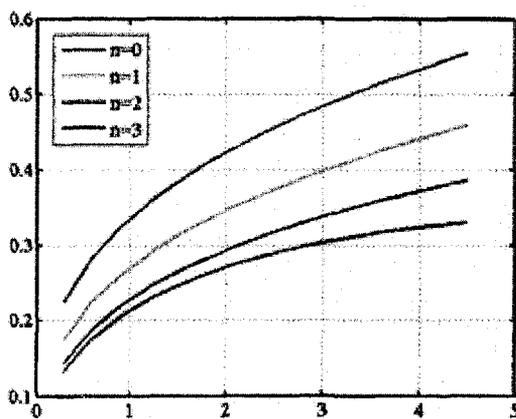


Рисунок 2 - Зависимость глубины проникновения индентора в анизотропную преграду от начальной скорости

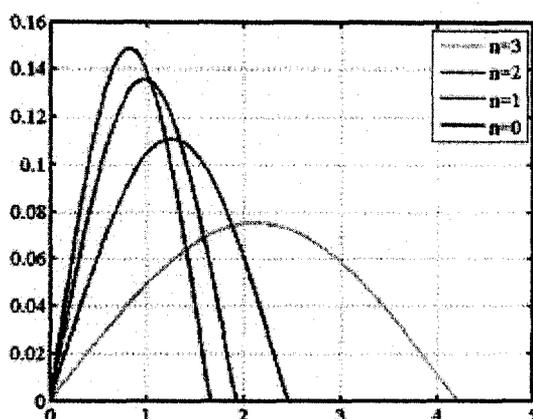


Рисунок 3 - Траектория движения индентора при проникании в анизотропную преграду

Таким образом, в результате численного моделирования проникания крупного индентора в анизотропную преграду при их сверхзвуковой относительной скорости определена глубина и траектория движения абразивной сферической частицы по поверхности, что позволяет определить объем снимаемой стружки единичным зерном и определить производительность гидроабразивного резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Липунцов, Ю.П. Управление процессами. Методы управления предприятием с использованием информационных технологий [Текст] / Ю.П. Липунцов - М.: ДМК Пресс; М.: Компания АйТи, 2003. 224 с.

Зайцева Виктория Сергеевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
студент гр. 51-ПК, кафедра «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 419818
E-mail: tm@ostu.ru

Михеев Александр Васильевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 419818
E-mail: tm@ostu.ru

Барсуков Геннадий Валерьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
д.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения и конструкторско-технологическая информатика»
Тел. (4862) 419818
E-mail: awj@list.ru

Н.Н. КУЗНЕЦОВ, С.Ю. ХРОМОВ, Л.А. САВИН, А.М. АНОХИН

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ В ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТАХ

Повышение полезной мощности шестеренных насосных агрегатов, применяемых в различных отраслях транспортной и энергетической промышленности, связано с улучшением работоспособности роторно-опорного узла. В статье рассмотрены два вида гидростатодинамических подшипников скольжения, произведен расчет и установлены закономерности изменения грузоподъемности, потерь мощности на трение, потерь мощности на прокачку и расхода смазочного материала подшипников от различных параметров

Ключевые слова: насосный агрегат, гидростатодинамические подшипники, несущая способность, потери мощности на трение, потери мощности на прокачку, расход смазочного материала

The increase of useful capacity of gear pump units applied in various branches of transport and power industry is connected with the improvement of the efficient operation of the rotor-bearing unit. Two types of hydrostaticdynamic sliding bearing are considered in the article, the calculation is performed and certain laws of alteration of bearing carrying capacity depending, losses of power on a friction, losses of power on forcing, expense of lubricating material on different parameters are determined here

Keywords: pumping aggregate, hydrostaticdynamic sliding bearing, carrying ability, losses of power on a friction, losses of power on forcing, expense of lubricating material

Шестерённые насосы имеют широкое распространение во всех промышленных отраслях. Например, они применяются в системах смазки машин и механизмов, в различных гидрориводах, для перекачивания нефти и нефтепродуктов, так как у них достаточно высокий КПД, низкие требования к очистке рабочей жидкости.

Смазка подшипников скольжения производится гидродинамическим образом с помощью перекачиваемой жидкости. Из рабочей камеры жидкость под давлением проходит через торцовый зазор, далее через зазор в подшипнике и возвращается по специальным каналам во всасывающую полость насоса [5]. Анализ конструкций насосных агрегатов для перекачивания нефтепродуктов показывает, что их надежность, долговечность, массогабариты и КПД во многом зависят от характеристик опорных узлов. По технико-экономическим показателям, ресурсу и надежности в конкретных условиях эксплуатации предпочтение часто отдается подшипникам скольжения. В гидродинамических подшипниках смазка увлекается при вращении вала в клиновидный зазор между валом и вкладышем и создает гидродинамическую подъемную силу. Преимущества гидродинамических подшипников заключается в простоте конструкций, технологичности и удобстве эксплуатации.

Несущая способность гидростатических подшипников скольжения формируется вследствие разности гидравлических сопротивлений при эксцентричном положении шейки относительно втулки и может быть реализована при отсутствии вращения ротора. Принцип формирования несущей способности в этих подшипниках является главным преимуществом, позволяющим обеспечить безыносный режим на режимах пуска и останова.

В гидростатодинамических подшипниках скольжения (ГСДП) присутствуют свойства гидростатических и гидродинамических подшипников. Для функционирования ГСДП необходим отбор части рабочего тела на выходе из насосного агрегата. Следует отметить также, что расход смазочного материала через подшипник скольжения соизмерим с расходом для охлаждения и смазки опор качения.

Некоторые конструкции шестеренных насосов, например НШ 8/25 не перекачивают дизельных топлив, вследствие невысокой вязкости данного продукта. Авторами предложены варианты конструкций ГСДП, при применении которых появится возможность перекачивать маловязкие жидкости. Созданные конструкции подшипников просчитаны при помощи рас

работанного в лаборатории Орловского Государственного университета программного продукта [4]. Достигнута договоренность об испытании насосных агрегатов на ресурс работы, подачу и КПД с новыми видами подшипников скольжения на ОАО «Ливгидромаш».

В качестве базовых вариантов при проведении исследований были спроектированы два вида ГСДП: 1) с осевой подачей смазочного материала (ГСДП1) (рисунок 1); 2) с точечными питающими камерами (ГСДП2) (рисунок 2).

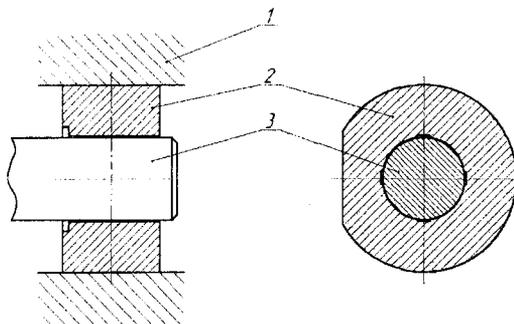


Рисунок 1 - ГСДП1
1 – корпус насоса; 2 - подшипник;
3 – цапфа вала

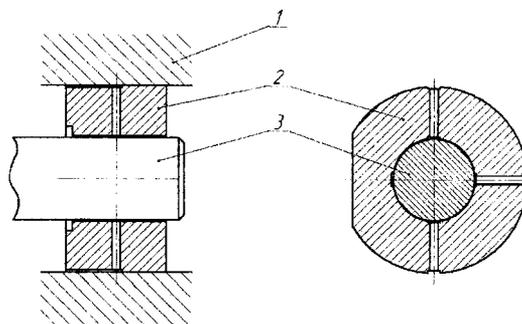


Рисунок 2 - ГСДП2
1 – корпус насоса; 2 - подшипник;
3 – цапфа вала

При расчете параметров удобно использовать безразмерные параметры, к которым относят относительный эксцентриситет и относительную толщину масляного слоя.

Относительным эксцентриситетом ε называют расстояние e центра вала от центра подшипника, отнесенное к радиальному зазору h_0 :

$$\varepsilon = e/h_0$$

Относительной толщиной масляного слоя ξ называют минимальную толщину h_{min} масляного слоя в точке наибольшего сближения вала и подшипника, отнесенную к радиальному зазору:

$$\xi = h_{min}/h_0 = h_0 - e/h_0 = 1 - \varepsilon$$

Зазор h_{min} в точке наибольшего сближения вала и подшипника должен быть достаточным для того, чтобы предотвратить соприкосновение микронеровностей вала и подшипника при возможных колебаниях режима (уменьшения частоты вращения, падения вязкости масла от перегрева). Относительный эксцентриситет $\varepsilon = e/h_0$ и относительная минимальная толщина $\xi = 1 - \varepsilon$ масляного слоя являются функцией безразмерного числа Зоммерфельда

$$So = \frac{\mu\omega}{p\psi^2}$$

и отношения длины подшипника к диаметру ℓ/d .

Теоретическая зависимость между ξ и $So = \Phi/\Psi^2$ показана на рисунке 3 для значения $\ell/d=1$, что приемлемо в нашем случае [5].

Зная по известным значениям величину So можно по диаграмме найти значение ξ для данного отношения ℓ/d и определить минимальную толщину масляного слоя из выражения

$$h_{min} = 0,5 \cdot 10^{-3} (1 - \varepsilon) \cdot \psi \cdot D$$

где D -диаметр подшипника;

$$\psi = \frac{h_0}{D}$$

- относительный радиальный зазор;

$$\varepsilon = \frac{e}{h_0}$$

- относительный эксцентриситет.

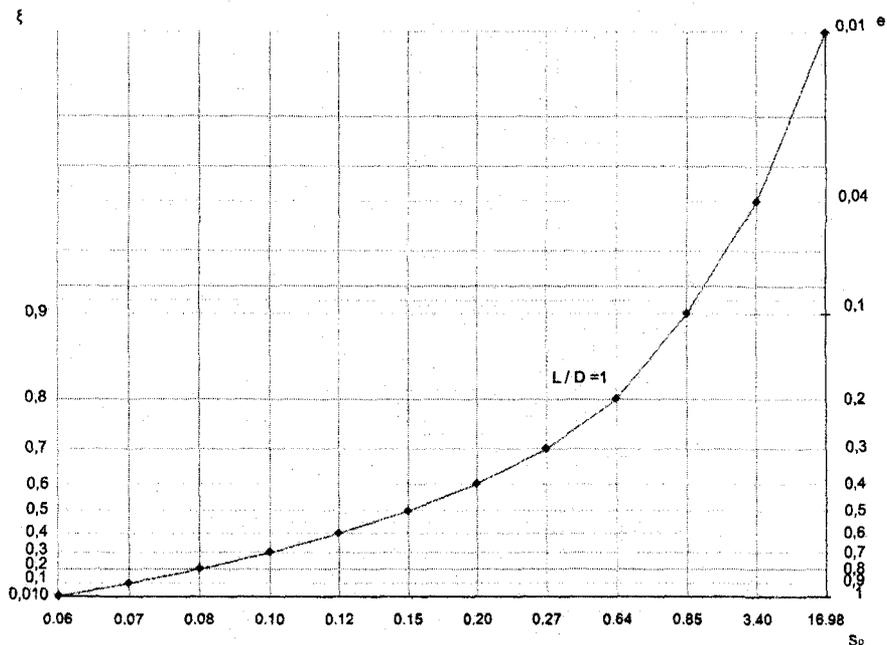


Рисунок 3 – Относительная минимальная толщина масляного слоя в зависимости от числа Зоммерфельда

где - коэффициент шероховатости $K_{RZ}=1,1 \dots 1,2$;

коэффициент запаса

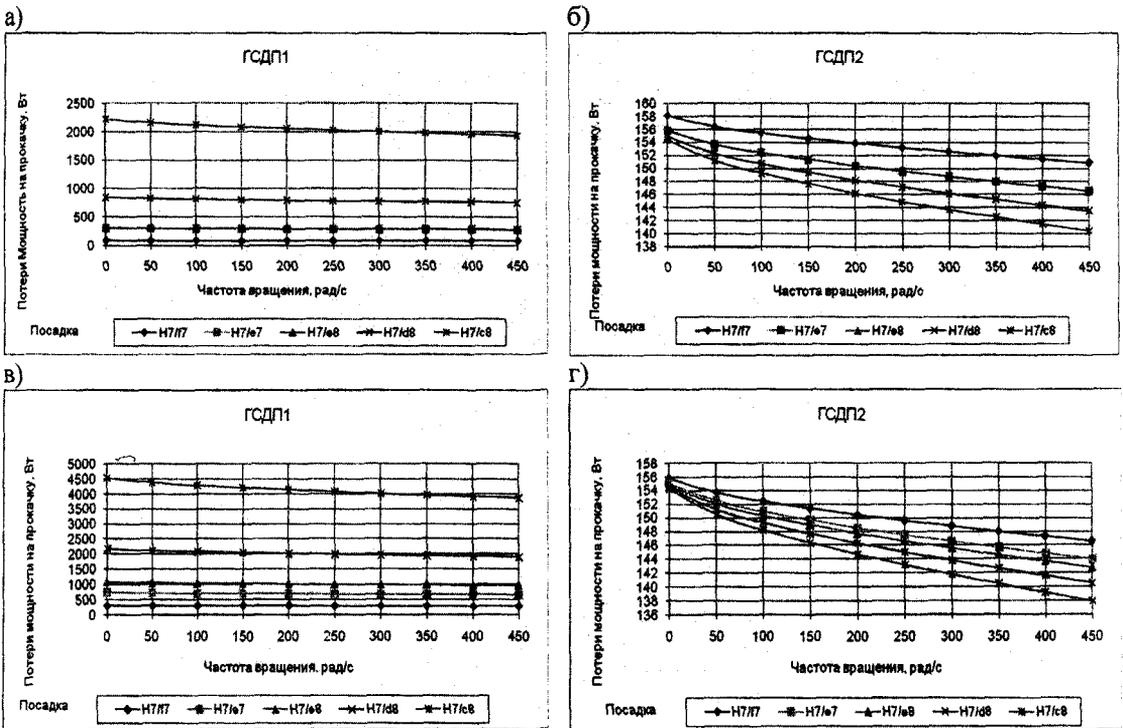
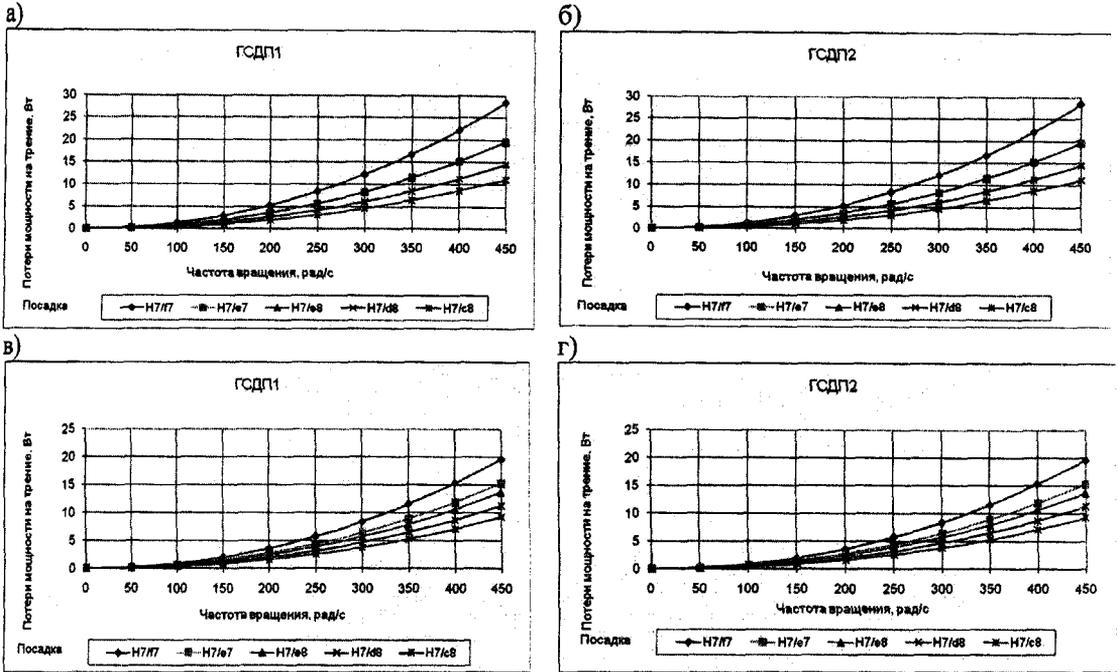
$$S \geq \frac{h_{min}}{h_{lim}} \geq [S] \approx 1.3 - 1.5$$

$$h_{lim} \approx 5 - 10 \text{ мкм}$$

Радиальный зазор является важнейшим показателем работоспособности подшипника. Наименьшие допустимые значения h_0 определяются величиной микронеровностей опорных поверхностей, максимальными перекосами вала в подшипнике, а также необходимостью обеспечения теплового баланса. Выбор оптимальной величины радиального зазора представляет собой определенное противоречие: ее уменьшение ведет к росту грузоподъемности и снижает расход смазочного материала, однако увеличивает потери мощности на трение и прокачку. Увеличение радиального зазора, помимо падения грузоподъемности, повышает вероятность турбулизации потока, что сопровождается дополнительными потерями мощности на трение и увеличивает тепловыделение [3].

Валы устанавливаются в подшипниках по посадкам H7/f7; H7/e7; H7/e8; H7/d8 или H7/c8 [1]. В качестве исследования авторы предлагают подбор необходимой посадки для предложенных конструкций подшипников скольжений. При помощи программного обеспечения достаточно быстро, не проводя испытаний можно рассчитать такие параметры, как грузоподъемность, потери мощности на трение, потери мощности на прокачку, расход смазочного материала при смазке дизельным топливом. Так как в программе есть функция установки диапазона угловых скоростей, можно подобрать необходимую угловую скорость для данного насосного агрегата. Подшипник имеет следующие геометрические параметры: длина $L = 48$ мм, диаметр $D = 40$ мм. В качестве смазочного материала в расчетах используется дизельное топливо.

Результаты расчетов характеристик подшипников при минимальном (S_{min} а,б) и максимальном (S_{max} в,г) зазорах представлены на рисунках 4-7.



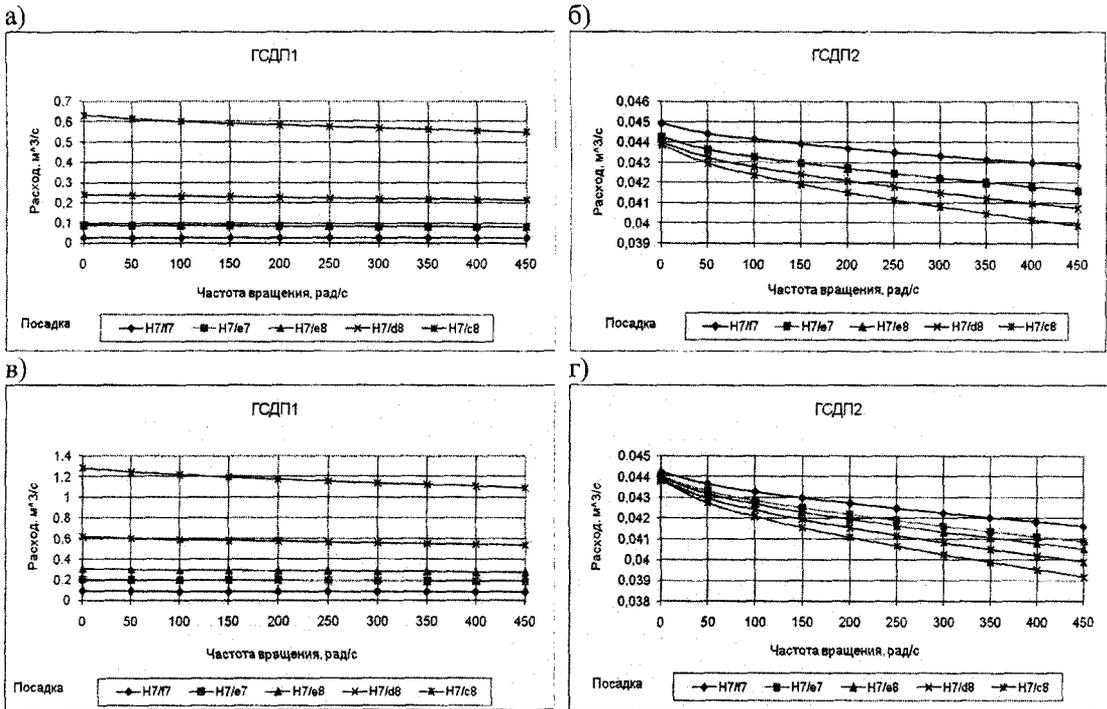


Рисунок 6 – Расход смазочного материала при S_{min} в ГСДП1 (а) и в ГСДП2 (б) S_{max} в ГСДП1 (в) и в ГСДП2 (г)

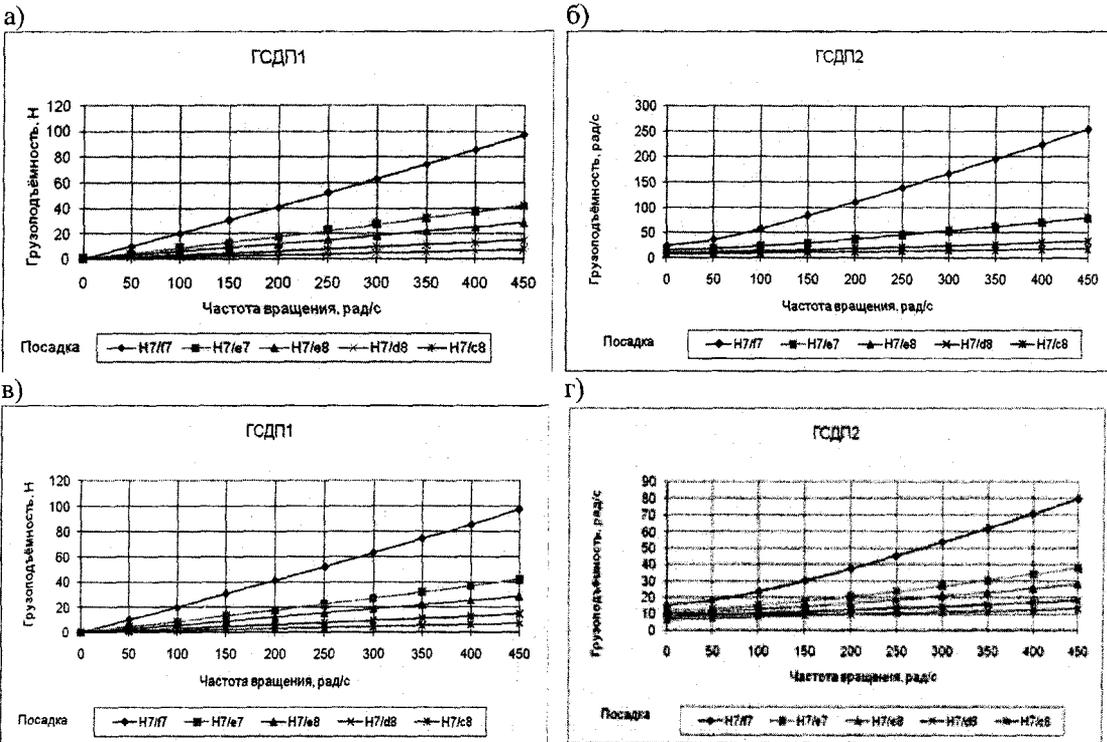


Рисунок 7 – Грузоподъемность при S_{min} в ГСДП1 (а) и в ГСДП2 (б) S_{max} в ГСДП1 (в) и в ГСДП2 (г)

ВЫВОДЫ

При минимальном зазоре S_{min} , в ГСДП1 наиболее предпочтительной при потерях на трение является посадка H7/c8, так как при частоте 1500 об/мин, наблюдаются меньшие потери

на трение: более чем на 60% меньше, нежели в Н7/ф7, более чем 45% чем в Н7/е7 и Н7/е8, и более чем 30% в Н7/д8. Посадка Н7/ф7 предпочтительна тем, что грузоподъемность при ней на 96% выше, чем в Н7/с8. Потери мощности на прокачку и расход в Н7/ф7 меньше чем в Н7/с8 на 96% и меньше чем в ближайшей посадке Н7/е7 на 70%.

При минимальном зазоре S_{min} , в ГСДП2 наиболее предпочтительной посадкой при учёте потерь мощности на трение является посадка Н7/с8, так как у неё потери меньше чем у Н7/ф7 на 64%, и меньше чем у ближайшей посадки Н7/д8 на 25%. Потери мощности на прокачку и расход в Н7/с8 меньше чем у Н7/ф7 на 5% и чем у ближайшей Н7/д8 на 1%.

Грузоподъемность выше в посадке Н7/ф7, она больше чем в Н7/с8 на 86%, и больше чем в ближайшей Н7/е7 на 64%.

При максимальном зазоре S_{max} , в ГСДП1, при учёте потерь на трение посадка Н7/с8 даёт потери меньше чем в Н7/ф7 на 56%, и меньшие чем в ближайшей Н7/д8 на 20%. Потери мощности на прокачку и расход в посадке Н7/ф7 меньше чем в Н7/с8 на 93% и в Н7/е7 на 57%. Грузоподъемность в посадке Н7/ф7 больше чем в Н7/с8 на 93%.

При максимальном зазоре S_{max} ГСДП2, наиболее предпочтительной посадкой при учёте потерь мощности на трение является посадка Н7/с8, так как у неё потери меньше чем у Н7/ф7 на 56%, и меньше чем у ближайшей посадки Н7/д8 на 20%. Потери мощности на прокачку и расход в Н7/с8 меньше чем у Н7/ф7 на 3% и чем у ближайшей Н7/д8 на 1%. Грузоподъемность выше в посадке Н7/ф7, она больше чем в Н7/с8 на 70%, и больше чем в ближайшей Н7/е7 на 43%.

Важнейшими и наиболее значимыми характеристиками являются грузоподъемность и потери мощности на трение и расход смазочного материала. Согласно выводам, можно рекомендовать по грузоподъемности в обоих подшипниках посадку Н7/ф7, грузоподъемность при данной посадке в ГСДП1 превосходит в среднем грузоподъемность ГСДП2 на 20%. Для уменьшения потерь мощности на трения для обоих подшипников можно рекомендовать посадку Н7/с8. Для уменьшения расхода в ГСДП1 предпочтительна посадка Н7/ф7, а для уменьшения расхода в ГСДП2 предпочтительна посадка Н7/с8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов, П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. В 2-х кн. [Текст] / П.И. Орлов; под ред. П.Н. Учаева. – М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.
2. Марцинковский, В.А. Бесконтактные уплотнения роторных машин [Текст] / В.А. Марцинковский. – М.: Машиностроение, 1980. – 200 с.: ил
3. Савин, Л.А. Теоретические основы расчета и динамика подшипников скольжения с парожидкостной смазкой: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук [Текст] / Л.А. Савин. – Орел, 1998. – 352 с.
4. АнРос – Нефтепродукты [Текст] / Анохин А.М., Майоров С.В., Морозов А.А., Савин Л.А., Соломин О.В. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2008612018. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 23 апреля 2008 г.
5. Анохин, А.М. Обоснование параметров гидростатодинамических подшипников при смазке маловязкими нефтепродуктами: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук [Текст] / А.М. Анохин. – Тула, 2009. – 181 с.

Кузнецов Николай Николаевич

Ливенский филиал Орловского государственного технического университета, г. Ливны
Студент 4 курса, кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»
Тел. 8-9102660246
e-mail: bassist57@gmail.com

Хромов Семен Юрьевич

Ливенский филиал Орловского государственного технического университета, г. Ливны
Студент 3 курса, кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»
Тел. 89202812295
e-mail: bassist57@gmail.com

Савин Леонид Алексеевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Доктор технических наук, профессор кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»
Тел. (4862)41-98-49
e-mail: savin@ostu.ru

Анохин Александр Михайлович

Ливенский филиал Орловского государственного технического университета, г. Ливны
Кандидат технических наук, кафедры «Мехатроника и международный инжиниринг»
Тел. 8-9103006408
e-mail: anohin62@mail.ru

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЁС

Рассмотрены основы трехмерного моделирования зубчатых колёс с использованием различных программных продуктов

Ключевые слова: *зубчатое колесо, параметрическая модель, проектирование*

Basics of three-dimensional gear wheels modeling were examined using different programs

Keywords: *gear wheel, parametric model, designing*

В конструкциях многих машин, приборов и агрегатов в качестве передаточных механизмов наибольшее распространение получили зубчатые передачи. Это вызвано рядом их преимуществ по сравнению с остальными видами передач, среди которых: возможность передачи наибольших крутящих моментов, обеспечение постоянства передаточного отношения, высокий КПД передачи, небольшие габариты при передаче высоких крутящих моментов, плавность и бесшумность работы и т.д.

Преимущества зубчатых передач в значительной степени определяются точностью параметров, качеством рабочих поверхностей зубьев и механическими свойствами материала зубчатых колес [1].

В связи с современными тенденциями развития техники требования к точности параметров и механическим свойствам зубчатых колес постоянно возрастают. При разработке современных зубчатых передач стремятся увеличивать передаваемые моменты, окружные скорости, а также надежность и долговечность зубчатых колес при неизменных или меньших габаритах передач; в то же время стремятся свести к минимуму себестоимость зубчатых колес.

Возникает вопрос о необходимости создания автоматизированного проектирования зубчатых колёс, а также оптимизации данного процесса. Для решения поставленной задачи применяются программы Delphi и Excel (для выполнения инженерных расчётов), SolidWorks (для построения твердотельной модели).

Общеизвестно, что проектирование зубчатых колёс с заданными или наилучшими выходными характеристиками требует математической формулировки задачи оптимального проектирования, для решения которой необходимо выполнить определенную последовательность действий:

- определить основную систему переменных и выделить решающие расчетные параметры;
- сформулировать в виде неравенств все ограничения, налагаемые на расчет;
- сформулировать математическую модель механизма или машины в виде системы необходимых и достаточных выражений, связывающих различные переменные и описывающих поведение объекта проектирования;
- выработать критерий качества, выражающий цель конструктора при проектировании и позволяющий определить область допустимых решений;
- выбрать метод оптимизации решаемой задачи, дающий возможность систематически и эффективно исследовать области допустимых решений для отыскания наилучших из них.

На *первом этапе* (рисунок 1) проектирования уточняется поставленная задача и определяются технические характеристики, которыми должно обладать зубчатое колесо. Далее задаются исходные данные для проектирования, выполняется проектировочный расчёт при помощи программы Delphi (рисунок 2), выбирается тип колеса (рисунок 3).

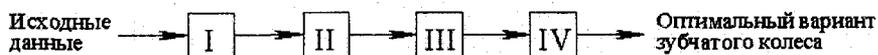


Рисунок 1 – Этапы проектирования зубчатого колеса

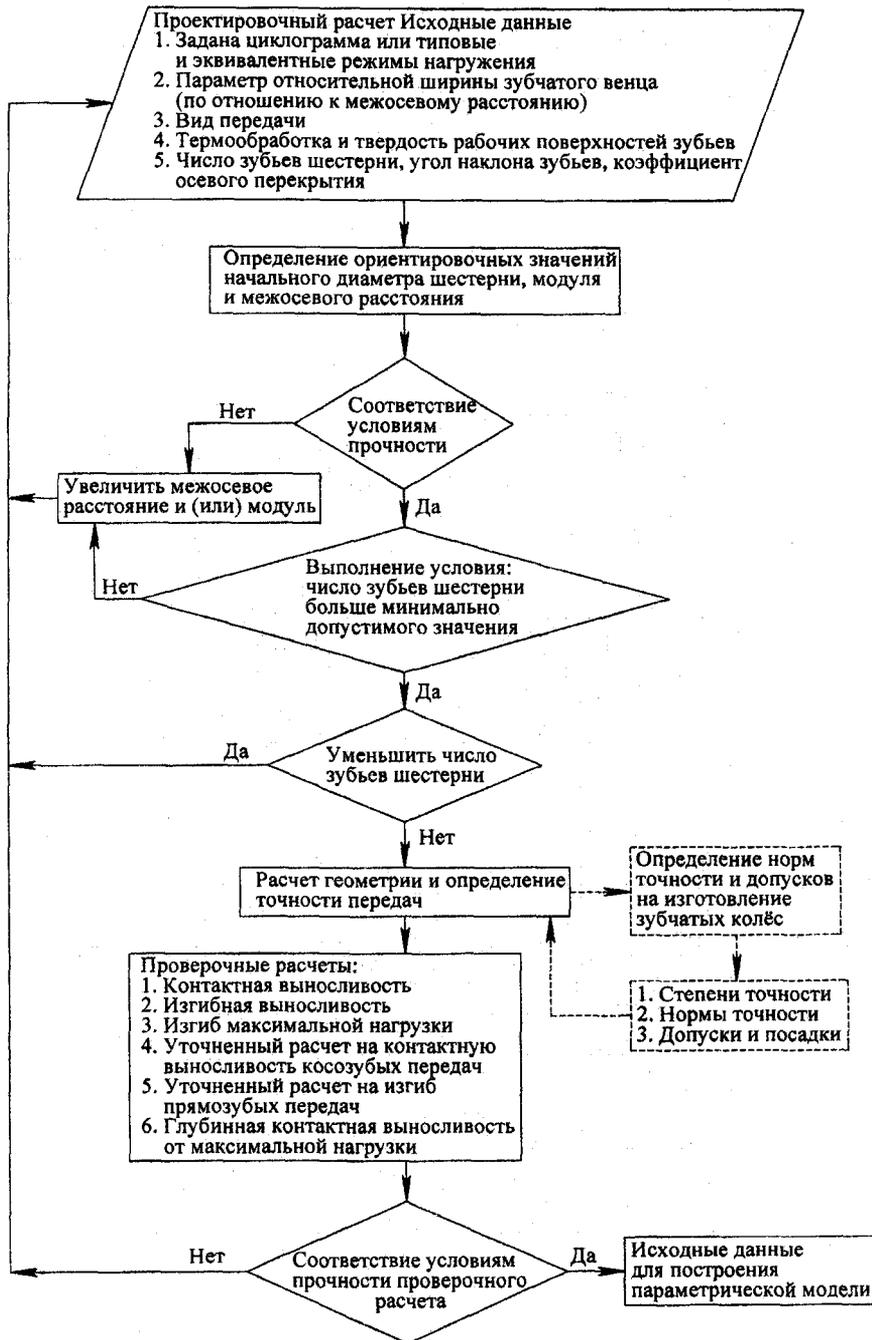


Рисунок 2 – Алгоритм проектирования зубчатого колеса

На втором этапе выполняются проверочные расчеты также с использованием программы Delphi (рис. 1, 2), завершением которого является получение геометрических параметров проектируемого изделия для создания параметрической модели.

Третий этап заключается в создании параметрической модели зубчатого колеса (рис. 3, 5) с использованием геометрических параметров, полученных на предыдущих этапах. Для этого используется программа SolidWorks – система гибридного параметрического моделирования, которая предназначена для проектирования деталей и сборок в трёхмерном про-

странстве с возможностью проведения различных видов экспресс-анализа, а также оформления конструкторской документации в соответствии с требованиями ЕСКД.

На четвёртом этапе создаётся рабочий чертёж зубчатого колеса. Технология Solidworks позволяет создавать 2D-виды непосредственно из 3D-модели. Причем дальнейшее изменение модели автоматически изменит 2D-виды, что также позволяет избежать ошибок, вызванных из-за так называемого человеческого фактора (усталость, невнимательность) [2].

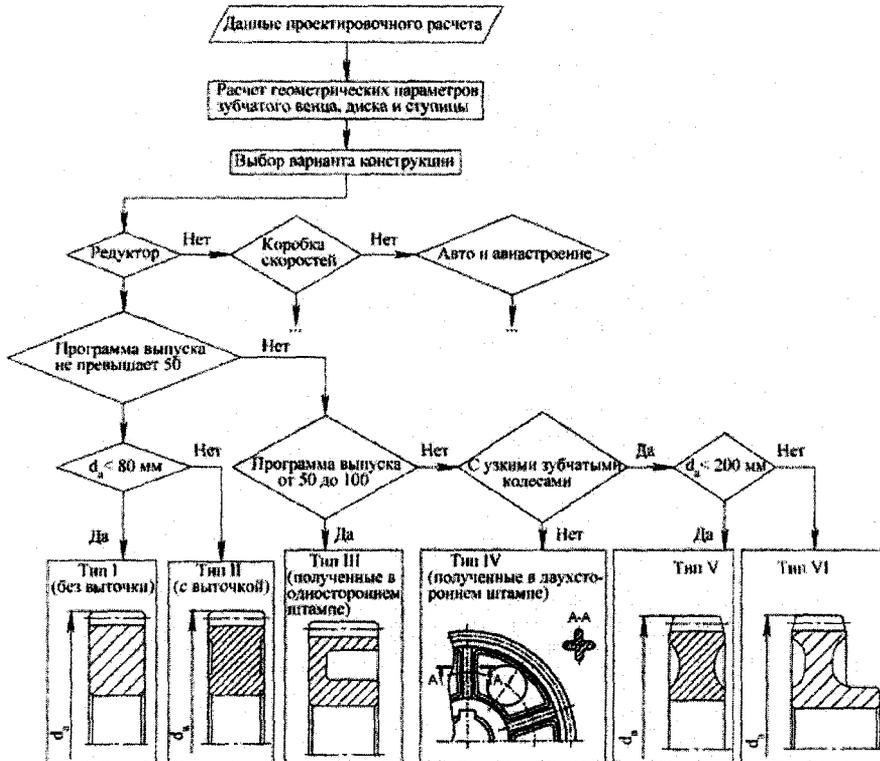


Рисунок 3 – Алгоритм выбора конструкции зубчатого колеса



Рисунок 4 – Параметрическая модель зубчатого колеса в программе Solidworks

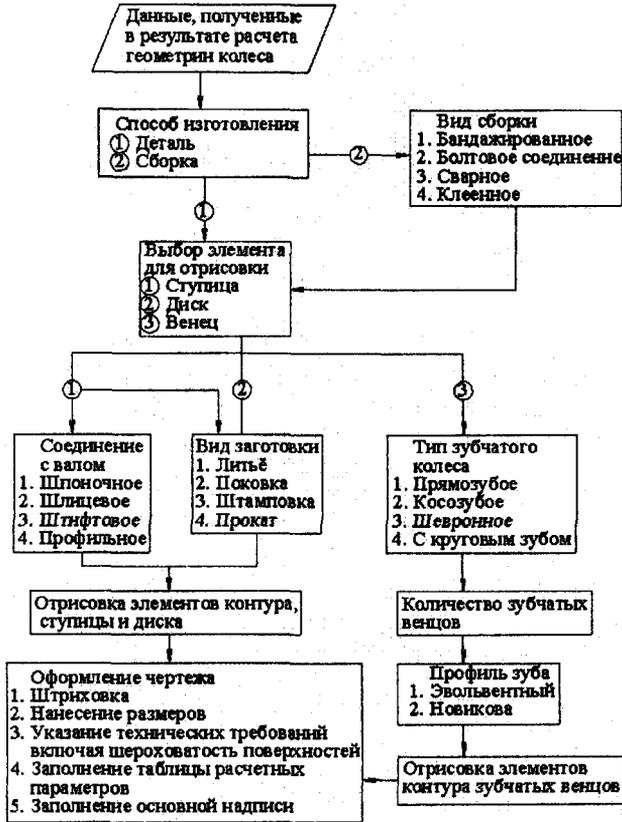


Рисунок 5 – Алгоритм получения рабочего чертежа зубчатого колеса

Построение параметрических моделей других видов зубчатых колёс происходит аналогично.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что представленная параметрическая модель зубчатого колеса может использоваться как на производстве, так и в учебном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерохин, М.Н. Детали машин и основы конструирования [Текст] / Под ред. М.Н. Ерохина – М.: КолосС, 2005 – 462 с.: ил.
2. Алямовский, А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А.А. Алямовский, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов и др.– СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040с

Минаев Сергей Николаевич

Курский государственный технический университет, г. Курск
 Магистрант кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование»
 Тел. (951)-3399525
 E-mail: M-Sergey2007@yandex.ru

Райник Михаил Владимирович

Курский государственный технический университет, г. Курск
 Магистрант кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование»
 Тел. (950)-8731724
 E-mail: M-Sergey2007@yandex.ru

А.В.СОКЛАКОВ, А.Ю.АНТОНОВ, Н.А.МАЛИНИНА

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В данной статье рассматривается создание программы для расчета ферменной конструкции произвольной конфигурации методом конечных элементов

Ключевые слова: ферменная конструкция, метод конечных элементов

In given article creation of the program for calculation ферменной designs of a any configuration is considered by a method of final elements

Keywords: farm a design, a method of final elements

Уже много лет метод конечных элементов является наиболее широко используемым при проектировании и расчете различных конструкций. Существует множество литературы, посвященной этому методу: как по его теоретическим основам, так и по прикладному использованию. Метод конечных элементов (МКЭ) является наиболее удобным из известных методов для алгоритмизации и программирования. Он реализован во множестве пакетов прикладных программ. Тем не менее, для создания программы, реализующей МКЭ даже в простейшем варианте, необходимо изучить массу литературы, для того чтобы собрать алгоритм по частям. В данной статье представлена вся необходимая информация для создания программы, рассчитывающей напряженно-деформированное состояние (НДС) ферменной конструкции произвольной конфигурации.

Работу такой программы можно разделить на три основные части: препроцессор, процессор или решатель и постпроцессор. В препроцессоре происходит формирование входных данных, описывающих систему. Таким данными являются четыре массива. Первый из них хранит данные о координатах всех узлов. Количество строк в нем равно количеству узлов N в системе, столбцов два: для координат X и Y каждого узла.

Еще один массив входных данных – информация об элементах. Количество строк в нем равно числу элементов в системе N^e . Каждая строка хранит следующую информацию об элементе: номер начального узла, номер конечного узла, модуль упругости материала, площадь поперечного сечения. Таким образом, количество столбцов в этом массиве – 4.

Третий необходимый массив хранит информацию о закреплениях в конструкции. Он является одномерным длиной $2N$ – равной числу степеней свободы в системе. Его элементы равны 0, если степень свободы не ограничена, и 1, если есть закрепление.

Последний, четвертый, массив входных данных хранит информацию о нагрузках в системе. В фермах нагрузками являются только силы, прикладываемые в узлах. По структуре этот массив аналогичен массиву закреплений. Отличие в том, что значения элементов равны проекциям сил в соответствующих узлах.

Большая часть интерфейса программы предназначена для формирования массивов входных данных. На рисунке 1 представлен предлагаемый нами вариант. Слева изображены четыре панели ввода данных, по числу заполняемых массивов. На каждой панели размещены объекты, необходимые для сбора информации, и кнопка для запуска соответствующей процедуры добавления нового элемента (узла, элемента, ограничения или силы). Например, для добавления узла необходимо указать его координаты, а для добавления силы – номер узла, в котором она приложена, направление и величину. В простейшем варианте графическая область используется только для отображения введенной информации. Мы предлагаем использовать ее также и для ввода информации, как и во множестве известных пакетов. Так, например, создать новый элемент можно, указав последовательно мышью начальный и конечный узел. Еще раз подчеркнем, что использование графической области для ввода информации

несколько не изменяет алгоритм, а лишь делает более удобным процесс формирования входных массивов.

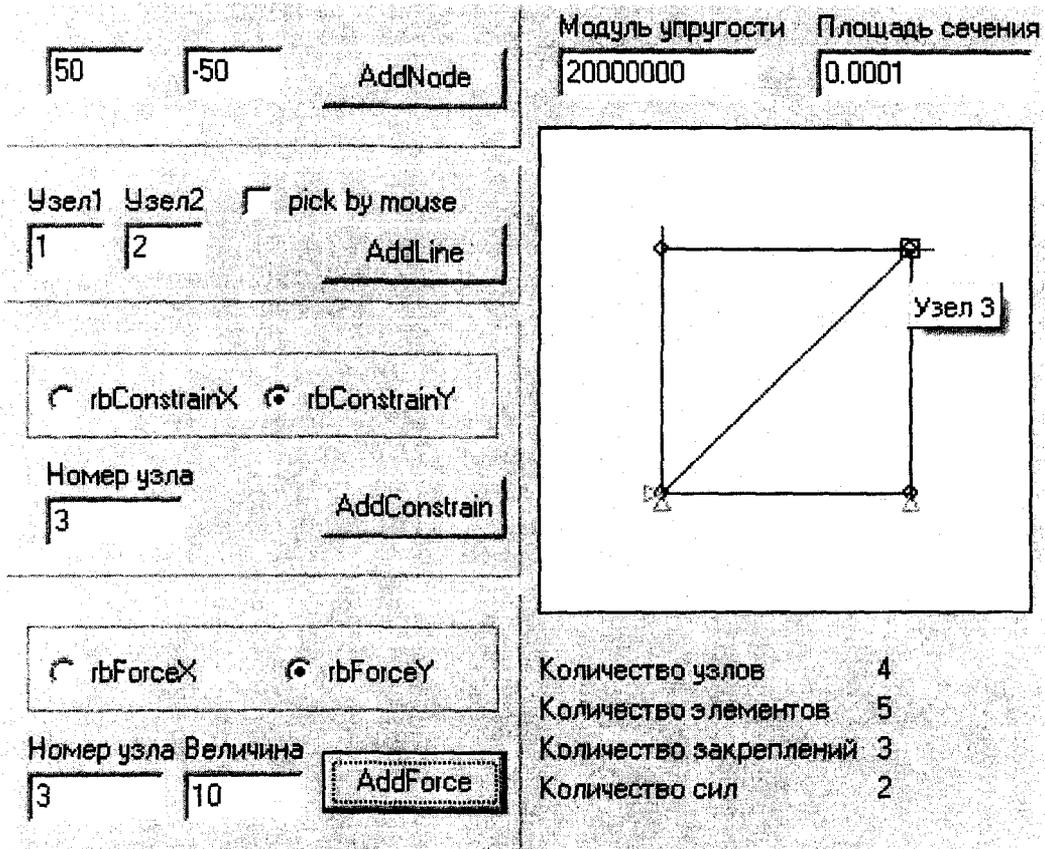


Рисунок 1 – часть интерфейса программы, обеспечивающая ввод данных.

Вторым этапом решения задачи методом конечных элементов в его программной реализации является процедура решателя. Это набор действий, которые необходимо произвести над входными массивами, для того чтобы сформировать основное уравнение МКЭ и решить его. Основное уравнение МКЭ для задач механики деформируемого твердого тела в линейной постановке задачи выглядит следующим образом:

$$KU = F,$$

где U – искомый вектор перемещений, F – вектор узловых сил, K – глобальная матрица жесткости системы. Вектор F определен еще на этапе ввода данных. Остается сформировать глобальную матрицу жесткости. Она определяется по формуле:

$$K = \sum_{e=1}^{N^e} (a^e)^T K^e a^e,$$

где a^e – матрица кинематических связей, K^e – элементная матрица жесткости. В программе обе эти матрицы удобно представить трехмерными массивами, число страниц в которых равно числу элементов в системе N^e , так как у каждого элемента своя матрица жесткости и своя матрица кинематических связей. Рассмотрим подробнее структуру и содержимое страниц в этих массивах.

Матрица кинематических связей устанавливает соответствие между глобальной и локальной нумерацией степеней свободы. Число строк в ней равно числу степеней свободы в элементе, т.е. для выбранного класса задач всегда 4. Число столбцов равно числу степеней

свободы в системе $2N$. В каждой строке только один элемент равен 1, а остальные равны нулю. Для того чтобы определить, где именно должны располагаться единицы, используется входной массив с информацией об элементах, в частности, его первые два столбца.

Элементную матрицу жесткости удобнее всего формировать, воспользовавшись формулой:

$$K^e = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} l^2 & lm & -l^2 & -lm \\ lm & m^2 & -lm & -m^2 \\ -l^2 & -lm & l^2 & lm \\ -lm & -m^2 & lm & m^2 \end{bmatrix},$$

где E – модуль упругости материала элемента,
 A – площадь поперечного сечения элемента,
 L – длина элемента,
 l – косинус угла между глобальной и локальной осью абсцисс,
 m – синус угла между локальной и глобальной осью абсцисс.

Последние три величины можно вычислить по формулам:

$$L = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2}, \quad l = \frac{X_j - X_i}{L}, \quad m = \frac{Y_j - Y_i}{L},$$

где l – координаты конца элемента,
 m – координаты начала.

Как видно из приведенных формул, в рассматриваемых задачах размерность элементной матрицы жесткости всегда одинакова 4×4 . Значения ее элементов вычисляются с использованием двух массивов входных данных, хранящих информацию о координатах узлов и об элементах.

Сформировав таким образом элементные матрицы жесткости и матрицы кинематических связей для всех элементов, можно заполнить глобальную матрицу жесткости системы. Это квадратная симметричная матрица жесткости. Ее размерность равна числу степеней свободы $2N$. Для того чтобы фрагмент кода, вычисляющий глобальную матрицу жесткости, легче читался, рекомендуем создать отдельные процедуры для транспонирования и перемножения матриц.

К этому моменту в памяти компьютера имеются сформированный вектор узловых сил и глобальная матрица жесткости. Если бы речь шла об аналитическом расчете, то можно было бы переходить к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Мы предлагаем использовать в рассматриваемой задаче алгоритм Холецкого для определения вектора перемещений. Поэтому необходимо несколько скорректировать имеющиеся матрицы, а именно вычеркнуть строки и столбцы, соответствующие нулевым перемещениям. Для этого используется входной массив, хранящий информацию о закреплениях в системе. После выполнения этой процедуры к полученным матрицам можно применять метод Холецкого.

Метод Холецкого основан на том факте, что любую симметричную и положительно определенную квадратную матрицу можно привести к виду

$$K = L^T L,$$

где K – данная матрица порядка n ;

L – некоторая верхнетреугольная матрица того же порядка, что и K . Тогда данная система уравнений переписывается в виде

$$L^T L U = F.$$

Далее делается подстановка $V = LU$ и рассматривается решение двух более простых, по сравнению с исходной СЛАУ: $LU = v$ и $L^T V = F$. Сначала решается вторая система, затем на основе полученного результата первая. Решение можно представить в виде

$$V_i = L_{ii}^{-1} \left(F_i - \sum_{j=1}^{i-1} L_{ji} V_j \right), \quad i = 1, \dots, n, \quad U_i = L_{ii}^{-1} \left(V_i - \sum_{j=n}^{i+1} L_{ji} U_j \right), \quad i = n, \dots, 1.$$

Таким образом, задача сводится к определению элементов матрицы L . Для этого следует приравнять соответствующие элементы матриц $L^T L$ и K . Окончательные выражения имеют вид

$$L_{ii} = \sqrt{K_{ii} - \sum_{j=1}^{i-1} L_{ij}^2}, i = 1, \dots, n,$$

$$L_{ij} = L_{jj}^{-1} \left(K_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} L_{ik} L_{jk} \right), i = j + 1, \dots, n.$$

Для программной реализации данного метода удобно использовать специальную процедуру, входными параметрами в которой являются массивы, хранящие матрицу жесткости K , и вектор узловых сил F с уже вычеркнутыми нулевыми строками и столбцами. Изменяемым параметром в данной процедуре является массив узловых перемещений U .

После выполнения этой процедуры вектор U хранит информацию о перемещениях по всем ненулевым степеням свободы. При выводе результатов важно помнить, что часть степеней свободы была ограничена и вычеркнута нами для решения СЛАУ. Для того чтобы сделать процесс вывода корректным удобно использовать входной массив закреплений. Напомним, что единицы в нем означают ограниченную степень свободы.

Подставляя найденный вектор перемещений в основное уравнение МКЭ с невычеркнутыми нулевыми строками и столбцами, можно определить неизвестные реакции опор в закреплениях. Также по найденным перемещениям нетрудно вычислить деформации и напряжения в стержнях, а поскольку площади сечений известны, то и усилия.

$$\sigma = \frac{E}{L} [-l \quad -m \quad l \quad m] \begin{pmatrix} u_{xi} \\ u_{yi} \\ u_{xj} \\ u_{yj} \end{pmatrix},$$

l - перемещения начального узла элемента в глобальной системе координат,
 m - перемещения конечного узла.

Приведем пример использования данной программы, а также сравним результаты ее работы с решением, полученным с помощью комплекса конечно-элементного анализа Ansys.

Пусть требуется определить перемещения узлов некоторой конструкции (рисунок 2). Площадь поперечного сечения стержней $0,0001 \text{ м}^2$, материал стержней конструкционная сталь. На рисунке 3 представлена заданная конструкция, рассчитанная в Ansys и в разрабатываемой программе соответственно. Заметим, что построение модели в этих программах схожи.

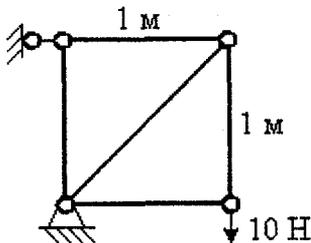


Рисунок 2 – Пример ферменной конструкции

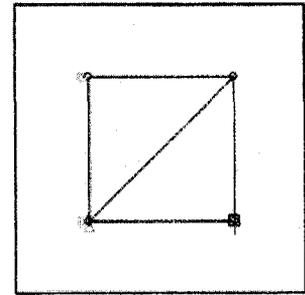
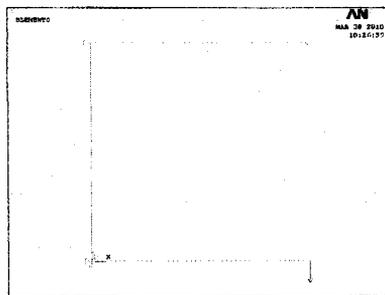


Рисунок 3 – Модели конструкции, построенные в различных средах

На рисунке 4 представлены результаты расчетов перемещений узлов конструкции в комплексе Ansys и в разработанной программе.

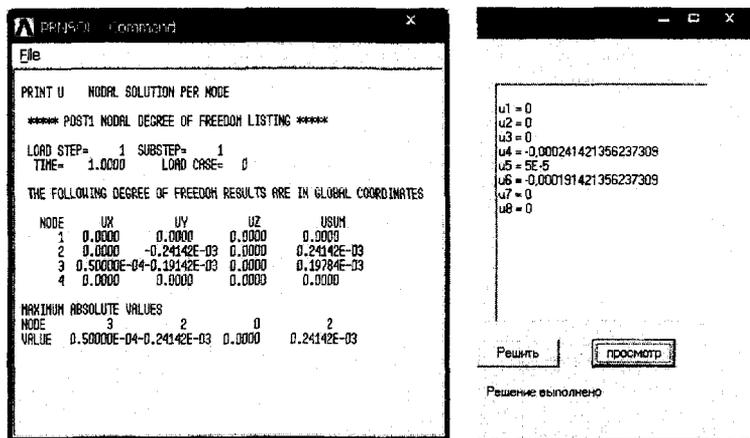


Рисунок 4 – Результаты расчетов

Как видно из рисунка 4 результаты расчета в обеих программах совпадают с хорошей точностью.

В заключение хотелось бы сказать о границах применимости и некоторых особенностях предложенного алгоритма. Во-первых, все вышесказанное справедливо только для материалов, подчиняющихся закону Гука. Замена упругого поведения материала, например, упругопластической моделью Прандтля приведет к изменению основного уравнения, а, следовательно, и к другому алгоритму. Во-вторых, составленная расчетная схема должна адекватно описывать реальную конструкцию. В узлах должны быть шарниры, либо соединения жесткостью которых можно пренебречь. Стержни должны быть прямолинейными и иметь постоянную площадь сечения. В-третьих, стержни должны быть представлены одним элементом, в отличие от решения балочных систем, где увеличение количества элементов в пролете повышает точность вычислений. Представление стержня двумя элементами не только не приведет к повышению точности расчета, но и сделает его не правильным, поскольку это эквивалентно размещению шарнира в середине стержня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплун, А.Б. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство [Текст] / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева – М.: Издательство УРСС, 2003. – 272 с.
2. Маслов, Л.Б. Численные методы механики [Текст] / Л.Б. Маслов. - Курс лекций.
3. Петров, И.Б. Введение в вычислительную математику [Текст] / И.Б. Петров, А.И. Лобанов. - Курс лекций.

Соклаков Александр Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Кафедра «Динамика и прочность машин»
 Тел. (4862)-419813
 E-mail: malinin@ostu.ru

Антонов Андрей Юрьевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Кафедра «Динамика и прочность машин»
 Тел. (4862)-419813
 E-mail: malinin@ostu.ru

Малинина Надежда Аркадьевна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
 Кафедра «Динамика и прочность машин»
 Тел. (4862)-419813
 E-mail: malinin@ostu.ru

Ю.Н. СТЕБЛЕЦОВ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБОТКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПЕРЕДАЧИ НОВИКОВА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Приведены зависимости для кинематических изменений углов режущей части и толщины срезаемого слоя. Построены графики кинематических изменений заднего угла и толщины срезаемого слоя

Ключевые слова: исходный контур, математическое отображение, передачи Новикова, кинематическое изменение углов режущей части инструмента, толщина срезаемого слоя

Dependences for kinematic changes of corners of a cutting part and width of a cut off stratum are reduced. Graphs of kinematic changes of a clearance angle and width of a cut off stratum are constructed

Keywords: an initial head loop, mathematical map, transmissions Novikova, kinematic change of corners of a cutting part of the instrument, width of a cut off stratum

Нагрузочная способность передач с зацеплением Новикова по условию контактной прочности оказывается по литературным данным [1] и результатам практического использования приблизительно в 1,5–2,0 раза выше (при твердости поверхности зубьев до 320 НВ), чем у такой же по размеру и материалам эвольвентной косозубой передачи. Хорошая прирабатываемость зацепления (особенно при твердости материала поверхности зубьев менее 320 НВ) дополнительно способствует повышению контактной прочности. Следует отметить, что первоначально точечный контакт зубьев заметно снижает чувствительность передачи к перекосам. Как правило, внедрение таких передач приводит к повышению нагрузочной способности, долговечности силового привода либо к снижению массы редукторов. Достоинства зацепления Новикова в ряде случаев могут быть реализованы лишь при надлежащем качестве изготовления колес [1].

С момента появления зубчатых передач Новикова, выполнено значительное количество исследований теоретического и экспериментального характера. Несмотря на это технология производства таких зубчатых передач осталась не достаточно разработана, отсутствуют сведения в общедоступной российской справочной литературе по оптимальным режимам обработки. В этой связи разработка технологии производства таких передач является актуальной темой исследования.

Были приняты следующие обозначения:

ψ – угол между осью ОУ и линией, проходящей через середину зуба инструмента, обрабатывающего данную впадину колеса в любом его положении;

φ – угол поворота фрезы в плоскости YZ;

Δh – параметр режущей кромки.

Разработка математического отображения схемы резания зубчатых колес передачи Новикова червячными фрезами производилась на основе профиля исходного контура ГОСТ 15023-76 (Рисунок 1).

$$H_1 \begin{cases} X_1 = r \cdot \sin(\pm\alpha_{y_0}) \\ Y_1 = 1,05r - H_2 - H_3 - \Delta h \\ Z_1 = 0 \end{cases} \quad H_2 \begin{cases} X_1 = \Delta h \operatorname{tg}(\pm\alpha) \\ Y_1 = 1,05r - H_2 - \Delta h \\ Z_1 = 0 \end{cases} \quad H_3 \begin{cases} X_1 = \pm t + 1,05r \cdot \sin(\mp\alpha_{y_0}) \\ Y_1 = 1,05r - \Delta h \\ Z_1 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

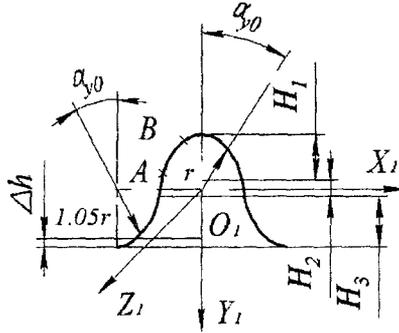


Рисунок 1 - Задание исходного контура в плоскости XY

Математическое отображение схемы резания зубьев обрабатываемого колеса при обработке инструментами червячного типа было получено при осуществлении последовательных итераций. Нижний индекс при координатах X, Y, Z указывает номер итерации. Конечные формулы имеют вид [2]:

$$\begin{aligned}
 X_3 &= r_1 \sin \psi - r_1 \psi \cos \psi + \{X_1 \cos(\omega + \beta) + [Z_1 \cos \gamma - (Y_1 - h_a) \sin \gamma] \sin(\omega + \beta)\} \cos \psi - \\
 &\quad - \left\{ [Z_1 \sin \gamma + (Y_1 - h_a) \cos \gamma + h_a - (a_\omega - r_1)] \cos \varphi + \right. \\
 &\quad \left. + [-X_1 \sin(\omega + \beta) + (Z_1 \cos \gamma - (Y_1 - h_a) \sin \gamma) \cos(\omega + \beta)] \sin \varphi + a_\omega - r_1 \right\} \sin \psi \\
 Y_6 &= r_1 \cos \psi + r_1 \psi \sin \psi + \{X_1 \cos(\omega + \beta) + [Z_1 \cos \gamma - (Y_1 - h_a) \sin \gamma] \sin(\omega + \beta)\} \sin \psi + \\
 &\quad + \left\{ [Z_1 \sin \gamma + (Y_1 - h_a) \cos \gamma + h_a - (a_\omega - r_1)] \cos \varphi + \right. \\
 &\quad \left. + [-X_1 \sin(\omega + \beta) + (Z_1 \cos \gamma - (Y_1 - h_a) \sin \gamma) \cos(\omega + \beta)] \sin \varphi + a_\omega - r_1 \right\} \cos \psi \\
 Z_5 &= -[Z_1 \sin \gamma + (Y_1 - h_a) \cos \gamma + h_a - (a_\omega - r_1)] \sin \varphi + \\
 &\quad + [-X_1 \sin(\omega + \beta) + (Z_1 \cos \gamma - (Y_1 - h_a) \sin \gamma) \cos(\omega + \beta)] \cos \varphi + S_0 \varphi
 \end{aligned} \tag{2}$$

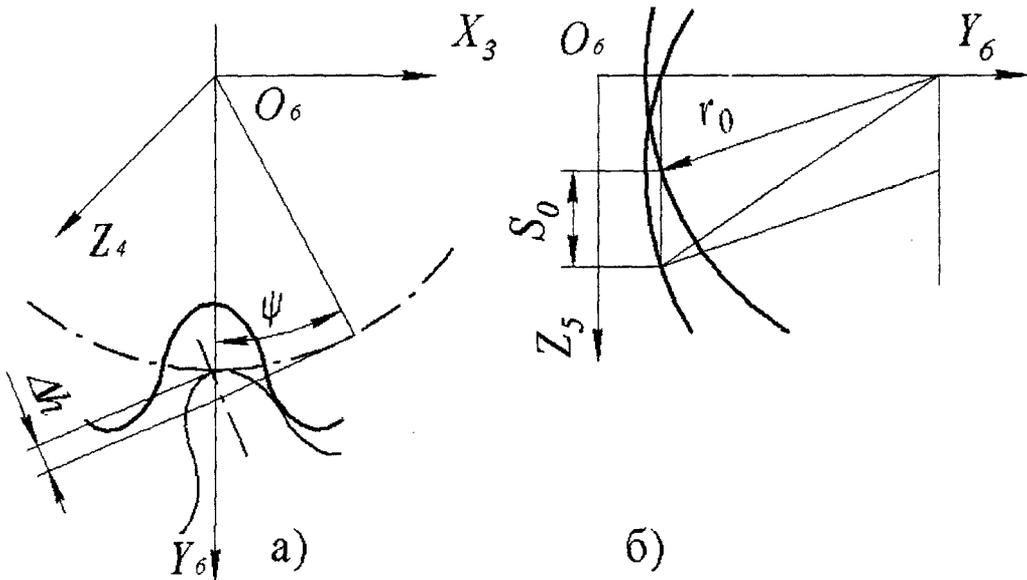


Рисунок 2 - Схема расчета математического отображения процесса резания инструментами червячного типа: а - плоскость XY; б - плоскость ZY

Кинематическое изменение заднего угла в направлении наибольшего перемещения по подаче можно определить по формуле [3]:

$$\Delta\alpha = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{\sqrt{X_{\psi}^2 + Y_{\psi}^2 + Z_{\psi}^2}}{\sqrt{X_{\varphi}^2 + Y_{\varphi}^2 + Z_{\varphi}^2}} \right\} \quad (3)$$

Вектор скорости в направлении подачи:

$$\vec{V}_{\psi} = \left(\frac{\partial x}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial \tau} V_x; \frac{\partial y}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial \tau} V_y; \frac{\partial z}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial \tau} V_z \right) \quad (4)$$

Вектор движения резания:

$$\vec{V}_{\varphi} = \left(\frac{\partial x}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} V_x; \frac{\partial y}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} V_y; \frac{\partial z}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial \tau} V_z \right) \quad (5)$$

где τ - время.

Для вычисления толщины срезаемого слоя необходимо получить уравнение плоскости p , касательной к поверхности резания в точке N . Эта плоскость определяется тремя векторами:

- суммарным вектором:

$$\vec{V}_{\varphi\psi} = \{X_{\varphi\psi}; Y_{\varphi\psi}; Z_{\varphi\psi}\} \quad (6)$$

- вектором \vec{n}

$$\vec{n} = \{X_n; Y_n; Z_n\} \quad (7)$$

- вектором \vec{z}

$$\vec{z} = \{X_z; Y_z; Z_z\} = \{X - X_n; Y - Y_n; Z - Z_n\}. \quad (8)$$

Составляя определитель из этих трех векторов и раскрывая его, получаем уравнение плоскости p :

$$(Y_{\varphi\psi} Z_n - Z_{\varphi\psi} Y_n) X_z + (Z_{\varphi\psi} X_n - X_{\varphi\psi} Z_n) Y_z + (X_{\varphi\psi} Y_n - Y_{\varphi\psi} X_n) Z_z = 0. \quad (9)$$

Вектор \vec{a} , в направлении которого измеряется толщина срезаемого слоя, должен быть перпендикулярен к плоскости p в точке N :

$$\vec{a} = \{X_a; Y_a; Z_a\} = (Y_{\varphi\psi} Z_n - Z_{\varphi\psi} Y_n) + (Z_{\varphi\psi} X_n - X_{\varphi\psi} Z_n) + (X_{\varphi\psi} Y_n - Y_{\varphi\psi} X_n) \quad (10)$$

Спроектировав на направление вектора \vec{a} вектор \vec{V}_{ψ} , получим толщину срезаемого слоя:

$$a = \left\{ \frac{X_a \cdot X_{\psi} + Y_a \cdot Y_{\psi} + Z_a \cdot Z_{\psi}}{\sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}} \right\}. \quad (11)$$

Кинематическое изменение переднего угла γ определяется по формуле:

$$\Delta\gamma = \operatorname{arctg} \left\{ \frac{a}{\sqrt{X_{\varphi}^2 + Y_{\varphi}^2 + Z_{\varphi}^2}} \right\}. \quad (12)$$

Расчет кинематического изменения углов инструмента и толщины срезаемого слоя производился для обработки зубчатого колеса $m = 3$ мм; $z_l = 30$; червячной фрезой $D_{\varphi} = 112$ мм, графики построены для участка профиля H_1 (Рисунок 1).

На рисунке 3 представлен график изменения заднего угла по длине кромки. Кривые 1 $\psi = 0,2618$ рад, 3 $\psi = 0,4363$ рад отображает кинематическое изменение задних углов у входной кромки, кривые 2 $\psi = 0,2618$ рад и 4 $\psi = 0,4363$ рад, соответственно, у выходной кромки. Как видно из графиков.

На рисунке 4 представлены два положения режущего лезвия участка АВ (Рисунок 1) при $\psi = 0,2408$ рад (кривая 1) и при $\psi = 0,2618$ рад (кривая 2).

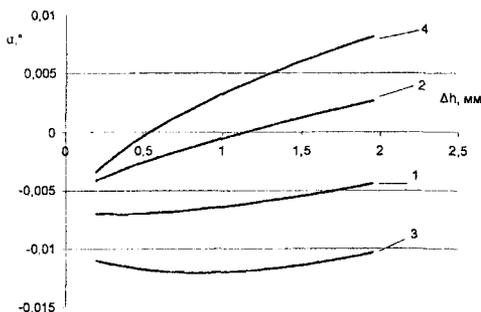


Рисунок 3 – Кинематическое изменение заднего угла

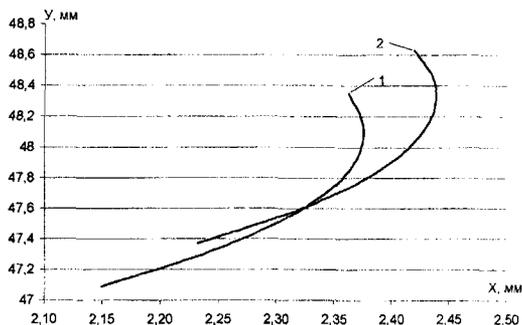


Рисунок 4 – Последовательные положения режущего лезвия участка АВ

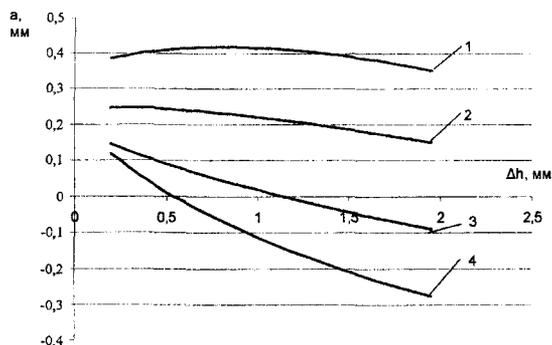


Рисунок 5 – Изменения толщины слоя а, срезаемого входными и выходными кромками

На рис. 5 представлены графики изменения толщины слоя, срезаемого входными кромками кривые 1 при $\psi = 0,2618$ рад, 3 при $\psi = 0,4363$ рад и выходными, кривые 2 $\psi = 0,2618$ рад, 4 при $\psi = 0,4363$ рад.

При математическом моделировании можно задать любой исходный контур зубчатых колес передачи Новикова, движения в процессе формирования, а также установить связь между параметрами скорости, подачи и режущей кромки. В перспективе предложенная методика исследования процесса обработки позволит прогнозировать значения сил резания при обработке зубчатого колеса для любых начальных параметров, точность при известной жесткости зубофрезерных станков, а также шероховатость поверхности зуба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короткин, В.И. Зубчатые передачи Новикова. Достижения и развитие [Текст] / В.И. Короткин, Н.П. Онишников, Ю.Д. Харитонов – М.: Машиностроение – 1, 2007. – 384 с.
2. Стеблецов, Ю.Н. Разработка математического отображения схемы резания зубчатых колес передачи Новикова червячными фрезами [Текст] / Ю.Н. Стеблецов, А.С. Тарапанов. - Сборник трудов научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов, 2010 - с. 90-94.
3. Полохин, О.В. Разработка и анализ математического отображения кинематической схемы резания зубьев инструментами червячного типа [Текст] / О.В. Полохин, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. - Справочник. Инженерный журнал, 2000. – № 8. С. 11-14.

Стеблецов Юрий Николаевич

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Магистрант кафедры «Технология машиностроения и конструкторско - технологическая информатика»

Тел. (4862) 54-14-19

E-mail: steblecov@mail.ru

А.С. УСАНОВ, О.А. ЯМНИКОВА

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОДУЛЯ ВЫБОРА ШТАМПА ХОЛОДНОЙ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ

Рассмотрены вопросы выбора конструкции штампа холодной листовой штамповки, которая максимально соответствует техническому заданию. Описаны правила поиска требуемой конструкции штампа в базе данных, построена семантическая сеть поиска.

Ключевые слова: база данных, техническое задание, семантическая сеть, интеллектуальный модуль, технологическая оснастка, унификация, формоизменяющие операции, разделительные операции, логика предикатов

An approach to cold forming punch design for requirements has been considered. The DB search rules and a semantic search network have been developed

Keywords: database, Scope Statement, Semantic network, Mining Module, technological equipment, unification, forming, separation, First-order logic

При проектировании основной технологической оснастки с использованием БД (базы данных), хранящей ранее разработанные образцы штампов, необходимы определенные правила выбора прототипа оснастки, на основе которых из всей БД выбираются такие штампы ХЛШ (холодной листовой штамповки), которые в наибольшей степени соответствуют требованиям ТЗ (технического задания). Основные характеристики оснастки указываются технологом в техническом задании, а конструктор принимает окончательное решение исходя из принятых на производстве вариантов конструкции оснастки.

В ТЗ на проектирование штампа ХЛШ указываются следующие основные параметры:

- модель используемого пресса;
- назначение штампа: для разделительных операций, для гибки, для вытяжки, для формовки;
- комбинированность штампа: однооперационный, последовательного действия, совмещенного действия.

Такие параметры как марка используемого пресса, назначение штампа, а также комбинированность задаются конструктору технологом в техническом задании на разработку оригинальной технологической оснастки. Остальные параметры выбираются в зависимости от функционального назначения штампа в соответствии с таблицей 1.

Для этого необходимо оценить их значимость. Оценка значимости каждого параметра штампа для выявления наиболее существенных из них проводим с использованием метода попарных сравнений.

Параметры, описывающие ТО (технологической оснастки), характеризуют степень соответствия найденной конструкции оснастки требованиям ТЗ. Степень соответствия представляем в следующем виде:

$$b_i = \sum_{j=1}^n k_{ij} \cdot A_{ij},$$

где b_i – вес i -го штампа; k_{ij} – весовой коэффициент j -го параметра i -го штампа;

A_{ij} – j -ый параметр i -го штампа.

Таблица 1 – Функциональные параметры штампа ХЛШ

Параметр поиска	Вариант применения
Тип блока штампа:	
диагональное расположение направляющих	Для разделительных и комбинированных штампов при повышенных требованиях к точности и стойкости штампов, а также к качеству срезаемого слоя, а также всегда при толщине заготовок до 1,5 мм и из неметаллических материалов
осевое расположение направляющих	Для разделительных и формообразующих штампов, предназначенных для штучных заготовок
заднее расположение направляющих	Для несложных гибочных, вытяжных штампов, если это не влияет на стойкость рабочих деталей и качество поверхности среза, а также при штамповке отходов
Форма хвостовика:	
вилчатые	В гибочных штампах
с буртиком	Для разделительных операций и в остальных штампах
с резьбой	Для вытяжных штампов

Интеллектуальный модуль разрабатывается для наиболее типичной оснастки. Штампы ХЛШ и пресс-формы являются доминирующей группой ТО и представляют наибольший интерес с точки зрения ее унификации под производственные условия. Штампы ХЛШ подразделяются по технологическому признаку, конструктивному оформлению и по способу подачи заготовок. Классификация штампов представлена на рисунке 1.

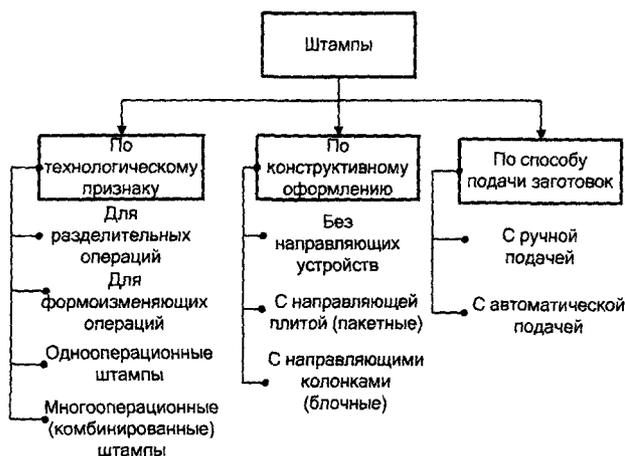


Рисунок 1 – Классификация штампов ХЛШ

По технологическому признаку штампы разделяют на две группы: штампы для разделительных операций и штампы для формоизменяющих операций.

Для описания выбора конкретной конструкции штампа ХЛШ воспользуемся системой представления знаний на основе исчисления предикатов.

В системах, основанных на исчислении предикатов, знания представляются с помощью перевода утверждений об объектах некоторой предметной области в формулы логики предикатов и добавления их как аксиом в систему.

Для решения задачи выбора из базы данных ТО начальное состояние и доступные операторы действий переводятся в формулы исчисления предикатов и добавляются к множеству аксиом. Целевое состояние также выражается формулой и рассматривается как теорема, которая должна быть выведена из аксиом с помощью активного механизма вывода.

Система представления знаний на основе исчисления предикатов имеет ряд достоинств:

1. Они достаточно хорошо исследованы как формальная система.

2. Существующие правила, то есть результаты операций над БЗ (базой знаний) также достаточно определены.

Наилучшим образом выбор конструкции ТО из БД описывается с помощью логики предикатов, так как применяемая система знаний хорошо структурирована. Таким образом, применим для поиска конструкции систему представления знаний на основе исчисления предикатов.

Задача интеллектуального модуля состоит в выборе из БД такой конструкции технологической оснастки, которая максимально соответствует техническому заданию.

Для описания правил поиска штампа в БД введем обозначения, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Описание переменных выбора штампа в БД

Параметр поиска	Переменные
Модель используемого пресса	x_1
Назначение штампа	x_2
Комбинированность штампа	x_3
Тип блока штампа	x_4
Форма хвостовика	x_5

Каждой переменной соответствуют значения, представленные в таблице 3.

Таблица 3 - Значения переменных выбора штампа в БД

Переменные	Параметры поиска	Значения
x_1	Модель пресса	A_i
x_2	для разделительных операций	B_1
	для гибки	B_2
	для вытяжки	B_3
	для формовки	B_4
x_3	Совмещенного действия	C_1
	Последовательного действия	C_2
	Однооперационный	C_3
x_4	диагональное расположение направляющих	D_1
	осевое расположение направляющих	D_2
	заднее расположение направляющих	D_3
x_5	вилчатые	E_1
	с буртиком	E_2
	с резьбой	E_3

На основе правил выбора штампа ХЛШ из базы данных и введенных переменных и их значений, представленных в таблицах 2 и 3 система правил поиска штампа описывается следующим образом:

$$\begin{aligned}
 &B_1 \vee B_4 \vee \neg E_2; \\
 &\neg B_1 \vee D_1; \\
 &\neg B_1 \vee \neg B_4 \vee D_2;
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \neg B_2 \vee \neg B_3 \vee D_3; \\ & \neg B_3 \vee E_3; \\ & \neg B_2 \vee E_1. \end{aligned}$$

Семантическая сеть поиска штампа ХШЛ в базе данных представлена на рисунке 2. В семантической сети роль вершин выполняют понятия базы знаний, а дуги задают отношения между ними. Таким образом, семантическая сеть отражает семантику предметной области в виде понятий и отношений.

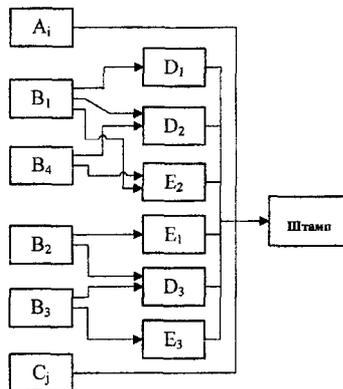


Рисунок 2 – Семантическая сеть поиска штампа ХШЛ в базе данных

При полном совпадении выбранной конструкции оснастки предъявляемым к ней требованиям она будет соответствовать на 100 %, если по какому-либо критерию она не подходит, тогда коэффициент совпадения будет находиться в пределах от 0 до 100 %. Каждый параметр, имея свой вес, вносит свой вклад в общую сумму коэффициента совпадения конструкции оснастки требованиям ТЗ.

Выбранная по представленной методике конструкция технологической оснастки, максимально соответствующая требованиям ТЗ, подвергается функционально-стоимостному анализу для выявления экономических издержек.

Предложенный принцип разработки интеллектуального модуля выбора штампа ХШЛ позволяет спроектировать такую автоматизированную систему, внедрение которой на производстве позволит не только снизить время проектирования технологической оснастки, но и повысить качество проекта за счет унификации контрструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочаров, В.А. Основы логики: Учебник [Текст] / В.А. Бочаров, В.И. Маркин. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФА-М, 2007г. – 336 с.
2. Жоль, К.К. Логика: Уч. Пособие для вузов [Текст] / К.К. Жоль. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004г. – 399 с.
3. Игошин, В.И. Математическая логика и теория алгоритмов: Уч. Пособие для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / В.И. Игошин. – М.: Издательский центр «Академия», 2004г. – 448 с.

Усанов Алексей Сергеевич

Тульский государственный университет, г. Тула
 Магистрант кафедры «Автоматизированные станочные системы»
 Тел. (920) 746-47-77
 E-mail: snwfike@gmail.com

Ямникова Ольга Александровна

Тульский государственный университет, г. Тула
 д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизированные станочные системы»
 Тел. (4872) 35-18-87
 E-mail: Yamnikova_Olga@mail.ru

С.В. ЩЕРБАКОВ, Р.М. ШАХБАНОВ

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММЫ РАСЧЁТА СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Авторами статьи разработан алгоритм и создана программа для расчёта стержневых конструкций методом конечных элементов, что позволяет определить напряжённо-деформированное состояние и провести прочностной анализ ферменной конструкции произвольной геометрии. Разработанная программа может найти практическое применение для оптимизации прочностных расчётов ферменных конструкций, а также в учебном процессе

Ключевые слова: ферменная конструкция; матрица жёсткости; ансамблирование; напряжённо-деформированное состояние; дискретизация

The authors developed an algorithm and created a program for the calculation of truss structures by finite element method, which allows determining the stress-strain state and strength analysis of a truss structure of arbitrary geometry. The developed program can be of practical use to optimize the strength analysis of truss structures

Keywords: truss structure; stiffness matrix; assembling; intense-deformed condition, discretization

Метод конечных элементов (МКЭ) является одним из основных и наиболее эффективных численных методов, применяемых для расчета строительных конструкций на прочность, жесткость, устойчивость и колебания. Его практическая реализация возможна только на базе использования ЭВМ.

Основная идея МКЭ – идея физической дискретизации конструкции. Применительно к стержневой конструкции физическая дискретизация заключается в разбиении конструкции на участки сравнительно небольшой длины (отношение длины к максимальному линейному размеру поперечного сечения стержня должно быть не менее четырех). Эти участки называются одномерными конечными элементами (КЭ). Сечения, объединяющие элементы, называются участками дискретизации.

Расчетная схема типа «ферма» характерна тем, что нагрузка, действующая на нее, задается в виде сосредоточенных сил, приложенных в так называемых «узлах» фермы – сечениях заданной расчетной схемы, объединяющих несколько конструктивных элементов (стержней). Другой особенностью фермы является однородность одноосного напряженно-деформированного состояния ее стержней, что позволяет в качестве стержневых КЭ выбрать стержни фермы, а в качестве узлов дискретизации – узлы соединения стержней.

Расчет производится в строгом соответствии с определенным алгоритмом, в котором последовательность действий определяется логикой МКЭ. Компоненты матрицы жесткости вычисляются исходя из формул, полученных из минимизации функционала Лагранжа.

Рассмотрим общий случай, когда стержневой элемент составляет с осью X прямоугольной системы координат произвольный угол θ (рисунок 1).

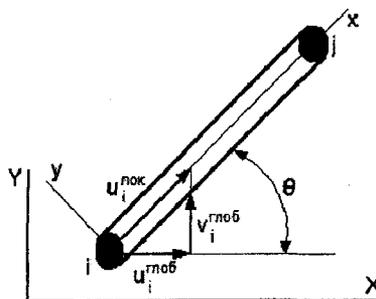


Рисунок 1 - Стержневой элемент

Введем две прямоугольные системы координат: локальную (x, y) , связанную со стержневым элементом, и глобальную (X, Y) . Определим связь между перемещениями узлов i и j в локальной и глобальной системах координат, т. е. между $u_i^{лок}$ и $u_j^{лок}$ с одной стороны и $u_i^{глоб}$, $u_j^{глоб}$, $v_i^{глоб}$ и $v_j^{глоб}$ с другой.

Из геометрических соображений можно записать:

$$u_i^{лок} = u_i^{глоб} \cdot \cos \theta + v_i^{глоб} \cdot \sin \theta = \begin{bmatrix} l & m \\ -m & l \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i^{глоб} \\ v_i^{глоб} \end{Bmatrix};$$

$$v_i^{лок} = -u_i^{глоб} \cdot \sin \theta + v_i^{глоб} \cdot \cos \theta = \begin{bmatrix} -m & l \\ l & m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i^{глоб} \\ v_i^{глоб} \end{Bmatrix};$$

Где $l = \cos \theta$, $m = \sin \theta$, или в матричной форме:

$$\begin{Bmatrix} u_i^{лок} \\ v_i^{лок} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} l & m \\ -m & l \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_i^{глоб} \\ v_i^{глоб} \end{Bmatrix}, \text{ или } \{u^{лок}\} = \tilde{T} \cdot \{u^{глоб}\}.$$

Здесь $\tilde{T} = \begin{bmatrix} l & m \\ -m & l \end{bmatrix}$ – матрица трансформации. Для обоих узлов:

$$\{u^{лок}\} = T \cdot \{u^{глоб}\}, \text{ где } T = \begin{bmatrix} \tilde{T} & 0 \\ 0 & \tilde{T} \end{bmatrix}.$$

Составим матрицу жёсткости для произвольно ориентированного стержневого элемента.

Ранее составленная система уравнений равновесия справедлива для локальной системы координат. С учетом новых составляющих перемещений она имеет вид

$$\frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} u_i^{лок} \\ v_i^{лок} \\ u_j^{лок} \\ v_j^{лок} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_i^{лок} \\ 0 \\ f_j^{лок} \\ 0 \end{Bmatrix} \text{ или } k^{лок} \cdot u^{лок} = f^{лок}.$$

Проведя преобразования, матрица жёсткости k элемента в глобальной системе координат может быть записана следующим образом:

$$k = T^T k^{лок} T.$$

Она представляет собой симметричную матрицу размером 4×4 . В развернутом виде она выглядит следующим образом:

$$k = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} l^2 & lm & -l^2 & -lm \\ lm & m^2 & -lm & -m^2 \\ -l^2 & -lm & l^2 & lm \\ -lm & -m^2 & lm & m^2 \end{bmatrix}$$

После того, как сформированы матрицы жёсткости для всех стержней конструкции, необходимо провести операцию ансамблирования. Она состоит в объединении матриц жёсткости отдельных элементов в глобальную матрицу жёсткости всей конструкции путём сложения компонент локальных матриц жёсткости в тех узлах, где соединяются несколько элементов. Математически операцию ансамблирования можно записать в следующем виде:

$$K = \sum_{e=1}^{N_e} (a^e)^T k(a^e),$$

где a^e – матрица кинематических связей, k – элементная матрица жёсткости.

Перемещения определяются из основного уравнение МКЭ, которое для задач механики деформируемого твердого тела в линейной постановке задачи выглядит следующим образом:

$$KU = F,$$

где U – искомый вектор перемещений, F – вектор узловых сил, K – глобальная матрица жесткости системы.

Далее приведено описание программы, реализующей описанный метод. Фактически, программу можно разделить на 3 подпрограммы: препроцессор, процессор, постпроцессор (рисунок 2).

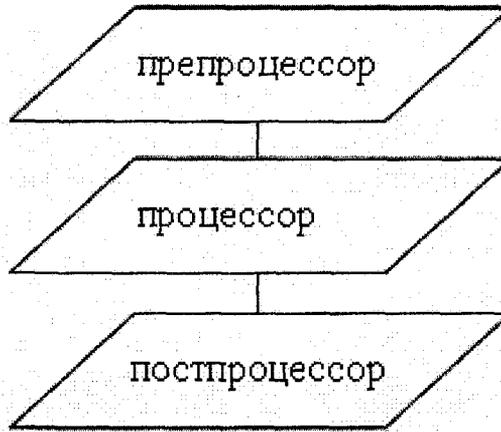


Рисунок 2 – Блок схема программы

Программа состоит из двух частей: интерфейс и решатель.

Интерфейс представляет собой окно, которое содержит графическое поле и командные кнопки (рисунок 4). В графическом поле программы происходит рисование геометрии конструкции и задание исходных данных (площадь сечения стержней фермы и значения нагрузок). Командные кнопки предназначены для выбора режима создания конструкции и реализации граничных условий (ограничение степеней свободы и приложение узловых сил). При построении геометрии сначала необходимо создать узлы конструкции. Затем переключая режим рисования кнопкой «Элементы», соединяем узлы. Силовые и кинематические граничные условия задаем с помощью кнопок «Ограничения» и «Нагрузки».

В первом этапе работы программы происходит инициализация входных данных, описывающих систему, которые необходимы для формирования глобальной матрицы жесткости элементов. Такими входными данными являются 4 массива: координаты всех узлов, информация об элементах (начальный узел, конечный узел, площадь поперечного сечения), вектора степеней свободы и узловых сил.

Второй этап программы – решатель. Запуск решателя, а также вывод результатов осуществляется кнопкой «Расчет». Процедура решения состоит из формирования системы линейных алгебраических уравнений, оптимизации и решения методом обратной матрицы, а затем определения напряженно-деформированного состояния всей конструкции. Оптимизация заключается в вычеркивании тех строк и столбцов глобальной матрицы жесткости, в которых перемещения равны нулю.

После выполнения решателя вектора узловых перемещений и сил содержат вычисленные значения; также считаются вектора деформаций и напряжений и осуществляется вывод деформированной конструкции.

Тестовое задание

Выполним расчет НДС конструкции, изображенной на рис.3 и сравнительный анализ результатов расчета той же конструкции в программной среде «ANSYS».

Исходные данные: $P=1000$ Н, $a = 1$ м. Площадь раскосов $2F$. Площадь стоек F . $F=0,001$ м². Модуль Юнга $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м². Коэффициент Пуассона $\mu=0,3$.

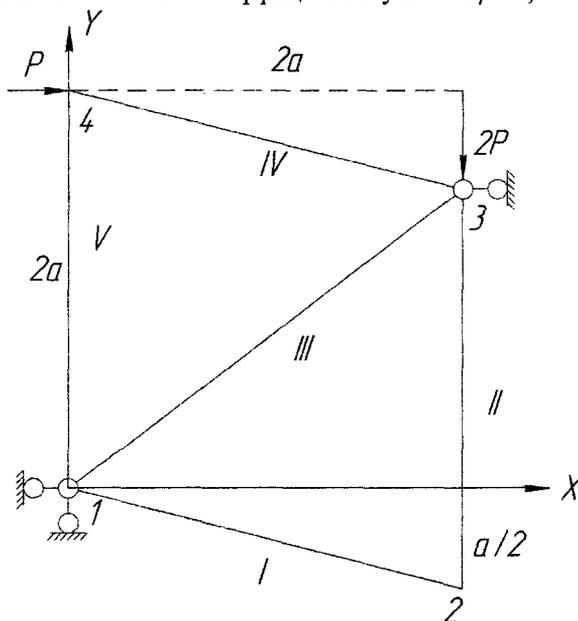


Рисунок 3 - Тестовое задание

Результаты расчета программы отображаются в отдельном окне (рисунок 4).

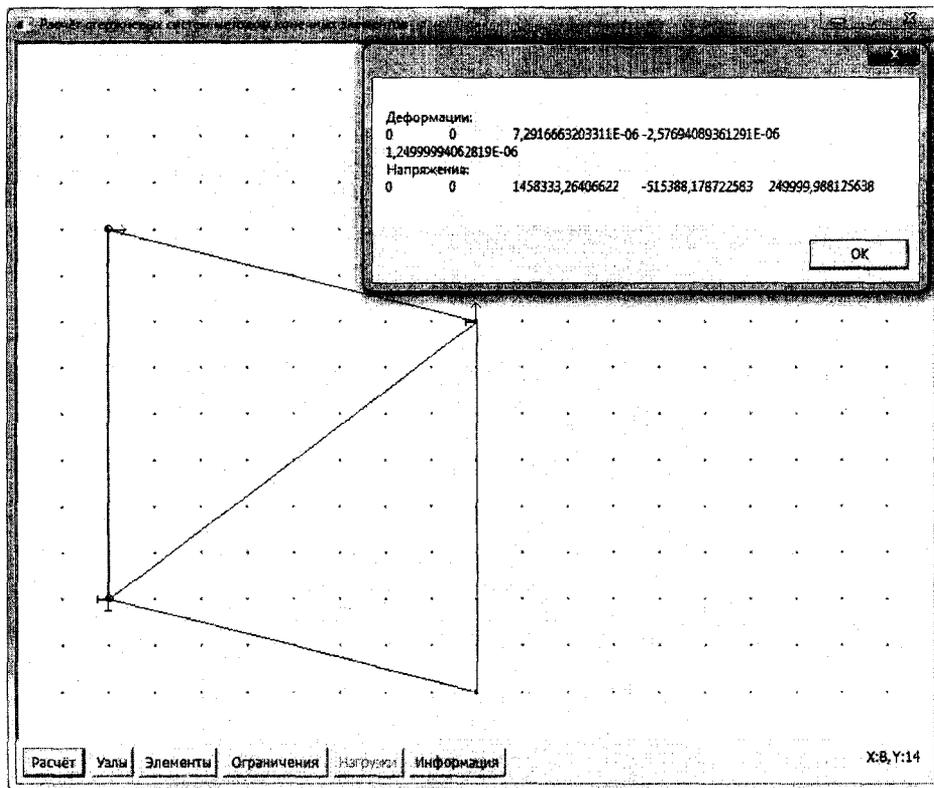


Рисунок 4 - Интерфейс программы. Вывод результатов расчета деформаций и напряжений

Для сравнения полученного решения проводим расчет деформаций и напряжений в программном комплексе «ANSYS» (рисунок 5).

Получаем следующие значения деформаций и напряжений:

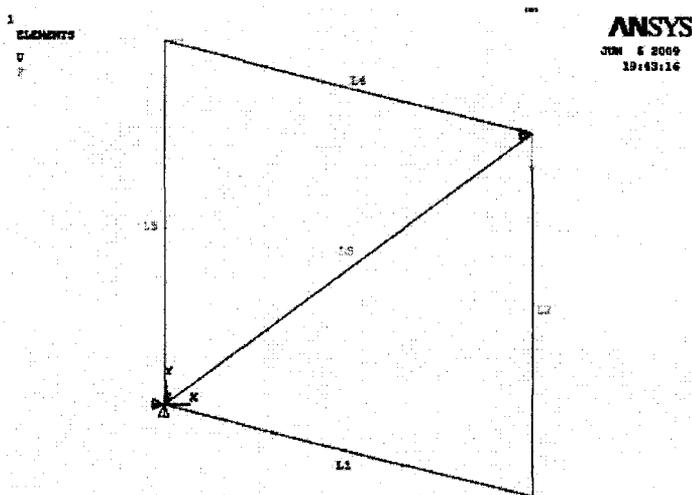


Рисунок 5 - Расчет стержневой конструкции в «ANSYS»

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
 ***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

Stat elem	Current lepe1	Current ls1
1	0	0
2	0	0
3	0.729167E-05	0.145833E+07
4	-0.25769E-05	-0.51539E+06
5	0.12500E-05	0.25000E+06

Анализируя полученные значения можно сделать вывод о сходимости результатов расчета программы с расчетом в программном комплексе «ANSYS».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация: Пер. с англ [Текст] / О. Зенкевич, К. Морган – М.: Мир, 1986. – 318 с.
2. Каплун, А.Б. Ansys в руках инженера: Практическое руководство [Текст] / А.Б. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева – М.: Едиториал, 2003. – 272 с.
3. Герберт Шилдт. С++. Базовый курс [Текст] / Герберт Шилдт. – М.: Вильямс, 2007. – 640 с.
4. Теличко, Г.Н. Основы строительной механики плоских стержневых систем: Учебник [Текст] / Г.Н. Теличко – Тула: Из-во Тул. гос. ун-та, 2004 – 440 с.

Шербаков Сергей Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Студент группа 41-ДП кафедры «Динамика и прочность машин»
 Тел. 8-910-302-83-61
 E-mail: apixosoft@mail.ru

Шахбанов Ризван Магомедсаидович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
 Студент группа 41-ДП кафедры «Динамика и прочность машин»
 Тел. 8-920-802-12-80
 E-mail: rizona12@gmail.com

УДК 621.3.042.12

И.Г. ГОЛУБЕВ, Р.Г. ГОЛУБЕВ, С.А. ЧЕВЫЧЕЛОВ, А.В. МАСЛЕННИКОВ

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК ИНДУКТИВНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ В ВИБРАЦИОННОМ ПРИВОДЕ

В данной статье рассматривается выбор конструктивных параметров Ш-образных катушек индуктивности применяемых в устройстве для возбуждения высокочастотных осевых колебаний инструмента при сверлении отверстий малого диаметра

Ключевые слова: *вибрационное сверление, электродинамический вибровозбудитель, сверление отверстий малого диаметра*

This article discusses the choice of design parameters of inductors used in the device for excitation of high-frequency axial vibration tool when deephole machining of small diameter

Keywords: *vibration drilling, electrodynamic vibration exciter, deephole machining of small diameter*

В настоящее время известно большое количество вибровозбудителей разных типов и компоновок, которые устанавливаются на станках, где реализуют процесс вибрационной обработки. Но применение большинства из них не осуществимо для станков имеющих вертикальное расположение шпинделя. Однако это становится возможным при использовании электромагнитных и электродинамических вибровозбудителей. Преимуществами таких приводов является относительная простота и компактность конструкций.

Электромагнитные и электродинамические вибраторы имеют широкие возможности по возбуждению колебаний большого диапазона частот (вплоть, до ультразвуковых). Но они работоспособны лишь при небольших силах резания вследствие своей малой удельной мощности. Тем не менее, использование вибраторов такого вида вполне приемлемо при вибрационном сверлении отверстий малого диаметра [1].

На кафедре «Машиностроительные технологии и оборудование» КурскГТУ спроектировано устройство, включающее электродинамический вибровозбудитель, предназначенный для вибрационного сверления отверстий малого диаметра (от 1 до 3 мм), отличающийся тем, что он позволяет подавать вибрации вдоль оси сверла как в низкочастотном, так и в высокочастотном диапазоне (от 10 до 5000 Гц), изменять частоту вибраций, не прекращая процесса резания [1].

При создании привода необходимо иметь данные по максимальной силовой тяге катушек, частоте и амплитуде колебаний, минимально возможным её размерам [2]. В качестве источника дополнительной энергии использован электродинамический вибровозбудитель с двумя Ш-образными катушками индуктивности (рисунок 1).

Катушки вибропривода набраны из Ш-образных пластин по ГОСТ 20249-80, из низкоуглеродистой стали (рисунок 2).

Проведем анализ трех типов катушек из Ш-образных пластин (таблица 1).

Конструктивные параметры виброприводов необходимо определить по заданным исходным данным, исходя из обеспечения нужных параметров режимов резания при обработке:

$F=5000$ Н – тяговое усилие;

$\delta=0,3$ мм – величина воздушного зазора между якорем и сердечником;

$L_k=100$ мм – длина магнитопривода;

$f=50$ Гц – частота источника питания;

$U=220$ В – напряжение источника питания.

Тяговое усилие F создается магнитным потоком Φ , проходящим через сердечник магнитопривода, воздушный промежуток длиной δ и возбуждаемым током обмотки магнитопривода I .

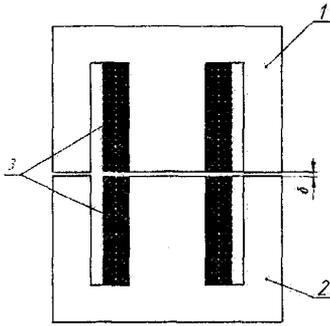


Рисунок 1 - Электродинамический III - образный вибропривод: 1 - верхняя катушка; 2 - нижняя катушка; 3 - обмотка катушек

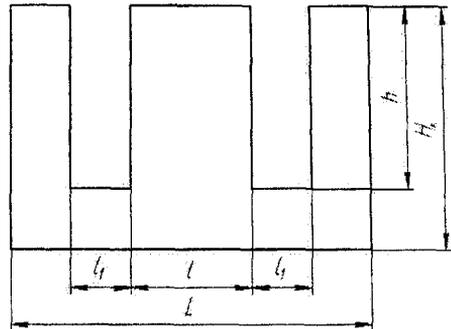


Рисунок 2 - Параметры пластины

Таблица 1- Параметры пластин

Параметры пластины	III-366	III-40	III-406
l - ширина сердечника катушки, мм	36	40	40
l_1 -ширина окна катушки, мм	18	40	20
L - ширина катушки, мм	108	160	120
H_k - высота пластин катушки, мм	72	120	80
h - высота окна пластин магнитопривода, мм	54	100	60

Сила F в ньютонах может быть определена по формуле Максвелла

$$F = \frac{S \cdot B^2}{2 \cdot \mu_0}, \quad (1)$$

где S – эффективная площадь сечения сердечника, m^2

$$S = L_k \cdot l; \quad (2)$$

B – магнитная индукция, $Tл$;

μ_0 – магнитная проницаемость вакуума, равная магнитной проницаемости воздуха, $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$.

Учитывая, что в рационализованной системе МКСА (метр, кг, с, а) Тесла имеет размерность 1 Вб/А, формулу с небольшой погрешностью можно записать в виде

$$F = 4 \cdot 10^5 \cdot S \cdot B^2, \quad (3)$$

отсюда находим требуемое значение B

$$B = \sqrt{\frac{F}{4 \cdot 10^5 \cdot S}}, (Tл). \quad (4)$$

Определяем магнитный поток Φ в сердечнике магнитопривода

$$\Phi = B \cdot S, (Bб). \quad (5)$$

Вычислим число витков катушки из соотношения [2]

$$\omega = \frac{U}{4.44 \cdot f \cdot B \cdot S}. \quad (6)$$

Рассчитаем напряженность магнитного поля в воздушном зазоре

$$H_3 = \frac{B}{\mu_0}, (A \cdot м). \quad (7)$$

Определим среднюю длину магнитной силовой линии по ГОСТ 20249-80

$$L_M = 2 \left[\frac{l}{H_K - h} (h + 2l_1 + 1,8(H_K - h) + 0,4l) \right], \quad (8)$$

Для создания магнитного потока необходима намагничивающая сила F_M , которую определяем по закону полного тока для магнитной цепи [3]

$$F_M = \sum_{i=1}^k H_i \cdot l_{Mi} = \omega \cdot I (A \cdot \text{виток}), \quad (9)$$

где H – напряженность магнитного поля на участке магнитной цепи, A/m ;
 l_m – длина магнитной силовой линии на участке, m ;
 ω – число витков обмотки катушки;
 I – сила тока в обмотке магнитопривода, A ;
 i – номер участка цепи.

Выбираем магнитную индукцию в сердечнике, близкую к насыщению по кривой намагничивания для используемой марки низкоуглеродистой стали [4] $B_m, Tл$ и соответствующую ей напряженность магнитного поля в сердечнике $H(B_m) A/m$.

$$F_M = H \cdot L + H_3 \cdot \delta, \quad (10)$$

где H_3 – напряженность магнитного поля в зазоре.

Силу тока в контуре I находят из формулы

$$\omega = \frac{F_M}{I}, \quad (11)$$

Диаметр провода для намотки катушки находим по приближенной формуле [2]

$$d_{np} = 1,14 \sqrt{\frac{I}{\Delta_I}}, \quad (12)$$

где Δ_I – допустимая плотность тока в A/mm^2 (для меди $\Delta_I=6 A/mm^2$, для алюминия - $\Delta_I = 4 A/mm^2$).

Результаты проведенного сравнительного анализа сводим в таблицу 2.

Таблица 2 - Конструктивные параметры привода

Конструктивные параметры привода	Ш-366	Ш-40	Ш-406
Тяговое усилие, кг	500	500	500
Средняя длина магнитной силовой линии, мм	403,2	928	618
Эффективная площадь сечения сердечника, m^2	$36 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$	$40 \cdot 10^{-4}$
Диаметр провода намотки катушки, мм	3,5	4,0	3,2
Число витков	148	140	140
Сила тока в контуре, A	55	73	49
Мощность развиваемая приводом, кВт	12,1	16,06	10,78

На основании произведенных выше расчетов, строим графики зависимости для трех типоразмеров катушек индуктивности.

На рисунке 3 построен график зависимости расчетных значений силы тока по тяговому усилию, из которого видно, что при повышении тягового усилия сила тока в приводе возрастает, а увеличение тягового усилия магнитопривода при данном напряжении питания может быть повышено только увеличением диаметра провода (рисунке 4).

На рисунке 5 приведена зависимость силы тока от количества витков в приводе. Она показывает, что увеличение числа витков не приводит к повышению тягового усилия в приводе, а, наоборот, может несколько снизить усилие из-за увеличения среднего диаметра катушки.

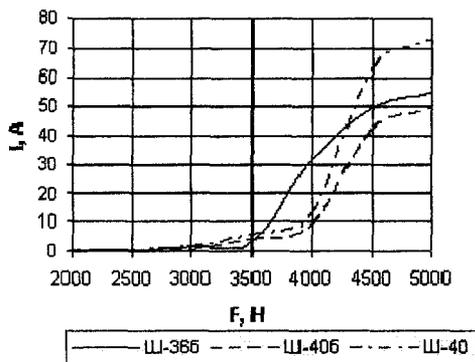


Рисунок 3 - График зависимости силы тока от тягового усилия магнитопровода

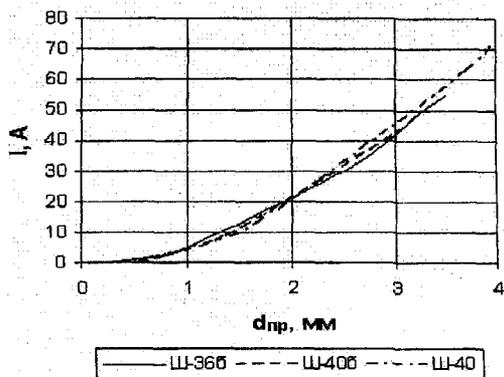


Рисунок 4 - График зависимости диаметра провода от силы тока в магнитопроводе

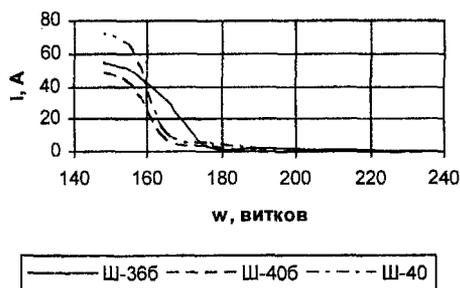


Рисунок 5 - График зависимости силы тока от количества витков в магнитопроводе

Таким образом, для получения требуемого тягового усилия выгоднее иметь малые размеры катушек. Однако они ограничиваются: во-первых, размерами якоря, с уменьшением которого снижается сечение, а, следовательно, и тяговое усилие; во-вторых, длиной катушки, т.к. для создания необходимой магнитодвижущей силы длина получается значительной, что приводит к увеличению потоков рассеяния в электромагните и потере магнитодвижущей силы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по

образованию в рамках темы №1.09.09 тематического плана научно-исследовательских работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Масленников, А.В. Проектирование электромагнитного привода возбудителя высокочастотных вибраций [Текст] / А.В. Масленников, А.И. Барботько, И.В. Бондарцев // Вестник машиностроения, 2007. №10. С. 19-21
2. Масленников, А.В. Разработка вибрационного привода для сверления отверстий малого диаметра [Текст] / А.В. Масленников, Р.Г. Голубев, И.Г. Голубев // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации. Сборник материалов 7-ой Международной научно-технической конференции. Курск: КурскГТУ, 2010. – с.63-70.
3. Пат. 2201001 Рос. Федерац ия, МПК Н 01 F 38/06, Н 01 F 27/42. Усилитель магнитного потока и силовые электротехнические устройства на его основе: [Текст] / Гусев П.Г., Богослов А.В., Крюковский В.Б.; заявитель и патентообладатель Гусев П.Г., Богослов А.В., Крюковский В.Б. №2000109693/09; заявл. 27.02.02; опубл. 20.03.03.
4. Электротехнический справочник: в 3-х т. [Текст] / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.Ф. Жукова и др. 6-е изд. – М.: Энергия, 1980. Т. 1. 520 с.: ил.

Чевычелов Сергей Александрович
Курский государственный технический университет,
г. Курск
Кандидат технических наук, доцент
Тел. (4712) 58-71-16
E-mail: tschsa@yandex.ru
Масленников Андрей Владимирович
ОАО Электроаппарат, г. Курск
Кандидат технических наук, инженер-технолог
Тел. (4712) 58-71-16
E-mail: amaslen@yandex.ru

Голубев Игорь Геннадьевич
Курский государственный технический университет,
г. Курск
Студент
Тел. (4712) 58-71-16
E-mail: Golubev_Igor_@mail.ru
Голубев Роман Геннадьевич
Курское ОАО Прибор, г. Курск
Инженер-технолог
Тел. (4712) 58-71-16
E-mail: Golubev_Roman_@mail.ru

А.К. ПОДМАСТЕРЬЕВ, З.П. ЛИСОВСКАЯ

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ПРИБОРОВ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Проведен анализ проблемы оценки качества изготовления деталей, рассмотрены выражения для оценки уровня качества деталей по единичным и комплексным показателям. Показано, что при оценке уровня качества необходимо учитывать погрешности измерений параметров. Проведен сравнительный анализ качества образцов по единичным и комплексным параметрам

Ключевые слова: качество изготовления деталей; единичные показатели качества, комплексные показатели качества

Problems of quality assessment of parts manufacturing were analyzed; equations for parts quality level assess by simple and integrated indexes were considered. It was shown, that when assessing the level of quality is necessary to take into account the measurement inaccuracies of parameters. The comparative analysis of the samples quality by simple and integrated indexes was conducted

Key words: quality of parts manufacturing, simple quality indexes, integrated quality indexes

ВВЕДЕНИЕ

Важным условием эффективности промышленного производства является постоянное улучшение качества производимой продукции. Качество изделий машиностроения, как и любого другого вида продукции, является категорией, зависящей от множества конструкторских, технологических и организационно-технических факторов, проявляющихся на различных этапах жизненного цикла продукции. Известно, что 90 % эксплуатационных свойств (ЭС) деталей изделий машиностроения может быть достигнуто за счет соответствующего нормирования точностей геометрических параметров элементов деталей и их поверхностей и достаточно полно идентифицировано комплексом физико-химических свойств поверхностных слоев и геометрических параметров поверхностей изделий.

Любая деталь различной формы и конфигурации – это упорядоченный комплекс исполнительных и связующих поверхностей. Исполнительные поверхности обеспечивают выполнение деталью заданных функций, связующие – ориентируют исполнительные поверхности в пространстве и ограничивают деталь как твердое тело. Эксплуатационными свойствами как отдельных исполнительных поверхностей, так и деталей в целом, принято называть их свойства, способствующие выполнению деталью заданных функций при заданном ресурсе и условиях эксплуатации. К эксплуатационным свойствам, например, можно отнести: контактную жесткость, коэффициент трения, износостойкость, прочность посадок, герметичность посадок, прочность (статическую и усталостную), коррозионная стойкость. Каждое из этих свойств характеризуется определенным параметром. Например, параметром износостойкости является интенсивность изнашивания (относительный износ), прочности посадок – временный ресурс при заданном диапазоне рабочих нагрузок, контактной жесткости – значение контактной деформации при фиксированном значении силы.

Правильно установленные при конструировании и технологически обеспеченные ЭС гарантируют высокое эксплуатационное качество деталей и машин в целом. Возросшие требования к эксплуатационному качеству машин, продиктованные необходимостью повышения конкурентоспособности последних, сделали актуальным изменение методологии технологического обеспечения ЭС [1].

Известно, что качество изготовления изделия (механизма, машины, прибора) зависит от качества изготовления отдельных деталей, входящих в него, качества монтажа сборочных

единиц и т.п. Для изготовления деталей проектируется большое количество самых разных технологических процессов. Однако как бы ни проектировались технологические процессы, их конечный результат – готовые детали, удовлетворяющие заданным техническим требованиям на изготовление. Таким образом, получается, что в фактических параметрах (размерах, форме, взаимном расположении элементов, шероховатости) готовых деталей содержится вся информация о состоянии производственного оборудования, инструментов, приспособлений. Очевидно, качество изготовления детали формируется в течение всего технологического процесса. С одной стороны о качестве изготовления детали можно судить по конечному результату (по полученной геометрии), а с другой – качество детали является функцией уровней качества, достигнутых на отдельных операциях при обработке конкретного элемента поверхности.

Таким образом возникает проблема оценки качества изготовления отдельных деталей, сравнение этого качества с целью оценки эффективности принимаемых конструкторско-технологических решений, оценки их оптимальности.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ С УЧЕТОМ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ

Любая деталь характеризуется множеством различных *свойств*, которые могут проявляться на всех стадиях жизненного цикла: разработке, производстве, испытаниях, хранении, транспортировании, техническом обслуживании, ремонте и использовании. При оценке свойств определяют *показатели качества*, под которыми понимается количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления. Различают *единичные* показатели (характеризуют только одно из свойств), *комплексные* показатели (характеризуют несколько свойств), *определяющие* показатели (по которым принимают решение оценивать качество); *интегральные* показатели (отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации или потребления продукции к суммарным затратам на ее создание и эксплуатацию или потребление) [2].

Говоря об оценке уровня качества, следует отметить, что существует три способа задания требований к отдельным свойствам детали, что определяет три группы показателей

Требования первого способа – показатель должен находиться в заданных пределах от P_{min} до P_{max} . К первой группе относят показатели, когда их действительное значение должно находиться в заданных пределах. Это требование реализуется, как правило, в задании номинального значения свойства P и его предельных отклонений. При этом $P_{min} = P + ei$ и $P_{max} = P + es$, где ei – нижнее отклонение регламентированного параметра; es – верхнее отклонение регламентированного параметра

Требования второго способа задания требований – показатель должен быть равен или меньше некоторого максимального значения: $P \leq P_{max}$. Во вторую группу входят показатели, когда нижний предел допустимого значения не устанавливается. Он в данном случае обуславливается выбранным технологическим процессом получения требуемого значения параметра. Такие параметры называют «не более...». Это, например, показатели отклонений формы, взаимного расположения поверхностей и осей и т.п.

Требования третьего способа – показатель должен быть равен или больше некоторого минимального значения: $P \geq P_{min}$. К третьей группе относятся показатели, верхний предел которых не устанавливается, а обуславливается выбранным технологическим процессом достижения требуемого значения параметра. Такие параметры называют «не менее...». Это может быть, например, «твердость не менее HB230» и т.п.

Для определения уровня качества изготовления детали воспользуемся рекомендациями [3]. В случае оценки уровня качества по i -му регламентированному свойству по показателям первой группы, предполагается, что наивысший уровень качества будет в случае, когда размер P_i равен среднему значению \bar{P} :

$$\bar{P} = 0,5(es + ei). \quad (1)$$

Если значение i -го регламентированного параметра выше верхнего и (или) ниже нижнего отклонения, уровень качества по данному параметру детали равен нулю, так как данный параметр не отвечает требованиям чертежа. При данном подходе, однако, не учитывается, что допуск на размер элемента следует рассматривать как *допуск на сумму погрешностей* технологических процессов, которые не дают возможность получить абсолютно точное значение размера, в том числе из-за *погрешности измерений* при контроле.

Учет погрешности измерений проводится введением понятия действительного размера (параметра). Основополагающий принцип при установлении допусковой погрешности измерения при контроле состоит в том, что при наличии любой по величине погрешности измерения и при расположении измеренного размера в пределах поля допуска появляется вероятность того, что истинное значение измеряемой величины может выходить за пределы поля допуска. По этой же причине возникает и вероятность того, что измеренный размер по величине может выходить за пределы допуска, а истинное значение этого размера располагается в пределах поля допуска. Таким образом, возникает риск потребителя (заказчика) продукции (риск состоит в неправильном принятии продукции как годной) и риск производителя продукции, когда по результатам измерения годная продукция бракуется. Следовательно, допусковая погрешность Δ говорит о степени достоверности, с которой определяются значения размеров и, прежде всего, предельные размеры, т.е. границы допуска. Одним из направлений снижения этих рисков является повышение точности измерительных средств, а также смещение приемочных границ внутрь относительно предельных размеров.

С учетом погрешностей измерений уровень качества следует считать равным нулю при условии, когда действительное значение параметра будет ниже $(ei - \Delta)$ и выше $(es + \Delta)$.

В соответствии с рекомендациями *ISO* предельную абсолютную погрешность измерения при отсутствии данных по используемым приборам можно принять равной $\Delta = (0,2 \dots 0,25)U_n$, где U_n – предельное отклонение значения параметра.

Тогда для показателей первой группы уровень качества может быть определен:

$$k_i = 1 - \frac{(P_i - \bar{P})^2}{(0,5 \cdot ITP + \Delta)^2}, \quad (2)$$

где *ITP* – допуск на i -й параметр;

P_i – действительное значение i -го параметра.

Для показателей второй группы уровень качества можно определить по зависимости:

$$k_i = 1 - \frac{(P_i - P_{\min})^2}{(ITP + \Delta)^2}, \quad (3)$$

где P_{\min} – минимальное значение i -ого параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента.

Для показателей третьей группы уровень качества можно определить по следующей формуле

$$k_i = 1 - \frac{(P_{\max} - P_i)^2}{(ITP + \Delta)^2}, \quad (4)$$

где P_{\max} – максимально достижимое значение i -го параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента.

В общем случае качество характеризуется многими единичными показателями, поэтому наиболее эффективным является переход к его оценке с помощью комплексных показателей. Следует отметить, что используются различные зависимости для определения комплексных показателей, при этом в случае приблизительно равного влияния различных пока-

зателей на качество объекта в целом применяют выражения с коэффициентами весомости различных единичных показателей, равными 1. Тогда можно рассматривать два выражения:

$$K = \prod_{i=1}^m k_i \quad (5)$$

$$K = \sqrt[m]{\prod_{i=1}^m k_i}, \quad (6)$$

где m – количество параметров детали, по которым производится оценка качества ее изготовления.

Уровень качества готовой детали, полученный в результате выполнения всех операций технологического процесса, зависит от уровня качества детали, достигнутого на отдельных операциях. Прослеживая систему формирования конечного значения i – го параметра, следует составить и решить систему взаимосвязанных размерных цепей по каждому из вариантов технологического процесса. При этом в локальных размерных цепях этой системы *исходным* звеном должна выступать величина i - го звена, достигаемая на данной технологической операции.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ ПО ЕДИНИЧНЫМ И КОМПЛЕКСНЫМ ПАРАМЕТРАМ

Рассмотрим в качестве объекта анализа характер изменения уровня качества изготовления поверхности детали типа вал при возможных изменениях четырех действительных значений параметров (ЭС): размера, формы, шероховатости, твердости. Вал имеет следующие предельно допустимые по техническим требованиям и предельно достижимые в данном технологическом процессе значения изменения параметров:

- диаметр $20g6\left(\begin{smallmatrix} -0.007 \\ -0.020 \end{smallmatrix}\right)$ (показатель первой группы);
- отклонение от правильной геометрической формы (круглости) не более $P_{max} = 6$ мкм при минимальном значении параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента $P_{min} = 1$ мкм (показатель второй группы);
- шероховатость поверхности по Ra не более $P_{max} = 0,63$ мкм при минимальном значении параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента $P_{min} = 0,32$ мкм (показатель второй группы);
- твердость НВ не менее $P_{min} = 235$ при максимальном значении параметра в данном технологическом процессе при полном соблюдении технологического регламента: $P_{max} = 302$ (показатель третьей группы).

Определим значения допусков на параметры, зададимся предельными абсолютными погрешностями измерения этих параметров и вычислим характерные значения параметров в выражениях (2) - (4).

Для диаметра имеем: $\bar{P} = 0,5[-7 + (-20)] = -13,5$ мкм; $\Delta = 0,2 \cdot 20 = 4$ мкм; $ITP = [-7 - (-20)] = 13$ мкм. График зависимости уровня качества по первому параметру согласно (2) представлен на рисунке 1,а. Для отклонения от округлости имеем: $ITP = (6 - 1) = 5$ мкм; $\Delta = 1$ мкм (для кругломера «АБРИС-А-10-1»). График зависимости уровня качества по второму параметру согласно (3) представлен на рисунке 1,б (сплошная линия). Для шероховатости имеем: $ITP = (0,63 - 0,32) = 0,31$ мкм; $\Delta = 0,06$ мкм (профилометр-профилограф «АБРИС-ПМ-7-2»). График зависимости уровня качества по третьему параметру согласно (3) представлен на рисунке 1,в. Для твердости имеем: $ITP = (302-235) = 67$ НВ; $\Delta = 0,03 \cdot P_i$ НВ (для твердомер «ТЕМП-2»). График зависимости уровня качества по третьему параметру согласно (4) представлен на рисунке 1,г. Пунктирными линиями на рисунке представлены аналогичные зависимости, полученные без учета погрешностей измерения параметров.

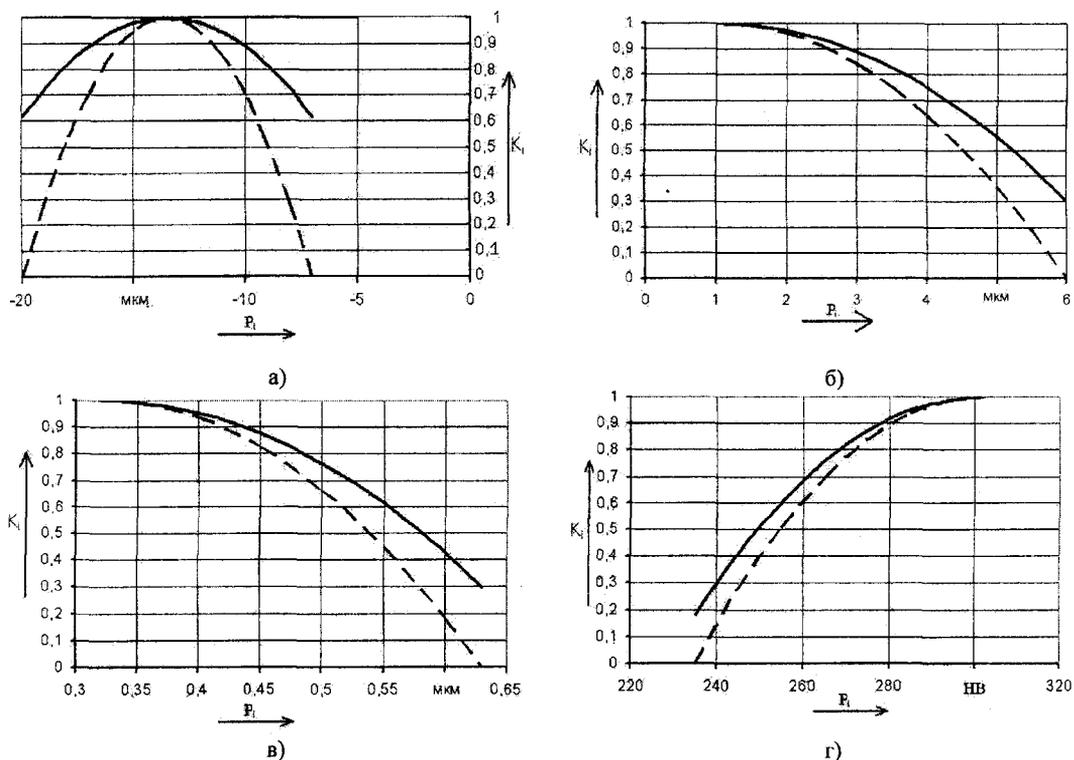


Рисунок 1 – Изменение уровня качества деталей при изменении действительных значений параметров: а) для отклонения диаметра; б) для отклонения от круглости; в) для шероховатости поверхности; г) для твердости поверхности

Анализ полученных зависимостей указывает на различный характер влияния действительных значений различных параметров на уровень качества. При этом установлено, что учет погрешностей измерений параметров в случае, когда они значительны по сравнению с допуском на изменение параметра, оказывает существенное влияние на зависимость уровня качества от параметра.

В таблице представлены результаты моделирования оценки качества пяти различных образцов с конкретными значениями измеренных параметров

Таблица 1 – Сравнение уровней качества пяти образцов

№	Отклонение диаметра		Отклонение от круглости		Шероховатость Ra		Твердость		Компл. показат. $K_{(5)}$	Компл. показат. $K_{(6)}$
	значение, мкм	k_i	значение, мкм	k_i	значение, мкм	k_i	значение, НВ	k_i		
1	-13	0,99	5	0,56	0,40	0,95	235	0,18	0,09	0,55
2	-15	0,98	2	0,97	0,55	0,61	290	0,97	0,56	0,86
3	-8	0,73	1	1,00	0,48	0,81	260	0,68	0,40	0,80
4	-20	0,62	3	0,89	0,32	1,00	250	0,51	0,28	0,73
5	-10	0,89	4	0,759	0,60	0,43	300	1,00	0,29	0,73

Анализ полученных результатов показывает, что по точности выполнения диаметра поверхности наивысший уровень качества имеет образец № 1 ($k_i = 0,99$), а по отклонению от круглости – образец № 3 ($k_i = 1,00$); по шероховатости поверхности лучшими характеристиками обладает образец № 4 ($k_i = 1,00$), а по твердости – образец № 5 ($k_i = 1,00$).

Для определения образца с наилучшим уровнем качества для каждого из них определен комплексный показатель качества K по выражениям (5) – $K_{(5)}$ и (6) – $K_{(6)}$. Анализ представленных в таблице данных показывает, что ранжирование образцов по обоим комплексным показателям идентичное – наилучшим уровнем качества является образец № 2 ($K_{(5)} = 0,56$; $K_{(6)} = 0,86$). При этом наиболее удобным для использования следует считать показатель, определяемый по выражению $K_{(6)}$, поскольку показатель $K_{(5)}$ даже для образцов с высоким качеством имеет низкие значения.

ВЫВОДЫ

1 Проведен анализ проблемы оценки качества изготовления деталей, рассмотрены выражения, предназначенные для оценки уровня качества деталей по единичным и комплексным показателям.

2. Показано, что при оценке уровня качества изготовления деталей необходимо учитывать погрешности средств измерений, используемых при оценке качества того или иного параметра. Учет точности оказывает существенное влияние на показатели качества в случае, когда погрешности значимы по сравнению с диапазоном изменения параметров.

3. Показано, что при оценке качества объектов, характеризуемого рядом параметров, наиболее целесообразно использовать комплексные параметры, причем наиболее удобным для использования является параметр, определяемый по выражению (6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондаков, А.И. Количественные критерии жизненного цикла изделия машиностроения [Текст] / А.И. Кондаков, А.В. Харитонов // Справочник. Инженерный журнал, 2004. – № 1. С. 5-9.
2. ГОСТ 15467 –79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения регламентирует терминологию в области качества промышленной продукции [Текст].– М.: Изд-во стандартов, 1980.
3. Радкевич, Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для вузов [Текст] / Я.М. Радкевич, А.Г. Схитладзе, Б.И. Лактионов.– М.: Высш. Шк., 2004. – 767 с.

Подмастерьев Алексей Константинович

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Студент группы 31-П, кафедра «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862) 41-98-76
E-mail: aogiri@mail.ru

Лисовская Зинаида Прохоровна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862) 41-98-76
E-mail: aogiri@mail.ru

Е.С. ПРОЩАЛЬКИНА

ОРГАНИЗАЦИЯ ХРАНЕНИЯ И ПОИСКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

В настоящее время, вопрос об автоматизированной подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ уже давно решен. Создано множество CAD/CAM систем, помогающие инженерам-технологам создавать технологию обработки изделий. Разработка управляющих программ ведется непрерывно. За несколько лет скапливается огромное количество управляющих программ для различных видов изделий. Тут возникает проблема хранения и поиска этих программ. В данной работе рассматривается возможность создания специального программного обеспечения для хранения и поиска управляющих программ

Ключевые слова: управляющая программа, ЧПУ, атрибут поиска, база данных

Presently computer-aided NC programming has long been implemented. There are many CAD/CAM systems that facilitate manufacturing planning. NC programming is a continuous process. A huge number of NC codes for various are accumulated. A problem of NC code storing and retrieval has been investigated. The paper consider the software development for NC code storing and retrieval

Keywords: NC program, numeric control, system, search attribute, database

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Эффективность автоматизации современного машиностроительного производства на основе его компьютеризации в основном зависит от степени интеграции всех стадий конструкторско-технологической подготовки производства и самого производственного цикла в единый информационный процесс [1].

По мнению ведущих мировых аналитиков, основными факторами успеха в современном промышленном производстве являются: сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. К числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат CAD/CAM/CAE системы (системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа). Если вопрос об автоматизированной подготовке управляющих программ для оборудования с ЧПУ уже давно решен, то вопрос о хранении используемых управляющих программ остается открытым. На рынке предлагаются организационно-технические системы, обеспечивающие управление всей информацией об изделии (управление жизненным циклом изделия) - PDM/PLM-системы. При всех их достоинствах внедрение подобных систем не всегда рентабельно, так это означает не только большие финансовые затраты, но и длительное время внедрения, составляющее около 2 лет. Еще одна важная причина, затрудняющая внедрение PLM/PDM – это ориентация данных систем на сквозную автоматизацию всего процесса подготовки производства и полностью автоматизированное оборудование, что на малых предприятиях практически неосуществимо. Таким образом, появляется новая задача автоматизации производства: организация процесса хранения и поиска управляющих программ для оборудования с ЧПУ в условиях частичной автоматизации подготовки производства и нерентабельности внедрения PLM. Для решения этой задачи необходимо разработать информационно-справочную систему (ИСС) хранения и поиска управляющих программ.

АТРИБУТЫ ПОИСКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Поиск управляющих программ в информационно-справочной системе происходит по известным данным. Для этого были выделены следующие атрибуты поиска:

1. Дата создания УП
2. Разработчик программы
3. Тип станка
4. Номер цеха
5. Обозначение изделия
6. Наименование детали
7. Технологический процесс

Режущий и мерительный инструмент, различные виды приспособлений не рассматриваются как атрибуты поиска, потому что, как показывает опыт, технологи просто не помнят, какой именно инструмент (или приспособление) они использовали в данном изделии (тем более что обозначение инструмента может достигать 10 знаков) [8].

ВЗАИМОСВЯЗЬ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ С ОПЕРАЦИЕЙ

При создании технологии обработки изделия руководствуются двумя принципами: технологическим и экономическим [2]. Из нескольких вариантов технологического процесса, для одного и того же изделия, выбирают наиболее эффективный. Эффективность выбранного варианта складывается из совокупности технологического и экономического принципа [7,3]. Таким образом, можно выявить зависимости обработки деталей от технико-экономического решения:

1. Изделие полностью обрабатывается на ЧПУ (одна программа).
2. Одна или несколько операций выполняются на ЧПУ.
3. Имеются несколько программ на одно изделие (для разного инструмента).
4. Имеются несколько программ на одно изделие (для разных станков).
5. Имеются несколько программ на одно изделие (альтернативные технологии обработки).

Имея в виду вышесказанное, при создании базы данных надо учесть возможность хранения нескольких программ для одного изделия.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ

Для создания информационно-справочной системы хранения и поиска УП необходимо разработать базу данных. Проектирование БД ставит перед собой следующие цели:

1. Возможность хранения в БД всех необходимых данных.
2. Исключение избыточности данных.
3. Сведение числа хранимых в БД таблиц к минимуму.
4. Нормализация отношений для легкого обновления и удаления записей.

Процесс создания информационно-справочной системы хранения и поиска управляющих программ в нотации IDEF1 представлен на рисунке 1.

На первом этапе разработки системы необходимо проанализировать исходные данные (управляющие программы). Управляющими воздействиями будут требования (что система должна делать) к информационно-справочной системе. Исходные данные представляют собой имеющиеся на предприятии каталоги цехов, станков, изделий. На этом же этапе рассматриваются уже существующие системы для хранения и поиска информации. Проводится оценка возможного их применения для решения данной задачи.

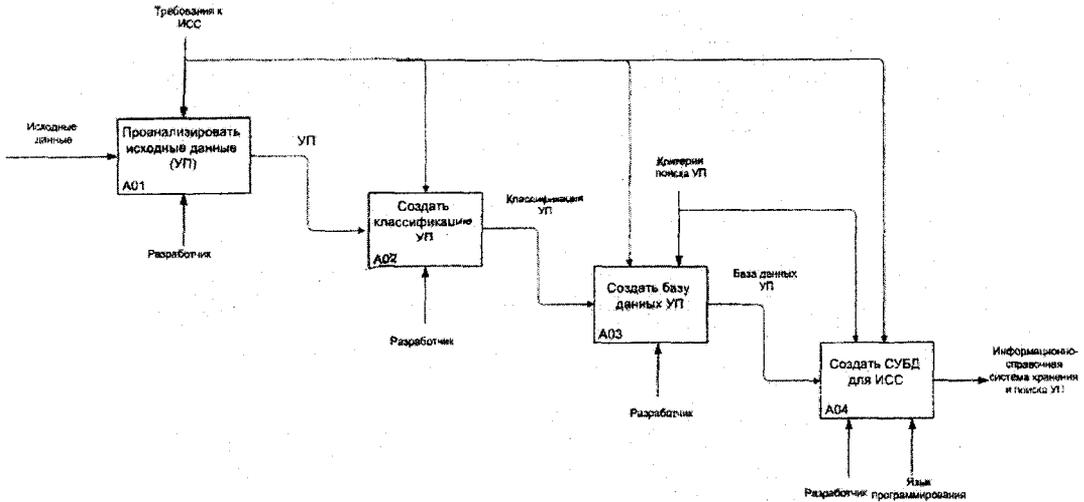


Рисунок 1 - Структурно-функциональное моделирование ИСС

Второй этап - классификация управляющих программ. На данном этапе рассматривается структура будущей базы данных. Продумываются критерии поиска (атрибуты) УП в будущей программе и сортировка УП.

В процесс реализации третьего этапа входит:

- выбор программного обеспечения для создания БД;
- создание базы данных управляющих программ;
- сортировка управляющих программ.

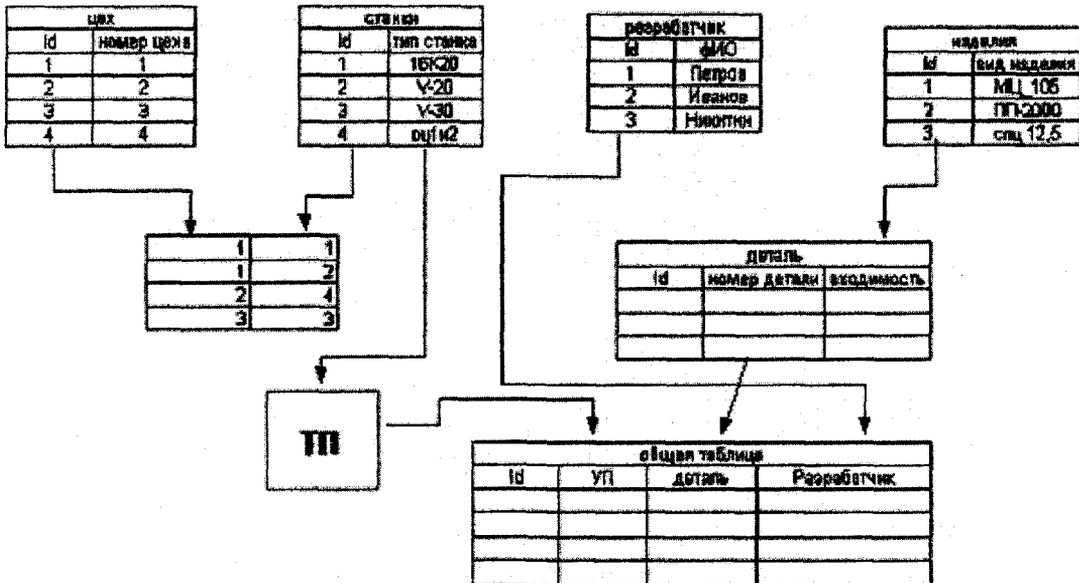


Рисунок 2 - Схема связей в базе данных

Заключительным этапом будет создание СУБД. Для этого необходимо выбрать язык программирования. Разработать алгоритм занесения УП в базу данных, алгоритм поиска УП. Создать программное обеспечение ИСС. Проверить правильную работу ИСС.

В настоящее время проектируется структура базы данных. Для этого разрабатывается структура таблиц, входящих в нее. Всего будет 5 таблиц, а именно:

1. Таблица, содержащая название цеха.
2. Таблица, содержащая наименование типа станка.
3. Таблица, содержащая наименование изделий.
4. Таблица, содержащая наименование деталей.
5. Таблица, со списком разработчиков УП (инженеров-технологов).

Для каждой таблицы задаем уникальный ключ, который позволяет производить сортировку по выбранному полку, что делает ее пригодным для быстрого поиска.

Между таблицами создаем связи (Рис. 2). В общей таблице представлены следующие связи: связь с таблицей «станки», через таблицу - связки «технологический процесс (ТП)». Связь с таблицей «детали» и таблицей «разработчик».

При реализации этих связей в базе данных УП, будет происходить сортировка данных. Например, если выбран цех №1, тогда ему соответствуют два типа станка (16К20 и V-20). Каждой конкретной детали соответствует определенный тип изделия (в изделие могут входить одна и более деталей.).

Создаваемая система поможет оптимизировать работу инженеров-технологов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем: Учеб. для вузов-3-е изд., перераб. и доп [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев -М.: Высш. шк., 2001.-343с.
2. Шишварев, В.Ю. Автоматизация технологических процессов: учебное пособие,4-е изд. [Текст] / В.Ю. Шишварев. - Академия, 2008,351 с
3. Фролов, Н.Н. Технология обработки деталей на станках с ЧПУ: Учебное пособие [Текст] / Н.Н. Фролов - Тула.-2000.-130с
4. ГОСТ 21021-85 Устройства числового программного управления. Общие технические условия [Текст].
5. Косилова, И.Г. Справочник технолога- машиностроителя в 2-х томах т.1 и т.2 изд.5 под редакцией Дальского И.В., [Текст] / И.Г. Косилова. - Машиностроение, 2003 г, 1856 с
6. Горчаков, Л.М. Введение в теорию технологических процессов [Текст] / Л.М. Горчаков. - Издательство Ростовского университета, 1988. 160с
7. Ловыгин, А.А. Современный станок с ЧПУ CAD\CAM система [Текст] / А.А. Ловыгин, А.В. Васильев, С.Ю. Кривцов - М.: «Эльф ИПР», 2006, 286 с., илл

Прошалыкина Елена Сергеевна

Тульский государственный университет, г. Тула

Магистрант кафедры «Автоматизированные станочные системы»

Тел. (960)-6051542

E-mail: elenkaorient@yandex.ru

Д.Е. ФЕДОТОВ, В.В. МАРКОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

В этой статье представлена краткая история создания лазеров в нашей стране и за рубежом, показаны технические возможности промышленных лазерных систем, применяемых в машиностроении и приборостроении. Сформулированы перспективы развития лазерных технологий обработки изделий.

Ключевые слова: лазерная обработка; машиностроение; приборостроение; технические возможности промышленных лазерных систем; технологический процесс

In this article is produce the concise history of creation the lasers in our country and foreign countries, is show the technical possibilities of industry laser systems, which is use in the machine-building and devise-building. Is formulated the perspectives of development the laser technologies of processing articles

Keywords: laser processing; machine-building; device-building; technical possibilities of industry laser system; technological process

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ ЛАЗЕРОВ

Слово «лазер» составлено из начальных букв в английском словосочетании «LASER» – «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», что в переводе на русский язык означает: «Усиление света посредством вынужденного испускания» [1]. История открытий и изобретений в области лазерного излучения содержит несколько памятных дат. Впервые в истории человечества возможность получения стимулированного излучения (первоначальное название лазерного излучения) предсказал Альберт Эйнштейн в 1916 году. В 1940 году советский учёный В.А. Фабрикант сформулировал условия получения стимулированного излучения, а в 1952 году он, совместно с Ф.А. Бутаевой и М.М. Вудынским провёл лабораторный эксперимент с использованием неравновесной среды и получил усиление оптического излучения. В период с 1959 по 1960 годы в Советском Союзе были созданы первые рубиновые и газовые лазеры. В 1959 году академикам Н.Г. Басов и А.М. Прохоров была присуждена Ленинская премия за создание и разработку нового метода генерации и усиления оптического излучения, а в 1964 году они, совместно с американским учёным Чарльзом Таунсом были удостоены Нобелевской премии по физике за разработку и внедрение квантовой электроники. В период с 1970 по 1972 годы отечественная промышленность освоила выпуск первых серийно выпускаемых твёрдотельных, газовых и полупроводниковых лазеров. В 1971 году член-корреспондент Академии наук СССР Ю.Н. Денисюк был удостоен Ленинской премии за развитие голографии с записью в трёхмерной среде. В период с 1973 по 1976 годы в нашей стране были созданы первые серийно выпускаемые контрольно-измерительные приборы на основе лазерного излучения – лазерные дальномеры. Начиная с 1977 года, лазерные технологии начали активно и успешно внедряться в машиностроении, приборостроении, строительстве, геодезии, медицине, химии и в других отраслях народного хозяйства.

За рубежом лазерная техника также интенсивно развивается. В США первый лазер был создан в 1961 году, а в 1962 года американская фирма «Спектра физикс» наладила серийное производство промышленных лазерных установок. В настоящее время лазерная техника имеет множество типов и модификаций. Самый миниатюрный лазер имеет длину несколько микрометров. Наиболее крупная лазерная установка «Нова» изготовлена в национальной лаборатории Лоуренса Ливермора в США; её длина составляет 137 метров, а суммарная мощность излучения – 1014 Вт. Самый мощный лазер Европы «Астерикс» базируется в институте Макса Планка; мощность его излучения составляет 1012 Вт.

Области применения лазеров и лазерной техники еще более многочисленны, чем разнообразие их конструкций. Всего насчитывается несколько сотен областей использования

лазеров на практике. Наиболее массовой областью использования лазерной техники является в настоящее время светолучевая размерная обработка материалов, основанная на тепловом воздействии лазерного излучения на поверхность обрабатываемого изделия. Применение лазерной техники в машиностроении и приборостроении выводит производство на новый высокоинтеллектуальный уровень, на уровень технологий будущего столетия.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛАЗЕРОВ

В машиностроении и приборостроении используются лазеры непрерывного действия с повышенной мощностью оптического излучения, например, газовые (CO₂) и твердотельные (алюминий-итриевый) лазеры [1]. Примеры серийно выпускаемых отечественных промышленных лазерных установок показаны на рисунках 1 и 2.

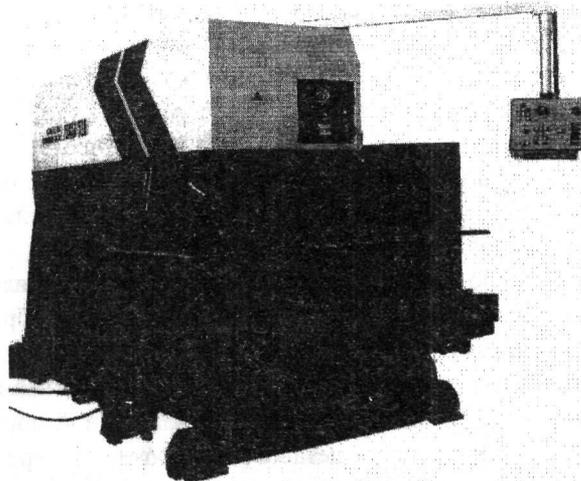


Рисунок 1 – Лазерная технологическая система «Искар-500» на основе газового лазера, предназначенная для резки материалов толщиной до 5 мм (конструкционная сталь)

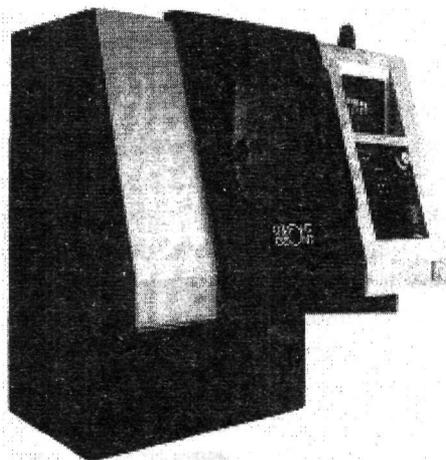


Рисунок 2 – Лазерная технологическая система «Опал-50» на основе твердотельного лазера, предназначенная для гравировки материалов

Любая лазерная система, предназначенная для размерной обработки материалов, характеризуется следующими параметрами: скоростью обработки (реза, гравировки и т.п.); разрешающей способностью; точностью обработки; размером рабочего поля; диапазоном материалов обработки (чёрные металлы, цветные металлы, дерево, пластмасса и т.д.); диапазоном размеров и массы изделий, предназначенных для обработки; конфигурацией изделий (например, гравировка на плоской, цилиндрической, волнообразной поверхностях); необходимым временем изменения выполняемых задач (смена рисунка гравировки, конфигурации линии реза, изменение материала обработки и т.п.); временем установки и позиционирования изделия; параметрами условий окружающей среды (диапазон температур, влажность, запылённость) в которых может эксплуатироваться система; требованиями к квалификации обслуживающего персонала. Исходя из этих параметров, выбирается тип лазера, устройство развертки луча, разрабатывается конструкция крепежа изделия, уровень автоматизации системы в целом, решается вопрос о необходимости написания специализированных программ для подготовки файлов рисунков, линий резания и другие показатели.

С появлением мощных (с мощностью оптического излучения от 500 Вт и выше) лазеров область использования светолучевых методов обработки изделий существенно расширилась от микроэлектроники и приборостроения до многих энергоёмких и материалоемких отраслей промышленности, таких как машиностроение, электротехническая промышленность, металлургия и т.д. Этому способствовали уникальные свойства лазерного излучения. Высокие плотности мощности лазерного излучения, существенно превосходящие другие источники энергии (до 108-109 Вт/см² в непрерывном режиме и до 1016-1017 Вт/см² в импульсном

режиме), позволяют не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые результаты по свойствам обрабатываемых материалов.

Лазерный луч как источник нагрева при термической обработке материалов имеет специфические преимущества, среди которых можно отметить высокую концентрацию энергии, подводимой к поверхности материала, и «технологичность» лазерного луча [2].

Высокая концентрация подводимой энергии и локальность её зоны действия позволяет произвести обработку только заданного участка поверхности без нагрева остального объема, что приводит к минимальному короблению деталей. В результате достигаются экономические и технологические преимущества. Кроме того, высокая концентрация подводимой энергии позволяет провести нагрев и охлаждение обрабатываемого объема материала с большими скоростями при очень малом времени воздействия. В результате открывается возможность получения уникальной структуры и свойств обработанной поверхности.

Высокая «технологичность» лазерного луча, под которой понимается возможность регулирования параметров обработки в широком интервале режимов, легкость автоматизации процесса, возможность обработки на открытом воздухе, исключение механической обработки изделий, отсутствие вредных отходов, возможность транспортировки излучения.

Благодаря данным преимуществам лазерных технологий удается реализовать такой широкий круг технологических процессов и методов обработки материалов (сварка, наплавка, маркировка, закалка, резка и др.), который недоступен другим видам инструмента.

Благодаря созданию надежного и достаточно экономичного лазерного оборудования в 1970...1980-х годах возникла новая промышленная технология – лазерная технология обработки материалов. Рассмотрим особенности конкретных технологических процессов [2, 3].

Резание металлов. Лазерная резка стальных листов толщиной до 6 мм по сложному контуру является наиболее распространенным технологическим процессом лазерной обработки в промышленности. Ее применяют для вырезки таких деталей, как прокладки, кронштейны, панели, приборные щитки, двери, декоративные решетки, дисковые пилы. Весьма эффективным оказалось применение лазерной резки фигурных изделий на стадии освоения новой продукции, так как из-за высокой гибкости лазерного оборудования значительно сокращаются сроки освоения изделий. Лазерная резка экономичнее резки водяной струей и эрозионной проволокой. В настоящее время высокими темпами развивается резка пространственных изделий, в том числе с использованием роботов-манипуляторов. При этом лазерное излучение к зоне обработки может передаваться по гибкому оптоволоконному кабелю.

Резка неметаллов и труднообрабатываемых материалов. Как показала практика, лазерное излучение может эффективно использоваться для раскроя неметаллических материалов: оргстекла толщиной до 50 мм, фторопласта до 30 мм, стеклотекстолита, гетинакса, полиэтилена, поливинилхлорида до 2 мм, асбоцемента, базальтовых тканей, тканей для бронжилетов, кожи, картона для упаковки, керамики, ситалла, ковров и текстиля. Разработаны экономичные методы резки неорганического стекла, в том числе и по сложному контуру.

Сварка. Лазерной сваркой достаточно просто формируются соединения из углеродистых и легированных сталей толщиной не более 10 мм. Наиболее полно преимущества лазерной сварки реализуются при сварке тонких изделий (до 1 мм): электрических контактов, корпусов измерительных приборов, батарей аккумуляторов, сильфонов, переключателей, сердечников трансформаторов. Проводится высококачественная сварка ювелирных изделий из золота, платины, серебра (цепочек, колец), а также сварка проводов термодпар.

Лазерная маркировка. Этот процесс получил распространение при нанесении размерных шкал на измерительный инструмент, изготовлении табличек и указателей, маркировке изделий (электрических соединителей [4], инструмента, подшипников) и товаров, изготовлении сувениров в виде значков или в виде объемных рисунков внутри стеклянных изделий. Процесс маркировки деталей приборов высокопроизводителен и отличается малой стоимо-

стью. Все больше места в общем объёме процессов находит декоративная гравировка: нанесение художественных рисунков на панно, элементы мебели, стекло, кожу и т.д.

Пробивка отверстий. С помощью этого метода можно получать отверстия диаметром 0,2-1,2 мм при толщине материала до 3 мм. При соотношении высоты отверстий к их диаметру 16:1 лазерная пробивка превосходит по экономичности почти все другие методы. Объектами применения этой технологии являются: сита, ушки игл, форсунки, фильтры, ювелирные изделия (подвески, четки, камни). В приборостроении с помощью лазеров осуществляется пробивка отверстий в часовых камнях (опорах часовых трибов) и в волоочильных фильерах, причем производительность достигает 700 тысяч отверстий за одну смену.

Лазерная закалка. Воздействие лазерного излучения на поверхность изделий позволяет получить глубину упрочнения материалов поверхностей (металлов и сплавов) до 1,5 мм при ширине единичных полос 2-15 мм. Обработке обычно подвергаются детали, работающие в условиях интенсивного износа: направляющие станков, детали двигателей, кольца подшипников, валы, барабаны, запорная арматура, режущий инструмент, детали пресс-форм и штампов. Обычно достигается увеличение стойкости изделий в 1,5-5 раз.

Легирование и наплавка. С помощью этих процессов на поверхности сплавов получают слои с уникальными свойствами: высокой износостойкостью, теплостойкостью и т.д. Наибольшее распространение получает лазерная наплавка с целью восстановления изношенных деталей машин: распредвалов, коленвалов, клапанов, шестерен, штампов. Процесс отличается минимальными деформациями детали и повышенной износостойкостью поверхности.

Процессы микроразмерной обработки. Высокая степень автоматизации в последние годы позволила вновь на новой стадии использовать на практике такие процессы, как подгонка номиналов резисторов и пьезоэлементов, отжиг имплантированных покрытий на поверхности полупроводников, напыление тонких пленок, зонная очистка и выращивание кристаллов. Возможности многих процессов к настоящему моменту еще не до конца раскрыты.

Лазерная стереолитография. Сущность этой технологии состоит в послойном изготовлении вещественных копий компьютерных образов деталей, формируемых с помощью пакетов трехмерной графики. Конкретно технология включает в себя следующие этапы: создание компьютерного образа детали при разбиении его на тонкие поперечные сечения, последовательное воспроизведение этих поперечных сечений при полимеризации поверхности жидкой фотополимеризующейся композиции сфокусированным лазерным излучением, перемещающимся по этой поверхности. Каждый полимеризующийся слой имеет свою сложную конфигурацию, макет изделия формируется при последовательном наложении слоев. Поскольку сфокусированное излучение имеет диаметр пучка несколько десятков микрометров и скорость его перемещения может достигать 1 м/с, то можно говорить о создании высокоточной сверхскоростной компьютерной технологии воспроизведения формы пространственных объектов. Для логического завершения этой проблемы необходима реализация последнего, очень важного этапа: превращения полимерных объектов в детали машин или другие изделия, отвечающие определенным требованиям, например, из различных сплавов. Таким процессом, завершающим цикл прототипирования, может быть процесс литья.

Резка тонкостенного трубчатого стекла. В технологии изготовления ряда приборов, например электровакуумных, существует проблема бездефектной резки трубчатого стекла на заготовки баллонов приборов. Основной механизм резки – направленное разделение за счёт термоупругих напряжений, возникающих в стекле под действием больших температурных градиентов. При вращении трубки с частотой порядка 20 с^{-1} на ее поверхности создается кольцевой источник тепла, при котором благодаря термоупругим напряжениям, превышающим предел прочности стеклянной трубки, возникает разделяющая трещина. В зависимости от скорости роста напряжений можно получить различную шероховатость поверхностей раз-

деления от 4-го до 13-го классов. С помощью лазерного излучения можно произвести также резку листового стекла, керамики и нарезку кварцевых трубок.

Удаление тонких изоляционных пленок с проводников. Зачистка изоляции с тонких проводников является одной из проблем технологии радиоприборостроения. Существующие способы удаления изоляции (механический, химический и др.) не обеспечивают надежной зачистки. Технология зачистки проводников от изоляции с помощью CO₂-лазера основана на свойствах излучения с длиной волны 10,6 мкм хорошо поглощаться диэлектриками и отражаться от металлов. В результате воздействия излучения лазера на проводник происходит выгорание изоляции. Металлическая жила при этом не успевает разрушиться благодаря ее высокой отражательной способности. Скорость перемещения проводника выбирается в зависимости от его диаметра, мощности излучения, толщины изоляции.

Скрайбирование и резка полупроводниковых пластин. С тех пор как образовалось направление полупроводниковой технологии, появилась проблема разделения полупроводникового материала на отдельные элементы. В случае плоской пластины полупроводникового материала эта операция состояла в том, что с помощью алмазного инструмента производился предварительный надрез пластины с последующим разламыванием ее на отдельные части по линии надреза. В полупроводниковой промышленности эта технология используется для производства полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Фигурная резка древесных материалов. Этот процесс широко используется на многих малых предприятиях при изготовлении наличников, карнизов, кронштейнов, мебели и кухонных изделий, шкатулок, сувениров и художественных изделий, эмблем и товарных знаков из драгоценных пород дерева. Раскрой материалов из доски, фанеры, древесностружечных плит толщиной до 40 мм осуществляется по сложному программируемому контуру при скорости реза до 3 м/мин. Особый интерес представляет при этом изготовление художественного инкрустированного паркета.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Среди разработок новых техпроцессов большое место занимают комбинированные методы обработки, где воздействие лазерного излучения совмещено с другими технологическими процессами. Так, использование лазерного луча совместно с электрической дугой, плазменной струей или газовой горелкой позволяет в несколько раз повысить эффективность воздействия, то есть увеличить толщину сварки, резки или закалки. Применение лазерного излучения при механической обработке металлов и сплавов позволяет поднять производительность в несколько раз, улучшить качество обработки. Применение пластического деформирования (механической упрочняющей обработки) сплавов перед или после лазерной закалки позволяет получить новые свойства поверхности. Интенсивно развиваются методы лазерной обработки тонкостенных листовых материалов для формирования объемных конструкций вследствие направленного деформирования. Известны работы в нашей стране и за рубежом по скоростной лазерной обработке поверхности электротехнических сталей и сплавов для изменения электромагнитных свойств. Большой интерес представляют процессы, основанные на инициировании химических реакций на поверхности материалов, в частности, реакций восстановления металлов, синтеза нитридов, карбидов и других соединений. С успехом проведены работы по очистке от загрязнений произведений искусства под воздействием лазерного излучения, а также по очистке поверхностей от лакокрасочных покрытий.

Наиболее перспективными для использования во многих технологических процессах являются волоконные лазеры. В настоящее время на отечественном рынке представлены одномодовые волоконные лазеры со средней выходной мощностью до 2 кВт, маломодовые до 10 кВт и многомодовые системы с выходной мощностью до 50 кВт. Наибольшие уровни мощности достигнуты в лазерах на активированном волокне, генерирующих излучение с

длиной волны 1,07 мкм, которое поглощается в металлах лучше, чем излучение с длиной волны 10,6 мкм. Кроме того, в 10 раз меньшая длина волны позволяет получить меньшую расходимость излучения, а значит, лучше его сфокусировать. Этим объясняется тот факт, что даже относительно маломощные 100-ваттные одномодовые лазеры обеспечивают резку стали толщиной 1,5 мм со скоростью до 4 м/мин. Технические характеристики волоконных лазеров позволяют реализовать режим дистанционной сварки, существенно упрощающий встраивание лазерного оборудования в современные роботизированные производственные линии, и резко увеличивает скорость сварки. Разработанные в последнее время волоконные лазеры позволили создать системы гравировки с разрешением и качеством аналогичным твердотельным лазерам и позволяющим получать качественную гравировку на некоторых неметаллических материалах. Преимуществами гравировальных систем на волоконных лазерах являются их компактность, малое энергопотребление, отсутствие дополнительных охлаждающих устройств, отсутствие необходимости замены расходных элементов [4].

Внедрение лазерных технологий во многих случаях позволяет решать «старые» задачи принципиально новыми методами, например, создавать новые способы защиты клейм от подделок. Возможности лазерной техники позволяют идентифицировать защитную надпись по отдельно взятой линии в надписи. Возможность применения криптографических методов позволяет реализовывать «динамическую» защиту от подделок, то есть при сохранении общего рисунка через определённое время меняются некоторые элементы, узнаваемые только экспертами или специальным оборудованием. Недостигаемым для механических методов подделок является возможность создания лазером небольшого бортика (3-10 мкм) из выбросов металла на края линии гравировки. Комплексное использование подобных методик минимизирует вероятность подделки и делает её экономически невыгодной.

Таким образом, теория и практика лазерной обработки материалов подтверждает огромные возможности лазерных технологий, которые позволяют эффективно решать крупные производственные задачи. При этом применение лазерной техники выводит производство на новый высокоинтеллектуальный уровень, на уровень технологий будущего столетия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Канюков, В.Н. Развитие научно-технических решений в медицине [Текст] / Учебное пособие В.Н. Канюков, Н.Г. Тергулов, В.Ф. Винярский, В.В. Осипов. – Оренбург: ОГУ, 2000. – 255 с.
2. Сафонов, А.Н. Технологические процессы лазерной обработки материалов [Текст] / А.Н. Сафонов Технологическое оборудование и материалы. – 1998. – № 5. – С. 58-68.
3. Крылов, К.И. Применение лазеров в машиностроении и приборостроении [Текст] / К.И. Крылов, В.Т. Прокопенко, А.С. Митрофанов. – Л.: Машиностроение, 1978. – 336 с.
4. Лебедева, Л.И. Внедрение технологии прецизионной лазерной маркировки электрических соединителей на Карачевском заводе «Электродеталь» [Текст] / Л.И. Лебедева. Научный потенциал Орловщины в модернизации промышленного комплекса малых городов России. Сборник трудов региональной научно-практической конференции молодых учёных и аспирантов, Орёл-Ливны, 26 февраля 2010 г. – Орёл: ОрелГТУ, 2010. – С. 48-51.

Федотов Денис Евгеньевич

Карачевский филиал ОрелГТУ, г. Карачев Брянской области
Студент второго курса специальности «Технология машиностроения»
Тел. (48335) 2-46-70
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Марков Владимир Владимирович

Карачевский филиал ОрелГТУ, г. Карачев Брянской области
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология машиностроения»
Тел. (48335) 2-46-70
E-mail: pms35vm@yandex.ru

УДК 65.011.56

Ю.Д. СЕРГЕЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ СТАНКОВ СЧПУ ПРИ ОБУЧЕНИИ БСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА

Целью данной работы является: проектирование и внедрение электронных интерактивных руководств по эксплуатации модернизированных станков модели, а также методических пособий по эксплуатации для осуществления одного из этапов информатизации образования, а также научного обоснования педагогической целесообразности их применения и в представлении содержательного описания практической целесообразности разработанного пакета электронной документации, обеспечивающей реализацию его возможностей в области совершенствования учебно-воспитательного процесса

Ключевые слова: информационная модель, числовое программное управление

The purpose of the given work is: designing and introduction of electronic interactive operation manuals on the modernised machine tools of model, and also methodical grants on operation for realisation of one of stages of information of formation, and also a scientific substantiation of pedagogical expediency of their application and in representation of the substantial description of practical expediency of the developed package of the electronic documentation providing realisation of its possibilities in the field of perfection of teaching and educational process

Keywords: information model, numerical control

В настоящий момент все большую актуальность приобретает создание интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР), электронной технической и эксплуатационной документации, обучающих систем. Это связано, в первую очередь, с выходом многих отечественных предприятий на мировой рынок, где электронное представление информации о продукции уже давно является стандартом. Особенно актуален этот вопрос для организаций, планирующих перейти на безбумажную технологию разработки, выпуска, сопровождения изделий и обучения производственного персонала, а также для предприятий оборонно-промышленного комплекса, поставляющих зарубежным заказчикам различные системы вооружений. Необходимость широкого практического внедрения ИЭТР как средства поддержки жизненного цикла изделия подтверждается международными (MIL 87268, 87269) и отечественными (P50.1.029-2001, P50.1.030-2001) стандартами, устанавливающими общие требования к стилю, содержанию, оформлению и логической структуре ИЭТР. Таким образом, существует необходимая нормативно-техническая база для разработки и эксплуатации ИЭТР в реальных процессах конструирования, изготовления и сопровождения изделий.

ЦЕЛИ, ЗАДАЧИ И ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

В сфере компьютеризации обучения обычно выделяют два основных направления. Целью первого является обеспечение всеобщей компьютерной грамотности, в этом случае сам компьютер является объектом изучения. Второе направление, собственно компьютерное обучение, предполагает использование компьютера как технического средства, полностью или частично выполняющего в отношении обучаемых функции преподавателя. Основная цель второго направления компьютеризации - резко повысить эффективность обучения. К показателям оценки эффективности компьютерного обучения обычно относят: качество ус-

воения обучаемыми программы обучения, время, затраченное ими на усвоение этой программы, материальные затраты, временные затраты преподавателей и т.д. Ведущим среди всех этих показателей является качество усвоения. Ясно, что никакое снижение материальных, временных и любых других затрат неприемлемо, если качество обучения ухудшается. При этом высокие материальные затраты на реализацию компьютерного обучения диктуют необходимость резкого роста этого главного показателя эффективности по сравнению с существующим традиционным обучением.

Данная цель может быть достигнута, если на этапах проектирования, создания и внедрения в учебный процесс соответствующих аппаратно-программных средств будут решены следующие задачи:

1. Гарантированное достижение всеми обучаемыми заданного качества усвоения программы обучения.

2. Достижения каждым из обучаемых заданного качества усвоения наиболее рациональным для него путем, при условии работы преподавателя с достаточно большой группой обучаемых; обеспечение заданного эффекта обучения по отношению к индивидуальным способностям каждого из обучаемых.

3. Наиболее приемлемое преодоление противоречия между все увеличивающимся объемом информации в изучаемой области человеческой деятельности и относительно фиксированным лимитом времени на ее усвоение.

4. Создания для преподавателя условий, которые бы при общей интенсификации процесса обучения не требовали от него все большей отдачи физических и моральных сил.

Совокупное решение этих задач представляет собой комплексную проблему, находящуюся на стыке целого ряда наук: педагогики, психологии, теории информации, теории системы, теории управления, информатики, системотехники и эргономики.

ПОНЯТИЕ ЭИМИ

ЭИМИ представляет собой набор данных, которые в совокупности определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для изготовления, контроля, приемки, сборки, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия. Электронная информационная модель изделия содержит исчерпывающую информацию о конструкции, принципе действия, характеристиках (свойствах) изделия и его составных частей.

ЭИМИ может использоваться:

1) для интерпретации всего составляющего модель набора данных (или его части) в автоматизированных системах;

2) для визуального отображения конструкции изделия при выполнении проектных и производственных работ, а также при обучении обслуживающего персонала правилам эксплуатации и ремонта изделия;

3) для изготовления чертежной конструкторской документации в электронной и/или бумажной форме.

Чтобы служить единым источником информации об изделии, ЭИМИ должна удовлетворять ряду требований:

– состав данных должен соответствовать потребностям в конструкторской информации на всех стадиях жизненного цикла изделия;

– обеспечивать возможность поддержки установленных регламентов и процедур процесса проектирования в части доступа к данным, их использования и модификации;

– средства поддержки ЭИМИ должны обеспечивать возможность параллельного проектирования;

– состав данных и средства поддержки должны обеспечивать управление конфигурацией изделия;

– средства поддержки ЭИМИ должны обеспечивать преобразование информации, получаемой из различных источников в стандартный вид.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭИМИ

В таблице 1 приведены некоторые категории причин и сами причины плохого качества эксплуатационной документации, выявленные при помощи причинно-следственной диаграммы, а также предлагаемые нами методы минимизации их воздействия.

Таблица 1 - Методы минимизации воздействия причин плохого качества эксплуатационной документации

Категория причин	Причина	Метод минимизации воздействия причины
Эффективность применения	Время поиска информации	ЭЭД
	Условия хранения	ЭЭД
	Форма выполнения	ЭЭД
Время разработки	Время на поиск	ЭИМИ
	Время на обновление	ЭИМИ
Материалы	Эксплуатационная документация изделий-аналогов	ЭЭД
	Рабочая конструкторская документация	ЭИМИ

Современные технологии позволяют связывать данные об изделии, созданные в различных системах, в единую электронную информационную модель. В основе организации компьютерной технологии лежит полный виртуальный электронный макет изделия, так как именно создание трехмерных электронных моделей, соответствующих реально проектируемому изделию, открывает небывалые доселе возможности повышения качества конечного продукта, что не может, не отразится на сроке службы изделия на эксплуатирующем предприятии. Для этого все участники процесса проектирования и производства должны работать одновременно и, создавать электронные модели деталей, узлов, агрегатов, систем и всего изделия в целом, решая при этом задачи концептуального проектирования, всевозможных видов инженерного анализа, моделирования ситуаций, а также компоновки изделия. Одновременно (не дожидаясь полного окончания разработки нового изделия) эта информация используется для технологической подготовки производства и самого производства. Все вышперечисленное способствует сокращению сроков сдачи изделия в эксплуатацию, а также снижению стоимости конечного продукта.

ЭИМИ содержит исчерпывающую информацию о конструкции, принципе действия, характеристиках (свойствах) изделия и его составных частей. Благодаря этому свойству ЭИМИ может оказать неоценимую помощь эксплуатирующему персоналу в случае поломки (выхода из строя) изделия.

Очевидно, что сведения о технологическом процессе изготовления данной детали, представленные в полном объеме, не являются необходимыми на этапе эксплуатации, поэтому в эксплуатационной документации электронная модель изделия представляется в виде набора данных, которые в совокупности определяют геометрию изделия и иные свойства, необходимые для приемки, монтажа, эксплуатации, ремонта и утилизации изделия.

Создание электронной эксплуатационной документации с помощью ЭИМИ позволит вместо огромного количества неудобных «бумажных» книг применить интерактивные электронные технические руководства – компактный справочный материал, снабженный к тому же удобным и оперативным поисковым аппаратом. В частности, ЭИМИ может быть исполь-

зована для составления специальных эксплуатационных инструкций и инструкции по монтажу.

ЭИМИ дает полное представление о расположении и взаимной связи его составных частей и содержит необходимую и достаточную информацию для осуществления сборки и контроля сборочной единицы. Поэтому применение электронной модели при составлении эксплуатационной документации имеет особую ценность для сотрудников эксплуатирующей организации. Кроме этого, у них появляется возможность использования так называемых разнесенных сборок, которые, показывая сборку в разобранном виде, тем самым оказывая неоценимую помощь для наглядного представления конструкции изделия в процессе его разборки-сборки.

Работа с электронной моделью изделия дает еще и экономический выигрыш. Известно, что стоимость каждого изменения в конструкции от этапа к этапу возрастает. Поэтому важнее всего максимальное количество вариантов «проиграть» на ранних стадиях, до стадии рабочего проектирования. К примеру, при изменении конструкции даже одной детали на стадии подготовки производства придется заменить и сопряженные с ней детали, оснастку, инструмент и, в конечном итоге, весь технологический процесс. Таким образом, к стадии эксплуатации готового машиностроительного изделия, например, станка, затраты окажутся весьма ощутимыми.

ДИДАКТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Реализация новых перспективных подходов, интегрированных в понятие «открытое образование», стала возможной с наступлением информационной эпохи, обусловленной революцией в области коммуникаций и информации. Использование средств информационных и коммуникационных технологий в образовании выступает как стратегическое решение, ориентированное на создание новой образовательной системы, интенсивное развитие которой становится важнейшим национальным приоритетом. Широкомасштабное применение информационных и телекоммуникационных технологий в образовательном процессе вуза приводит к тому, что стирается грань между очными, заочными и дистанционными формами получения образования. Системный подход к процессам формирования и развития, базирующийся на информационных и коммуникационных технологиях образовательной системы, предполагающий реинжиниринг деятельности в образовательной сфере с целью радикального совершенствования всей системы образования, должен стать основой управления образованием. Создание инфраструктуры информатизации вуза на базе локальных компьютерных сетей является условием для формирования интегрированной информационной среды учебного заведения в целях обеспечения единства учебных и управленческих процессов, а также реализации универсальных способов доступа к информации.

Стремительное развитие компьютерных сетей, рост их значимости и сферы применения, с одной стороны, и недостаточная освещенность использования сетевых технологий, особенно локальных сетей, - с другой, предопределяет трансформацию содержания высшего образования - изучение раздела «Компьютерные сети: виды, принципы, технологии» должно стать общеобязательным элементом (возможность такого изучения подтверждается результатами экспериментальной работы).

Электронные учебные средства и сетевые учебные курсы могут и должны использоваться в очных, заочных и дистанционных формах обучения, в довузовском, вузовском, послевузовском уровнях образования. Дидактический потенциал локальных сетей предопределяет возможность их использования для сопровождения как традиционных, так и инновационных организационных форм занятий в вузе. При этом, вырабатываемые у студентов навыки сетевого взаимодействия служат основой для непрерывного образования в условиях развитой информационно-образовательной среды России.

Дидактический анализ существующего программного обеспечения для работы в локальных компьютерных сетях позволяет утверждать, что оно может эффективно использоваться для:

- организации процесса предъявления учебной информации в соответствии с индивидуальной образовательной траекторией;
- осуществления тотальной обратной связи в управлении образовательным процессом;
- практического воплощения различных форм и методов коллективной работы.

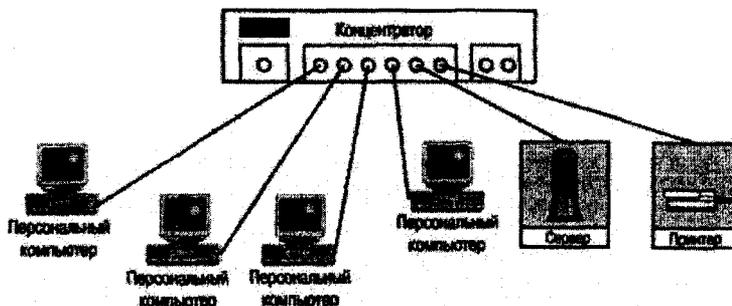


Рисунок 1 – Структурная схема типичной локальной сети с звездообразной топологией

Стоит заметить, что широкое распространение компьютерных и телекоммуникационных технологий, расширение сферы применения компьютерных сетей, способствовало появлению в вузах большого количества собственных сетевых учебных курсов по различным дисциплинам с применением аудио-, видео- и мультимедиа технологий, большинство из которых в настоящее время строятся как объемные монолитные жесткие структуры, строго соответствующие заложенным целям. При изменении внешних условий такие курсы с трудом поддаются корректировке, так как необходимо перерабатывать все его содержимое с учетом новых требований, что представляет собой значительный труд вследствие наличия тесных внутренних связей и ссылок в учебном материале. Каждый вуз делает курс «под себя». Его практически невозможно применить целиком в другом вузе, даже пусть это будет та же самая дисциплина, построенная по тому же единому государственному стандарту. В связи с этим, важно отметить, что классическую модель образования, унифицирующую человеческую индивидуальность, сменяет используемый в мировой практике инновационный подход, предполагающий дифференциацию содержательной части учебного процесса, который позволит проектировать личностно-ориентированное обучение с восприятием обучающегося как его центрального субъекта, что соответствует современной образовательной парадигме. Нельзя не обозначить здесь особую роль компьютерных сетей, которые являются технологической основой и транспортной средой для доставки обучаемому образовательного контента, спроектированного из стандартных разделяемых объектов, интегрированных в индивидуализированный учебный модуль.

Этот образовательный контент реализуется в виде электронных учебных средств (электронных учебников, пособий, систем имитационного компьютерного моделирования, автоматизированных тестирующих и контролирующих системами, Интернет-сайтов и т.п.), а также в виде сетевых учебных курсов. Преимущества последних очевидны: возможность удобного графика организации учебного процесса во времени и пространстве; интенсификация организации обучения (в том числе, автоматизированное конспектирование, автоматизированный поиск учебной информации и т.д.); унификация структуры и формы представления учебного материала и проч. В связи с пока еще недостаточно сформировавшейся инфраструктурой глобальных сетей сетевые курсы могут успешно применяться в локальных сетях, вырабатывая у пользователей навыки сетевого взаимодействия и готовя их к следующему этапу — возможности обучения в условиях развитой информационно-образовательной среды России.

Стремительное развитие сетей, рост их значимости и сферы применения, с одной стороны, и недостаточная освещенность использования сетевых технологий, особенно локальных сетей - с другой, предопределяет трансформацию содержания высшего образования. Электронные учебные средства и сетевые учебные курсы могут использоваться в очных, заочных и дистанционных формах обучения, в довузовском, вузовском, послевузовском уровнях образования. При учете дидактического потенциала локальных сетей, они могут в определенном объеме применяться для «сопровождения» всех традиционных организационных форм занятий в вузе, формируя у пользователей навыки сетевого взаимодействия и, тем самым, готовя их к следующему этапу - самообразованию в условиях развитой информационно-образовательной среды России.

ВЫВОДЫ

Таким образом, гипотеза о том, что в условиях информатизации высшей школы, объективно обусловленной необходимостью реализации концепции непрерывного образования, эффективность последнего будет определяться степенью использования дидактического потенциала электронных информационных моделей станков с ЧПУ, нашла не только теоретическое, но и свое практическое подтверждение.

Вместе с тем, можно сделать вывод, что не все поставленные нами задачи решены в равной степени глубоко и основательно, а само исследование выявляет проблемы, изучение которых может и должно быть продолжено. Среди них одна из самых актуальных - широкое внедрение образовательных технологий, использующих в полной мере дидактический потенциал электронных информационных моделей станков с ЧПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, М. Г. Автоматизированное управление ремонтным производством [Текст] / М. Г. Александров - Экономика промышленности. – 1998. – № 1. – С.12-13.
2. Башмаков, А.И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем [Текст] / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков И.А. - М.: ИИД "Филинь" - 2003, 616 с.
3. Беляев, М.И. Технология создания электронных средств обучения [Текст] / М.И. Беляев, В.В. Гриншкун, Г.А. Краснова - М.: Высш. шк., 2007. – 130 с.
4. Богданов, Д.А. Информационная поддержка эксплуатации сложной техники [Текст] / Д. А. Богданов, М. А. Соловьев, О. Э. Ковалев // Рациональное управление предприятием – 2009. - № 3. – С. 10-13
5. Гаева, Н.И. Повышение качества эксплуатации технологического оборудования на основе использования информационных моделей в эксплуатационной документации [Текст] / канд. тех. наук: 05.02.23 / Н.И. Гаева; ТулГУ, 2007 – 170 с.
6. Гриншкун, В.В. Теория и практика применения иерархических структур в информатизации образования и обучения информатике [Текст] / В.В. Гриншкун - М.: МГПУ. - 2004. - 418 с.
7. Демкин, В.П. Принципы и технологии создания электронных учебников [Текст] / В.П. Демкин, В.М. Вымятин- Томск., - 2002.
8. Максимович, Г.Ю. Современные информационные технологии хранения информации и организация доступа к ней [Текст] / Г.Ю. Максимович, В.И. Берестова. Секретарское дело. – 2005. – №1 (53) –2005. - С. 34
9. Морев, И. А. Образовательные информационные технологии. Часть 3 [Текст] / И.А. Морев // Дистанционное обучение: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета, 2004. – 150 с.
10. Печников, А.Н. Теоретические основы психолого-педагогического проектирования автоматизированных обучающих систем [Текст] / А.Н. Печников - Петродворец: ВВМУРЭ им. А.С.Попова, 1995. - 322 с.
11. Сушков, С.А. Дидактический потенциал локальных компьютерных сетей и его реализация в учебном процессе ВУЗа : автореф. Дис. канд. пед. наук [Текст] / С.А. Сушков; СГПУ - 2003. – 30 с.
12. Тимкин, С.Л. Вводный курс в информационно-образовательную среду открытого образования [Текст] / С.Л. Тимкин - (ИОС ОО): Учебное пособие. – Омск: Изд-во ОмГУ, 2005. – 136 с.

Сергеев Ю.Д.

Тульский государственный университет, г. Тула

Магистрант кафедры «Инструментальные и метрологические системы»

Тел. (4872) 35-34-44

E-mail: info@tsu.tula.ru

Н.А. СКВОРЦОВА, А.В. ФЕДОРОВ

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Стремительное развитие технологического оборудования, а также возросшая конкуренция в этом секторе рынка привели к существенному расширению номенклатуры и ужесточению требований, предъявляемых потребителями к качеству этого вида продукции. Предложенная методика оценки конкурентоспособности технологического оборудования может быть включена в структуру системы менеджмента качества предприятия в виде документированной процедуры, а также использоваться в корпоративной документации, регулирующей механизмы рассмотрения и отбора коммерческих предложений по поставке оборудования.

Ключевые слова: конкурентоспособность, технологическое оборудование

The rapid development of handling and processing equipment stores, as well as increased competition in this market sector have led to a significant increase of nomenclature and tightening requirements for consumers to the quality of this product. The proposed method of estimating the competitiveness of equipment can be incorporated into the structure of quality management system in the form of documented procedures, according to the requirements of the instrument, and also used in corporate documents, regulatory mechanisms for review and selection of offers for the supply of equipment.

Keywords: competitiveness, technological equipment

Для фирм основным условием занятия на рынке более выгодного в конкурентном плане положения является необходимость повышения удовлетворенности потребителей выпускаемой продукцией [3] за счет постоянного повышения его качества и обеспечения его соответствия требованиям потребителей и действующих нормативов, что в полной мере может быть достигнуто за счет выстраивания системы менеджмента качества на основе стандартов ИСО 9000.

Основываясь на положениях, изложенных в нормативных документах [2] и [4], применительно к рассматриваемому вопросу, определим понятия «качество», «показатели качества» и «технический уровень» следующим образом. Качество технологического оборудования – это совокупность его свойств, обуславливающих пригодность удовлетворять потребности технологического процесса и необходимых для всесторонней оценки оборудования на соответствие назначению и требованиям. Упомянутые свойства технологического оборудования, в свою очередь, характеризуются рядом показателей – показателями качества, которые понимаются как мера совершенства и прогрессивности и являются основой для количественной оценки технического уровня оборудования, опираясь на которую можно выбрать наилучшее из предлагаемых на рынке предложений. Технический уровень технологического оборудования представляет собой относительную характеристику качества оборудования, основанную на сравнении его показателей качества с соответствующими нормативными показателями, либо с показателями реального или условного аналога (эталона) в одинаковых условиях эксплуатации, поскольку технический уровень технологического оборудования одной и той же модели будет неодинаков в различных условиях эксплуатации и, соответственно, значения нормативных (эталонных) показателей качества должны быть индивидуальными для каждого из них. Процесс же выбора таких эталонных показателей требует отдельного рассмотрения, которое должно охватывать вопросы оптимизации параметров технологического оборудования, их прогнозирования, а также целый ряд других проблем. В свою очередь, процедура оценки качества оборудования должна пониматься как совокупность операций сравнения всех показателей качества данного оборудования с соответствующими нормативными показателями или показателями аналога.

Показатели качества разделяют по физическому смыслу и структуре [1, 4, 6]. По физическому смыслу выделяют следующие показатели качества: параметрические (длина, ши-

рина, высота, пролет колея, грузоподъемность и т.п.), физико-механические (общая масса и масса отдельных элементов, материалоемкость, прочностные качества материала, коррозионная устойчивость и т.п.), энергетические (затраты энергии в единицу времени на единицу производительности, КПД, мощность), эксплуатационные или показатели производительности (техническая и эксплуатационная производительность, точность работы оборудования, длительность рабочего цикла, степень специализации, готовность к работе, стабильность параметров, транспортабельность, ремонтпригодность и т.п.), показатели технологичности (трудоемкость изготовления, защищенность от вредных воздействий среды и т.п.), показатели надежности (ресурс до капитального ремонта, вероятность безотказной работы, нечувствительность к вредным воздействиям среды и т.п.), экономические (себестоимость оборудования и отдельных его элементов и т.п.), степень стандартизации и унификации, патентно-правовые показатели (патентная чистота, патентная защищенность), эргономические и показатели безопасности (антропологические, физиологические, психофизиологические, уровень обеспечения безопасности при работе с оборудованием и т.п.), художественно-конструкторские (тектоничность, масштабность, цельность, пропорциональность, гармоничность, колористическое решение, товарный вид и т.п.). При необходимости, для оценки отдельно взятого типа технологического оборудования могут использоваться и иные «специальные» показатели. По структуре выделяют единичные показатели (к которым относятся, например, массовые показатели, показатели производительности и т.д.), комплексные показатели (объединяющие показатели различной физической сущности: удельные приведенные затраты, удельная материалоемкость и т.п.) и интегральные показатели, представляющие собой отношение суммарного полезного эффекта от эксплуатации к суммарным затратам на создание и эксплуатацию машины. В нормативных и методических документах, разработанных в последнее время и регулирующих вопросы управления качеством продукции, может применяться и иная классификация показателей качества.

В условиях конкуренции при продвижении на рынке любого товара, в том числе и технологического оборудования, вместе с техническим уровнем оцениваются и такие факторы, как, например, грамотно организованная система сервисного обслуживания и шеф-монтажа, возможность индивидуальной работы с отдельными клиентами, доверие к торговой марке производителя, возможность и условия предоставления кредита и гарантии, наличие отдельных функций или составных частей, интересующих конкретного клиента (группу клиентов), «мода» на принципиальную схему оборудования, внешний вид, степень и характер автоматизации, предоставление дополнительных услуг, в том числе и возможность конфигурирования оборудования под конкретно взятые условия эксплуатации (предлагаемые модификации и различные комплектации оборудования), дизайн оборудования, его цена, а также эффективное представление в ходе рекламной кампании возможностей предлагаемого оборудования. Говоря иными словами, путем объективной оценки сильных и слабых позиций конкретной модели техники на рынке анализируется степень удовлетворения ею потребности отдельно взятой группы покупателей - её конкурентоспособность, которую, учитывая сказанное выше, будем понимать как относительную характеристику рыночной привлекательности конкретной модели технологического оборудования, основанную на сравнении её показателей качества, а также свойств этой модели как рыночного товара и оказываемых при этом дополнительных услуг и получаемых потребителем выгод с аналогичными показателями моделей-конкурентов в аналогичных условиях эксплуатации. Действительно, в условиях конкуренции более привлекательным на рынке может оказываться и технологическое оборудование с менее высокими показателями качества, но, к примеру, более дешевое и с хорошим сервисным обслуживанием. Однако следует особо подчеркнуть, что оценивать конкурентоспособность технологического оборудования корректно только при условии соответствия каждой из рассматриваемых моделей действующим нормам промышленной безопасности, поскольку в противном случае преимущество таких моделей перед конкурентами будет достигнуто за счет частичного или полного игнорирования требований безопасности при эксплуатации, что, разумеется, недопустимо.

С задачей оценки конкурентоспособности технологического оборудования сталкиваются все участники этого сектора рынка и на всех этапах его жизненного цикла: на этапе проектирования и реализации оборудования на рынке, при выборе технологического оборудования для оснащения объектов хранения на этапе разработки их технологических решений, при оценке эффективности использования оборудования и определении направлений его дальнейшей модернизации и, наконец, при принятии решения о снятии данной модели технологического оборудования с производства. Поскольку в условиях рынка основу объективной оценки техники составляет прибыль от её использования, критерий конкурентоспособности технологического оборудования, как коммерческого товара, должен отражать в себе полезный эффект от эксплуатации, затраты на получение этого эффекта за жизненный цикл оборудования и суммарные единовременные затраты. В качестве такого критерия могут рассматриваться критерий NPV - чистый дисконтированный доход (Net Present Value) [5], являющийся интегральным показателем экономического эффекта применения технологического оборудования за весь срок его работы на предприятии с учетом фактора времени, инфляции и инвестиционных рисков. Расчеты критерия при условии, что коэффициент дисконтирования постоянен, а инвестирование осуществляется в течение нескольких лет, производятся по модели:

$$NPV = \sum_{t=0}^T (D_t - Z_t) \frac{1}{(1+E)^t} - \sum_{m=1}^M C_m \frac{1}{(1+I)^m};$$

- где D_t - поступающие доходы от использования техники в году t ;
- Z_t - затраты на эксплуатацию в году t ;
- E - норма дисконта;
- T - срок использования оборудования на предприятии;
- C_m - объем инвестиций в году m ;
- I - прогнозируемый средний уровень инфляции.

Чистые денежные поступления от эксплуатации технологического оборудования рассчитывают с учетом динамики эксплуатационных расходов и производительности этого оборудования по мере старения. Смысл критерия NPV заключается в расчете результирующих притоков денежных средств после вычета всех налогов или, иначе, в расчете превышения интегральных результатов от использования технологического оборудования над интегральными затратами, связанными с его эксплуатацией. Если критерий NPV положителен, то использование оборудования при данном коэффициенте дисконтирования эффективно, причем чем больше значение критерия NPV, тем этот эффект значительней. При затруднениях расчетов эффективности применения оборудования по модели критерия NPV можно использовать и другой критерий – дисконтированные чистые расходы.

Но, несмотря на очевидные преимущества, интегральный критерий NPV имеет недостатки. Прежде всего, необходимо указать на то, что критерий NPV, как показатель качества, построенный на стоимостном измерении, не может быть использован в полной мере для оценки конкурентоспособности техники, поскольку в условиях рынка цена оборудования в значительной степени отражает рыночный спрос на него, а стоимость эксплуатационных расходов является коммерческой тайной. Отсюда следует, что для оценки конкурентоспособности техники нецелесообразно отказываться от использования показателей в натуральных единицах измерения (кВт, кг, м, с). Кроме того, расчет критерия NPV представляет собой весьма трудоемкий процесс, требующий значительного объема исходной прогнозной информации, который, однако, можно несколько упростить, используя для оценки эффективности дисконтированные чистые расходы. Другим важным недостатком является тот факт, что критерий NPV не учитывает таких важных показателей качества технологического оборудования как, например, безопасность, эргономичность, наличие спецоборудования, соответствие нормативно-техническим документам, а также некоторых других показателей, значения которых в целом ряде случаев могут быть получены не расчетным или экспериментальным путем, а, к примеру, органолептическими, экспертными или социологическими ме-

тодами. Это значит, что критерий конкурентоспособности технологического оборудования должен принимать во внимание показатели, имеющие различную природу и структуру, а также должен обеспечивать возможность оценки конкурентоспособности по набору показателей, являющихся наиболее существенными с точки зрения интересов отдельно взятой группы потребителей (конкретного потребителя), или зависящих от вида технологического оборудования, условий эксплуатации или других факторов. И наконец, еще одним минусом критерия NPV является его недостаточно наглядное представление, которое не позволяет легко выявить в чем одна модель оборудования превосходит другую, а в чем ей уступает по каждой из групп показателей качества.

Изложенные соображения являются достаточным основанием для того, чтобы предложить определять количественную оценку конкурентоспособности технологического оборудования методом взвешенной суммы, рассчитывая безразмерный коэффициент конкурентоспособности по следующей модели:

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Z_i (W_{ij} X_{ij});$$

где P - коэффициент конкурентоспособности отдельно взятой модели технологического оборудования;

Z_i - коэффициент весомости i-ой группы показателей;

W_{ij} - коэффициент весомости j-го показателя в i-ой группе показателей;

X_{ij} - относительная оценка j-го показателя в i-ой группе показателей в баллах в сравнении с лучшими образцами (принятыми эталонами).

Для оценки конкурентоспособности различных видов технологического оборудования с использованием предложенного безразмерного коэффициента необходимо разработать частные методики, которые учитывали бы общие черты и индивидуальные особенности каждого вида технологического оборудования и включали бы в себя систему взаимосвязанных обязательных (в том числе установленных действующими нормативами) и дополнительных показателей качества («дерево свойств»), их необходимое и достаточное количество для каждого вида технологического оборудования и различных условий эксплуатации, коэффициенты весомости, порядок оценки каждого показателя, шкалы балльных оценок, порядок подсчета обобщенной оценки и её граничные значения. Выбор номенклатуры и типа показателей качества при этом должен определяться поставленными задачами, типом технологического оборудования, а также наличием и возможностью получения объективной информации для определения значений показателей качества, поскольку управленческие решения, основанные на результатах оценки конкурентоспособности технологического оборудования по данным, достоверность которых не обеспечена, приводят в конечном итоге к значительным финансовым потерям. Следует обратить внимание и на необходимость включения в методику оценки конкурентоспособности правил, которые не допустили бы «перекрытия» некоторых резко отрицательных качеств оцениваемого оборудования суммой других его положительных характеристик, что, в свою очередь, также могло бы отрицательно сказаться на достоверности полученной оценки.

Расчет коэффициента конкурентоспособности отдельно взятой модели технологического оборудования для данных условий эксплуатации (конкретной группы потребителей) в рамках предложенной методики ведется по выбранным показателям качества, которые формируются по группам, вносятся в таблицу, один из возможных вариантов которой представлен на рисунке 1, и каждой группе показателей качества, а также каждому показателю качества в отдельности экспертными методами рассчитываются коэффициенты весомости (Z_i и W_{ij} соответственно), дающие возможность наиболее полно учесть предпочтения конкретной группы потребителей или особенности условий эксплуатации, причем при установлении коэффициентов весомости следует исходить из следующего условия:

Показатели качества, разбитые по группам	Z _i	W _{ij}	Балльная оценка значений показателей качества (X _{ij})									
			1	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Группа 1 (3)												
показатель 11 (ij)	0,3	0,2										
показатель 12		0,4										
...	
показатель 1n		0,1										
Группа 2												
показатель 21	0,4	0,7										
показатель 22		0,1										
...	
показатель 2n		0,1										
...
Группа m												
показатель m1	0,1	0,2										
показатель m2		0,3										
...	
показатель mn		0,3										

Рисунок 1 - Таблица анализа конкурентоспособности технологического оборудования

$$\sum_{i=1}^m Z_i = 1; \sum_{j=1}^n W_{ij} = 1 (i = 1 - m);$$

Значения каждого показателя качества оцениваются по 100-балльной шкале, преобразовывая абсолютные количественные значения и качественные характеристики показателей (A_{ij}), представленных в различных единицах измерения, в единые относительные балльные оценки (X_{ij}). Для построения шкал балльных оценок предложенной методикой устанавливаются верхние и нижние границы значений показателей с учетом особенностей каждого вида технологического оборудования. Нижней границей (A_{ниj}) являются значения показателей качества устаревших моделей оборудования, либо такие значения показателей, при которых оборудование с худшими характеристиками не имеет смысла рассматривать с технической или экономической точек зрения, а также по соображениям безопасности его эксплуатации. Верхней границей (A_{виj}) являются значения показателей качества лучших, перспективных («идеальных») моделей оборудования или оптимальные значения соответствующих показателей, рассчитанных для конкретных условий эксплуатации определенного вида технологического оборудования. Значениям показателей верхней границы присваивается высший бал, а значениям показателей нижней границы – низший. Оценка в баллах промежуточных значений показателей качества технологического оборудования может быть найдена следующим образом:

$$X_{ij} = \frac{A_{ij} - A_{ниj}^n}{A_{виj}^n - A_{ниj}^n} 100, \text{ при } A_{ij} < A_{виj}^n;$$

$$X_{ij} = \frac{A_{виj}^n - A_{ij}}{A_{виj}^n - A_{ниj}^n} 100, \text{ при } A_{ij} > A_{виj}^n;$$

Для показателей, имеющих качественную характеристику (таких, например, как уровень сервисного обслуживания, степень доверия к торговой марке и т.п.), можно предложить использовать шкалу с заранее установленными балльными оценками для каждого из уровней качества, например: 10 баллов - низкий уровень, 30 баллов - невысокий, 50 баллов - достаточный, 70 балла - высокий, 90 баллов - очень высокий; а для показателей, характеризующих наличием или отсутствием какого-либо качества (к примеру, наличие у оборудования отдельных устройств, систем или функций), выставлять 100 баллов или 1 балл соответственно. Таким образом, значения показателей качества (A_{ij}) наиболее близкие к оптимальным или к показателям лучших моделей (A_{виj}) получают наиболее высокий балл и наоборот. Иными

словами, чем значение показателя «лучше», тем правее оно располагается в строке таблицы. Рисунок 1 иллюстрирует предложенный метод оценки для двух конкурирующих моделей оборудования по нескольким группам показателей качества.

Имея балльные оценки значений показателей качества рассматриваемых моделей технологического оборудования, для каждой из них подсчитывают коэффициент конкурентоспособности (Р) с учетом весомости каждого из рассматриваемых показателей. При выборе той или иной из конкурирующих моделей технологического оборудования следует отдавать предпочтение той из них, которая имеет наибольший коэффициент конкурентоспособности, иными словами, критерий выбора технологического оборудования можно представить в виде: $P \rightarrow \max$.

Рассчитываемый по предложенной методике коэффициент конкурентоспособности наиболее полно характеризует степень удовлетворения потребителя рассматриваемой моделью технологического оборудования, а также позволяет сделать объективные выводы о степени пригодности того или иного оборудования выполнять свои функции в заданных условиях эксплуатации. Балльные оценки значений показателей качества (X_{ij}), представленные в единой форме (табличной, как это представлено на рисунке 1, или в форме радара) для нескольких конкурирующих моделей технологического оборудования, позволяют легко определить в чем конкретно одна модель превосходит другую, а в чем и насколько ей уступает по всему спектру принятых к рассмотрению показателей качества. Предложенная методика оценки конкурентоспособности технологического оборудования может быть включена в структуру системы менеджмента качества предприятия в виде документированной процедуры, согласно требованиям нормативного документа [2], а также использоваться в корпоративной документации, регулирующей механизмы рассмотрения и отбора коммерческих предложений по поставке технологического оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брауде, В.И. Системные методы расчета грузопольемных машин [Текст] / В.И. Брауде, М.С. Тер-Мхитаров – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1985. – 181 с.
2. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь [Текст] / Госстандарт России.- М.: Из-во стандартов, 2001.
3. ГОСТ Р ИСО 9004-2001. Системы менеджмента качества. Рекомендации по улучшению деятельности [Текст] / Госстандарт России.- М.: Из-во стандартов, 2001.
4. ГОСТ 15467-79*. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения [Текст] / Госстандарт СССР. -- М.: Из-во стандартов, 1990.
5. Косов, В.В. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: (Вторая редакция) [Текст] / М-во эконом. РФ, М-во фин. РФ, ГК по ст-ву, архит. и жил. политике; рук. авт. кол.: Косов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. - М.: ОАО «НПО «Из-во «Экономика», 2000.
6. Схиртладзе, А.Г. Проектирование нестандартного оборудования: учебник [Текст] / А.Г. Схиртладзе, С.Г. Ярушин. – М.: Новое знание, 2006. – 424 с.

Федоров Алексей Валентинович

Тульский государственный университет, г. Тула
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Автоматизированные станочные системы»
Тел.: (4872) 35-18-87
E-mail: nataliya_skvorco@mail.ru

Скворцова Наталия Александровна

Тульский государственный университет, г. Тула
Студент кафедры «Автоматизированные станочные системы»
Тел.: (4872) 55-10-31, 8-910-155-19-53
E-mail: nataliya_skvorco@mail.ru

УДК 658.5(075)

В.В. КУЗЬМИН, В.В. МАРКОВ

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сформулирована актуальность проблемы контроля качества продукции и процессов производства в машиностроении. Показаны отличительные свойства статистических методов контроля качества. Приведено описание семи простых статистических методов контроля качества и отмечены области их применения. Рассмотрен порядок применения статистических методов контроля качества на предприятии

Ключевые слова: *качество, менеджмент, система менеджмента качества, контроль качества, статистические методы контроля качества, машиностроение, семь простых статистических методов контроля качества*

The actual problem of quality control the products and manufacturing processes in the machine-building is formulated. Show the distinctive properties of statistics methods of quality control. Adduce the writing of seven simple's statistics methods of quality control and mark the fields of they application. Consider the order application the statistics methods of quality control on the manufacturing undertaking

Keywords: *quality; management; system quality management; quality control; statistics methods of quality control; machine-building; seven simple's statistics method of quality control*

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ И ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Качество в машиностроении непосредственно связано с обеспечением функционирования предприятия, зависящего от качества руководства и управления (планирование, анализ, контроль). Степень ответственности руководства за качество определяют международные стандарты ИСО серии 9000. Руководство предприятия отвечает за разработку политики в области качества, за создание, внедрение и функционирование системы менеджмента качества, что должно чётко определяться и оформляться документально. В организационной структуре предприятия могут быть предусмотрены специальные подразделения, занимающиеся координацией работ по управлению качеством. Распределение специальных функций управления качеством между подразделениями зависит от объёма и характера деятельности предприятия. Призывы к повышению качества реализуются, когда руководители подразделений относятся к качеству как к образу жизни [1].

Предприятие должно не только заявить о достигнутом уровне качества выпускаемой продукции, но и доказать его достижение. С этой целью на предприятиях организуется *контроль качества* выпускаемой продукции. Если в XIX веке контроль качества продукции был *сплошным*, то уже в первой четверти XX века в промышленности, и, прежде всего, в машиностроении (а точнее, – в военно-промышленном комплексе), дорогостоящий и трудоёмкий сплошной контроль был заменён выборочным контролем качества, основанном на методах математической статистики. В наступившем XXI веке статистический контроль качества используется как для оценки соответствия продукции, так и производственных процессов.

Таким образом, задача внедрения в машиностроении статистических методов контроля качества продукции и производственных процессов является *актуальной*. Цель работы – обзор «инструментов» статистического контроля качества и областей их применения.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Статистические методы контроля качества продукции и процессов производства основаны на применении достижений теории вероятностей и математической статистики. Данные методы позволяют сделать вывод о качестве партии продукции по результатам контроля её малой части (выборки) или параметров технологического процесса производства. Кроме того, статистические методы контроля позволяют прогнозировать динамику производственного процесса, оценивать его настроенность, точность, сходимость и воспроизводимость.

Статистические методы контроля качества имеют ряд достоинств [1]:

- 1) обеспечивают возможность прогнозирования качества продукции и процессов;
- 2) позволяют во многих случаях обоснованно перейти к выборочному контролю и тем самым снизить трудоемкость контрольных операций;
- 3) создают условия для наглядного изображения динамики изменения качества продукции и настроенности процесса производства, что позволяет своевременно принимать меры к предупреждению брака не только контролерам, но и работникам цеха – рабочим, бригадирам, технологам, наладчикам, мастерам.

Статистические методы управления качеством продукции предполагают [1]:

- 1) анализ технологического процесса с целью приведения его к требуемой настроенности, точности и статистически устойчивому состоянию;
- 2) операционный (цеховой) контроль с целью регулирования и поддержания технологического процесса в состоянии, обеспечивающем заданные качественные параметры;
- 3) выборочный статистический приёмочный контроль качества готовой продукции.

Многие из современных статистических методов довольно сложны для восприятия, а тем более для широкого применения всеми участниками процесса. Японские учёные отобрали из всего множества семь «простых» методов. Их заслуга, и в первую очередь, профессора Исикавы, состоит в том, что они обеспечили простоту, наглядность, визуализацию этих методов, превратив их в эффективные инструменты контроля качества (рисунок 1). Данные методы можно понять и эффективно использовать без специальной подготовки.

К семи «простым» статистическим методам контроля качества относятся:

- 1) контрольный листок;
- 2) контрольная карта;
- 3) диаграмма Парето;
- 4) диаграмма стратификации;
- 5) гистограмма;
- 6) диаграмма разброса;
- 7) диаграмма Исикавы (или «рыбий скелет»).

Возможности «семи методов» и области их эффективного применения различны.

Контрольный листок предназначен для сбора и первичной обработки данных о продукции или производственном процессе. Он заполняется на этапе операционного (цехового) контроля изделий непосредственно исполнителем работы. Заполненные контрольные листки служат исходными данными для технологов, которые занимаются анализом данных.

Контрольная карта – график изменения значений контролируемых параметров по партиям или по времени работы (по сменам, декадам, месяцам, кварталам и т.п.). Контрольные карты могут содержать качественные (количество или доля дефектных изделий) и количественные (медиана, среднее арифметическое значение, стандартное отклонение, размах) признаки. Контрольные карты составляют технологи по данным контрольных листков.

Диаграмма Парето служит для анализа данных и оценки доли различных видов дефектов в общем объёме дефектной продукции. Диаграммы Парето также составляются цеховыми технологами или технологами ОГТ по данным контрольных листов.

Диаграмма стратификации (от латинского «страт» – «слой») служит для разделения дефектов по причинам их появления («слоям» или «стратам»). В машиностроении очень широко используется стратификация по методу «4М», когда диаграмму стратификации строят по четырём группам причин появления дефектов:

- 1) человек (man) – дефекты, появление которых обусловлено действиями рабочего;
- 2) машина (machine) – дефекты, вызванные несовершенством или неправильной настройкой технологического оборудования;
- 3) материал (material) – дефекты, вызванные материалами и покупными изделиями;

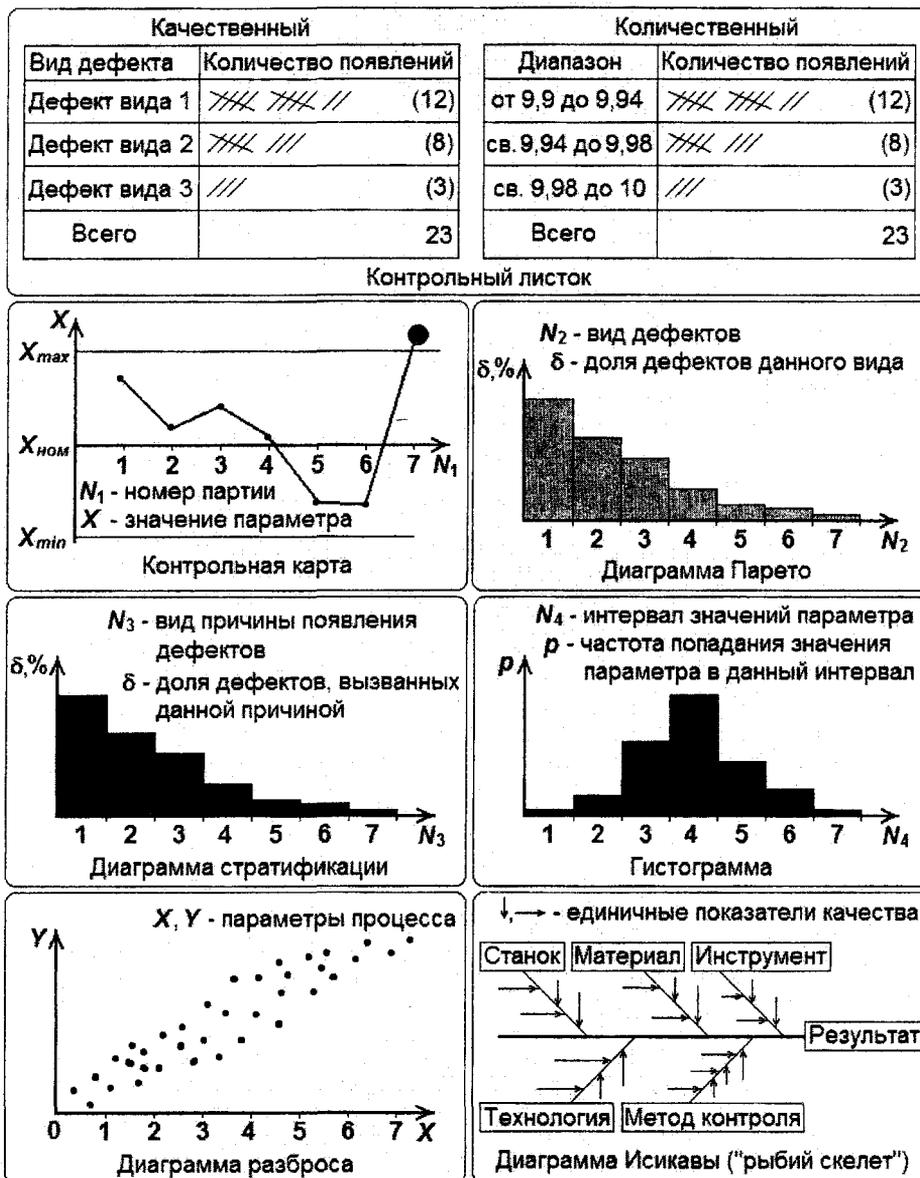


Рисунок 1 – Семь инструментов статистического контроля качества

4) *метод (method)* – дефекты, связанные с особенностями технологии производства или с выбором заведомо непригодного метода контроля качества продукции.

Диаграмма стратификации очень похожа на диаграмму Парето. Отличие заключается только в том, что в первой дефекты группируют по *причинам*, а в последней – по *видам*.

Гистограмма служит для анализа статистических данных. Она позволяет получить общую информацию о воспроизводимости и стабильности технологического процесса. Гистограммы составляются цеховыми технологами по данным контрольных листов. *Диаграмма разброса* служит для установления взаимосвязи между параметрами технологического процесса. В примере, указанном на рисунке 1, взаимосвязь между параметрами X и Y положительная (прямая пропорциональность); взаимосвязь между параметрами может также быть отрицательной или вообще отсутствовать.

Диаграмма Исикавы служит для анализа причин недостаточно высокого уровня качества продукции или процессов. Составляется методом «мозгового штурма» FMEA-командой или комплексной бригадой. Диаграмма Исикавы весьма популярна среди специалистов по качеству, и поэтому имеет несколько названий-синонимов: диаграмма причин и результатов, причинно-следственная диаграмма, «рыбий скелет», «рыбья кость», «рыба качества» и т.д.

Перечисленные семь простых статистических методов контроля качества – не единственные носители статистической информации, применяемые в производственном процессе. Для регистрации статистической информации в машиностроении широко используют разнообразные журналы, в том числе:

- 1) журнал учёта продукции, поступающей на контроль ОТК;
- 2) журнал приёмки продукции;
- 3) журнал контроля технологической дисциплины;
- 4) журнал ОТК по учёту остановок приёмки, уведомлений и предупреждений;
- 5) журнал учёта рекламаций ОТК;
- 6) сопроводительные листы продукции, направляемой после цехового контроля в ОТК;
- 7) статистический паспорт подразделения;
- 8) справочник несоответствий и классификатор несоответствий.

Статистический паспорт подразделения (СП) – это основной документ, регламентирующий порядок применения в данном подразделении предприятия статистических методов контроля качества продукции и процессов. В СП указывают: подразделение, в котором он действует; перечень изделий, на которые распространяется статистическое управление качеством; перечень «критичных» операций технологического процесса, которые подлежат анализу; перечень контролируемых параметров (для оценки настроенности, точности, стабильности и воспроизводимости процесса); формы применяемых статистических «инструментов» и наименование процессов, на которых они используются. Статистический паспорт – это форма отчётности руководства цеха для директора по качеству предприятия.

ПОРЯДОК ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА

Порядок применения статистических методов контроля качества продукции и производственных процессов может быть различным, в зависимости от цели, которая поставлена перед системой менеджмента качества предприятия. Для конкретного технологического процесса не обязательно использовать все методы или журналы. Их может быть меньше, а может быть и больше, так как существуют и другие статистические методы, например, методы оценки качества. Однако можно с уверенностью сказать, что семь простых методов контроля качества являются необходимыми и достаточными статистическими методами, применение которых помогает решить 95% всех проблем, возникающих на производстве [2].

Внедрение семи инструментов контроля качества должно начинаться с обучения этим методам всех участников процесса. Успешному внедрению семи инструментов контроля ка-

чества в Японии способствовало отношению руководителей компании к процессу обучения. Они ставили и продолжают ставить перед собой цель сделать каждого рабочего инженером, а инженеров, не знакомых со статистическими методами, не считать полноценными специалистами. Большую роль в обучении статистическим методам в Японии сыграли кружки качества, в которых прошли обучение рабочие и инженеры большинства японских компаний.

Обучаются не только инженеры и рабочие, но и бизнесмены. По высказыванию известного учёного в области качества Э.У. Деминга, «японский бизнесмен никогда не считает себя слишком старым, чтобы учиться или быть восприимчивым к знаниям» [3].

ВЫВОДЫ

Статистические методы контроля качества в настоящее время применяются в промышленном производстве, при планировании, проектировании, материально-техническом снабжении, маркетинге и на других стадиях жизненного цикла продукции.

Применение статистических методов – весьма эффективный путь разработки новых технологий и контроля качества процессов. Многие передовые предприятия стремятся к их активному использованию и внедряют через производственное обучение.

Статистическое мышление необходимо для каждого участника производственного процесса, а для этого необходимо знать статистические методы, которые за счет своей простоты, достигнутой в семи инструментах статистического контроля качества, доступны для всех. Каждый сотрудник предприятия, используя статистические методы для анализа и контроля процессов, способствует повышению качества и эффективности производства.

Статистические методы контроля качества служат мощным средством не только получения объективной информации, но и познания, в том числе реальных естественных законов. Если естественные науки ограничиваются только пониманием законов, то с помощью статистических методов делается попытка применить эти законы для создания новых материальных ценностей для потребителя наиболее экономичным путём.

В управлении качеством статистический контроль должен дополняться применением знаний естественных законов не только для понимания объектов исследования, но и для разработки мероприятий по повышению качества. Таким образом, статистические методы контроля имеют обширный фронт применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глудкин, О.П. Всеобщее управление качеством [Текст]: Учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин / Под ред. О.П. Глудкина. – М. Радио и связь, 1999. – 600 с.
- 2 Ishikawa, K. What is Total Quality Control. The Japanese Way. Prentice Hall (1985). Русский перевод: Исикава, К. Японские методы управления качеством. – Сокращённый перевод с англ. – М.: Экономика, 1988. – 230 с.
- 3 Нив, Г.Р. Пространство доктора Деминга [Текст] / Г.Р. Нив. – Пер. с англ. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. – 370 с.

Кузьмин Виктор Викторович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
Студент второго курса специальности 220501 «Управление качеством»
Тел. (4862)41-98-76
E-mail: pms35vm@yandex.ru

Марков Владимир Владимирович

Орловский государственный технический университет, г. Орёл
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация»
Тел. (4862) 41-98-76
E-mail: pms35vm@yandex.ru

О.И. ОЛЕЙНИК, Н.В. УГЛОВА

ИНСТРУМЕНТАРИЙ ВИЗУАЛЬНОГО АНАЛИЗА В МОНИТОРИНГЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

*«Качество должно быть встроено в технологию,
а не обеспечено контролем»*

Э. Деминг

Одним из принципов процессного подхода в менеджменте качества является установление причины возникшей проблемы и ее характера. Для этой цели в производстве разработаны способы непрерывного или последовательного «мониторинга с измерениями»

Ключевые слова: качество продукции, мониторинг, измерение

*«Quality must be built into the technology,
but not monitored»*

E. Deming

One of the principles of process approach in quality management is to establish the causes of the problem and its nature. For this purpose, the production methods developed by continuous or sequential «monitoring measurements»

Keywords: quality of production, monitoring, measurement

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проблема текущего мониторинга качества продукции в процессе ее производства всегда остро стояла перед производителями. Если под мониторингом качества понимать не только непосредственную проверку пригодности выпускаемого изделия, но и наблюдение за тенденциями изменения качества, то поставленная задача представляется достаточно трудоемкой. Для решения подобных вопросов в условиях современного производства менеджеры по контролю качества используют методики и процедуры, основанные на статистическом анализе характеристик изделий. Одним из таких инструментов являются незаменимые при мониторинге качества продукции контрольные карты.

До сравнительно недавнего времени статистические методы на производстве были ориентированы на расчеты вручную, и о применении методов многомерного статистического анализа вопрос не стоял. Использование компьютерной техники и современных программных продуктов позволяют обеспечить надежный контроль технологического процесса с учетом множества коррелированных показателей качества непосредственно в производственных условиях, а при наличии электронных контрольно-измерительных устройств с соответствующим интерфейсом - в режиме реального времени.

Вмешательство в технологический процесс для настройки требуется тогда, когда выпускаемая продукция еще удовлетворяет техническим требованиям, но статистические показатели процесса свидетельствуют о наличии случайных воздействий. Практический инструмент для решения вопроса о необходимости такого вмешательства - контрольная карта - была предложена У. Шухартом: сигнал о разладке процесса подается при выходе контролируемого показателя за некоторую пороговую границу [1].

Сегодня можно выделить два направления совершенствования менеджмента качества в производстве:

– быстрота реагирования на изменение параметров процесса и характеристик качества;

– наиболее полный и эффективный анализ объема получаемых данных.

Совмещение, объединение этих направлений позволило бы получать наилучший результат, но это труднодостижимо. Для кардинального решения вопроса контроля и регулирования представляется интересным более широкое использование программы STATISTICA.

Общий подход к текущему контролю качества достаточно прост. В процессе производства проводятся выборочные измерения изделий. После этого на графике (карте) строятся диаграммы изменчивости выборочных значений плановых спецификаций в выборках, и рассматривается степень их близости к заданным значениям. Если диаграммы обнаруживают наличие тренда выборочных значений или оказывается, что выборочные значения находятся вне заданных пределов, то считается, что процесс вышел из-под контроля, и предпринимаются необходимые действия для того, чтобы найти причину его разладки.

Если контролируемые показатели качества оказываются зависимыми, использование независимого контроля отдельных показателей может привести к значительным погрешностям. Тогда предлагается методика многомерного статистического контроля показателей качества технологического процесса, включающая четыре этапа:

1 предварительный анализ обучающей выборки на стадии отлаженного процесса с целью определения статистических характеристик процесса, выбора средств контроля и определения их параметров; при необходимости на этом этапе строятся регрессионные зависимости между показателями качества и анализируются свойства регрессионных остатков;

2 мониторинг технологического процесса по оперативным данным (результатам наблюдений) с использованием выбранных статистических инструментов;

3 диагностика процесса на наличие нарушений: определение вида нарушения и показателей качества, с которыми связано нарушение; информация о состоянии процесса поступает из блока мониторинга; информация об опасных неслучайных структурах, характерных для данного процесса поступает из блока предварительного анализа; в свою очередь из блока диагностики информация об отсутствии нарушений поступает в блок предварительного анализа для периодической корректировки статистических характеристик;

4 блок поддержки принятия решения: требуется остановка процесса или возможно продолжение работы; информация о наличии или отсутствии нарушений поступает из блока диагностики; из блока предварительного анализа вводятся данные о воспроизводимости процесса и степени опасности неслучайных структур различного вида; для поддержки принятия решения используется аппарат нечеткой логики.

Программный комплекс многомерного статистического анализа и контроля предназначен для контроля до десяти показателей качества технологического процесса, в общем случае коррелированных между собой. Результат работы программы - сообщение о наличии (или отсутствии) нарушений процесса на базе компьютерного статистического анализа данных по результатам мониторинга процесса и рекомендации по управляющему воздействию на технологический процесс [2].

КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ

Для контроля качества по непрерывному признаку (анализа изменчивости параметров) обычно применяются \bar{X} -bar, R или S карты. На \bar{X} -bar карту наносятся значения выборочных средних для того, чтобы контролировать отклонение непрерывной переменной от среднего значения. На контрольную R-карту наносятся значения размахов выборок для контроля за степенью изменчивости непрерывного параметра, на S и S₂ картах строятся соответственно графики выборочных стандартных отклонений и дисперсий. Пример визуального контроля качества на основе \bar{X} -bar и R- карт приведен на рисунке 1 [3].

Данный пример демонстрирует контрольные карты «хорошего» процесса. Точки на обеих контрольных картах находятся внутри контрольных пределов. При этом не наблюдается ни систематических смещений (трендов), ни каких-либо других признаков выхода процесса из-под контроля: точки обеих карт равномерно (во всяком случае, на основе визуального анализа) колеблются относительно соответствующих средних линий.

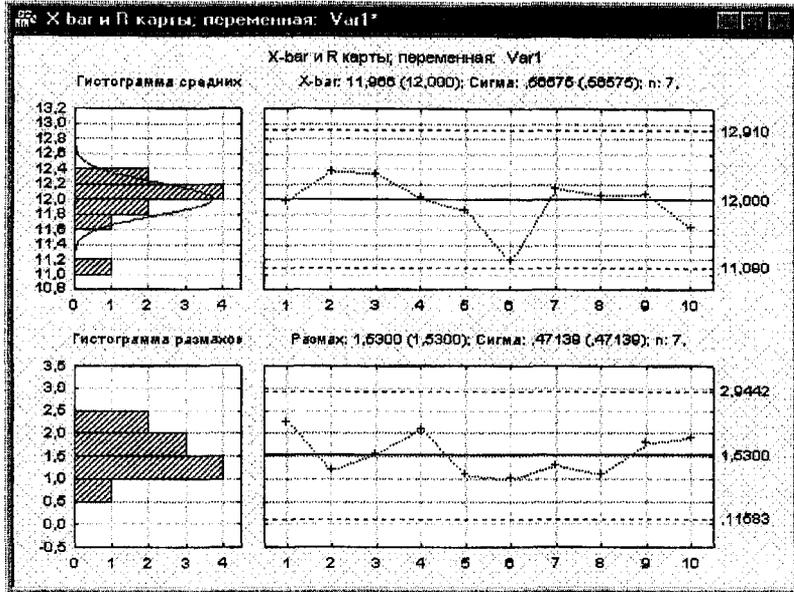


Рисунок 1 – X-bar и R- карты

Среднее значение шестой выборки находится достаточно близко к нижнему контрольному пределу, однако на фоне общей положительной картины, это не является тревожным событием. Управляемость процесса также подтверждается хорошей подгонкой гистограмм наблюдаемых выборочных средних и размахов теоретических нормальных распределений (гистограммы в левой части рисунка).

В следующем примере на рисунке 2 можно наблюдать наличие выбросов на X-бар карте и их отсутствие на карте размахов.

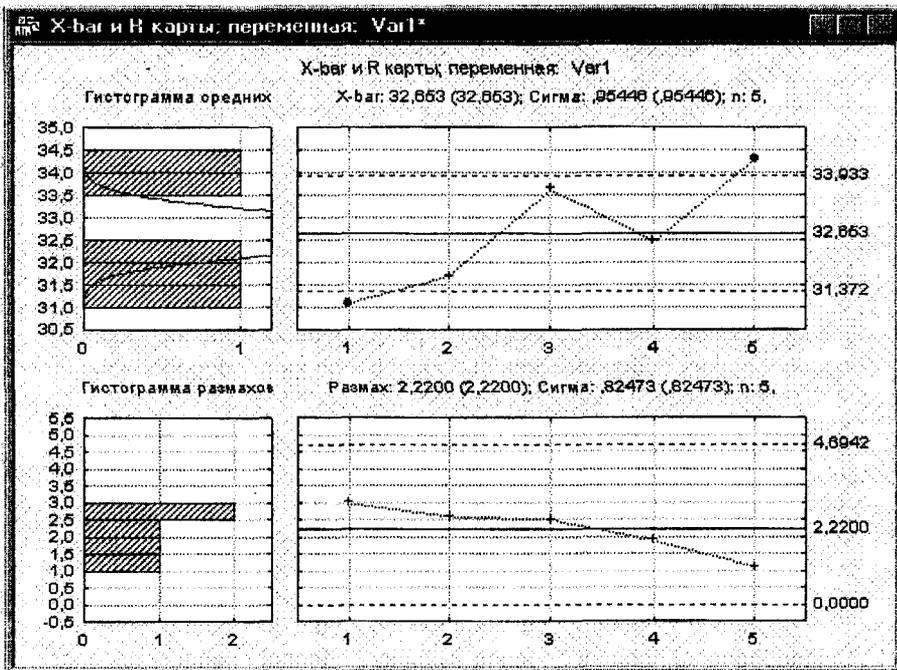


Рисунок 2 – X-bar и R- карты

Однако наиболее показательным результатом в данном примере является наличие заметного тренда на обеих картах: положительного на карте средних и отрицательного на карте размахов. Систематическое снижение значений выборочных размахов означает сходимость процесса (уменьшение разброса значений). Казалось бы, это – положительное явление. Но, при положительном тренде значений средних, процесс, скорее всего, сойдется к значению, лежащему вне контрольных пределов. В итоге, в скором времени, все измерения исследуемого параметра могут оказаться вне значений спецификаций.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПО АТТРИБУТУ

Другим типом контрольных карт являются карты по альтернативному признаку (аттрибуту) – например, по числу дефектных деталей в партии, по числу отклонений характеристик изделия от стандарта в расчете на выборку.

Преимущество контрольных карт по альтернативному признаку состоит в возможности быстро получить общее представление о различных аспектах качества анализируемого изделия; то есть, на основании различных критериев качества инженер может сразу принять или забраковать продукцию. Контрольные карты по альтернативному признаку иногда позволяют обойтись без применения дорогих точных приборов и требующих значительных затрат времени для измерительных процедур.

По сравнению с контрольными картами по альтернативному признаку, карты для непрерывных переменных обладают большей чувствительностью. Благодаря этому, контрольные карты для непрерывных переменных могут указать на существование проблемы ухудшения качества, прежде чем в потоке продукции появятся настоящие бракованные изделия, выделяемые с помощью контрольной карты по альтернативному признаку. Контрольные карты для непрерывных переменных можно считать предвестниками проблем ухудшения качества, которые предупреждают об их наличии задолго до того, как в процессе производства резко возрастет доля бракованных изделий.

Для контроля качества продукции по альтернативному признаку обычно используются следующие типы карт: С-карта, U-карта, Np-карта, P-карта.

Контрольные пределы для Np- и P-карт рассчитываются на основе биномиального распределения. Поэтому данный тип карт должен использоваться в том случае, когда обнаружение дефекта не является редким событием (например, происходит более чем у 5% проверенных единиц продукции). На U- и P-картах отображается относительная частота дефектов, то есть отношение числа обнаруженных дефектов к числу проверенных единиц продукции. На рисунке 3 представлен пример P-карты по аттрибуту.

На основе визуального анализа графика можно заключить, что в данном процессе наблюдается значение вне контрольных пределов в последней выборке (80% брака), а также можно наблюдать систематическое увеличение процента бракованных изделий.

При использовании С- и U-карт принимается предположение о том, что дефекты контролируемой характеристики продукции встречаются сравнительно редко и контрольные пределы для данных типов карт рассчитываются на основе свойств распределения Пуассона (распределения редких событий). При этом на С- и Np-картах отображается число дефектов (в партии, в день, на один станок).

На примере рисунка 4 на С-карте наблюдается выброс (первая выборка).

Однако соответствующие статистики по остальным выборкам находятся в рамках контрольных пределов. Таким образом, на основании этой карты, исключив первую выборку, можно считать процесс управляемым. Если проблемная выборка отражает начало реального технологического процесса, то, скорее всего, ее неудовлетворительное качество связано с первоначальной настройкой процесса. В этом случае рекомендуется провести дополнительный анализ качества продукции, выпущенной на начальном этапе и, исключив имеющийся выброс, признать процесс управляемым.

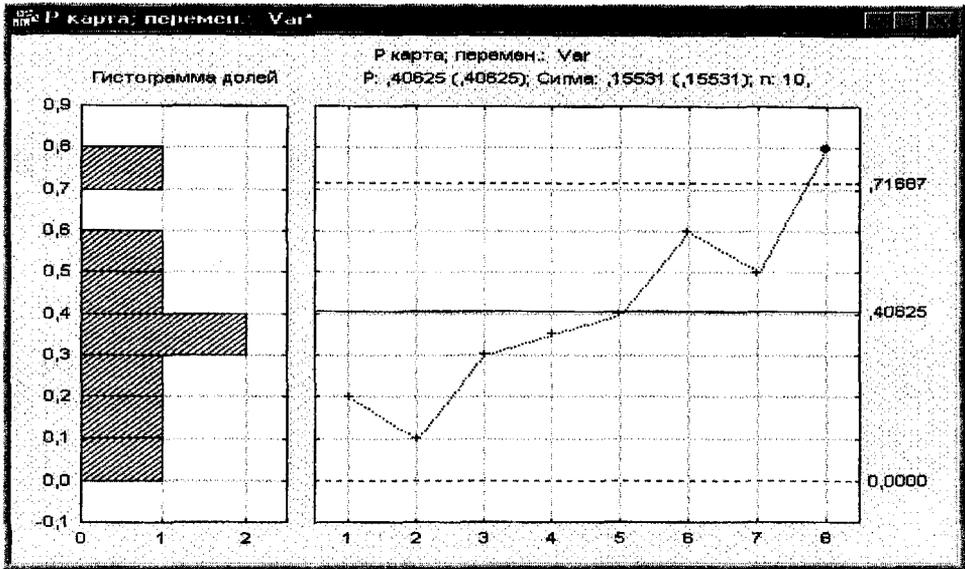


Рисунок 3 – Р-карта

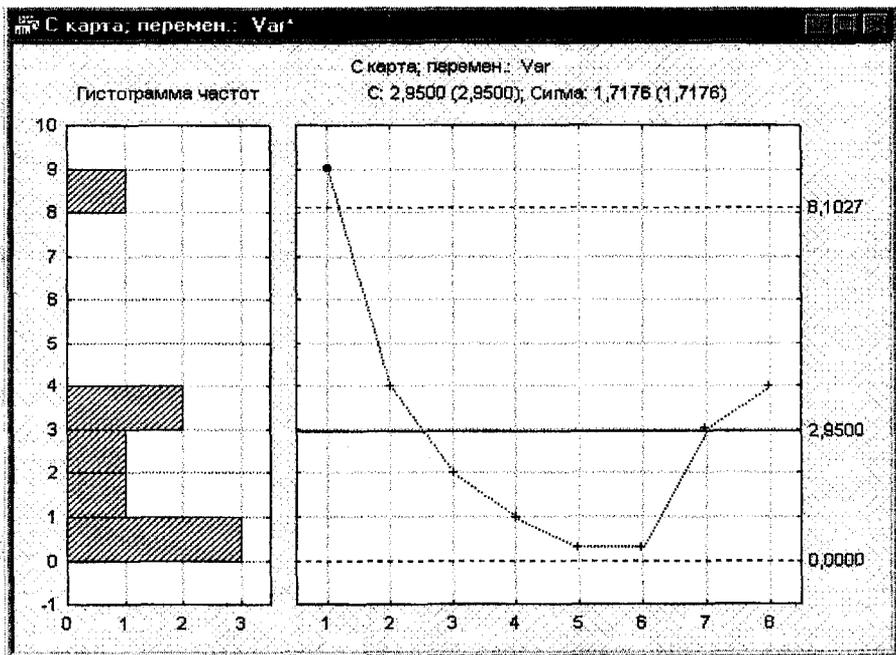


Рисунок 4 – С-карта

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ

Оценка качества изготовления готовой продукции - имеет фундаментальное обоснование и решается на основе методов статистического приемочного контроля. Определенный недостаток этих методов в условиях функционирования автоматизированных систем управления технологическими процессами заключается в отсутствии возможности оперативного вмешательства в технологический процесс в случае неудовлетворительных результатов контроля, так как процедура приемки готовой продукции требует значительных затрат времени. В STATISTICA методы выборочного контроля реализованы в модуле Анализ

процессов. Он включает обширный набор технологий, таких как анализ пригодности процесса, анализ повторяемости и воспроизводимости измерений, анализ Вейбулла, выборочных планов и компонентов дисперсии для случайных эффектов [4].

ВЫВОД

Целью внедрения компьютерной системы контроля качества является снижение затрат на обеспечение достаточно высокого уровня качества. При этом доступные меры можно разделить на две группы - превентивные и корректирующие.

Первые позволяют улучшить процесс еще до возникновения проблем с качеством, выявив потенциальные источники проблем. Вторые используются для оперативного обнаружения и устранения негативных факторов.

Помимо этого, хорошее качество продукции стимулирует возникновение других источников прибыли:

- 1) Снижение потребностей в ресурсах из-за повышения эффективности их использования.
- 2) Повышение скорости выполнения заказов.
- 3) Снижение затрат на ремонт оборудования.
- 4) Повышение эффективности труда сотрудников, заинтересованных в освоении новых методов и работе на современном предприятии.
- 5) Хорошая репутация производителя. Это вызывает увеличение принадлежащей доли рынка.

Таким образом, следует отметить, что эффективность применения инструментария визуального анализа в мониторинге качества достаточно высока. Используя подходящие средства графического отображения, человеческий глаз способен отлавливать признаки ухудшения качества и тревожные тенденции в режиме поточного конвейерного производства.

При этом мощный аналитический пакет, такой как STATISTICA, способен взять на себе практически всю работу по обнаружению признаков разладки технологического процесса в on-line режиме, оставив оператору лишь анализ наиболее изощренных критериев визуальной проверки качества (малых трендов).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Певзнер, М.З. Возможности статистического мониторинга в непрерывном производстве [Текст] / М.З. Певзнер, – Методы менеджмента качества, 2009. – № 11. – с. 44–48.
2. Качалов, В.А. Что такое «мониторинг» и «измерение процесса» [Текст] / В.А. Качалов, - Методы менеджмента качества, 2008. – № 1. – с. 40–45.
3. ГОСТ Р ИСО/ТО 10017-2005. Статистические методы. Руководство по применению в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001 [Текст]. – М.: Издательство стандартов, 2005. – 35 с.
4. Боровиков, В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов: 2 – е изд. [Текст] / В.П. Боровиков, – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

Углова Нина Владимировна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение метрология и сертификация»
Тел. (4862) 41-98-76
E-mail: olgunya2008.00@mail.ru

Олейник Ольга Игоревна

Орловский государственный технический университет, г. Орел
Студентка группы 51-УК, кафедра «Приборостроение метрология и сертификация»
Тел. (953)-6138805
E-mail: olgunya2008.00@mail.ru

Адрес учредителя:

Орловский государственный технический университет
302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 29
(4862) 43-48-90
www.ostu.ru
E-mail: nmu@ostu.ru

Технический редактор
Тюхта А.В.
Компьютерная верстка
Воронков А.В.

Подписано в печать 19.04.2010 г.
Формат 60x88 1/8. Усл. печ. л. 8,6.
Тираж 500 экз.
Заказ № 118

Отпечатано с готового оригинал-макета
Полиграфический центр ИП Киселев С.Н.