

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Карпусь В.Е., Луцкий С.В. (НТУ ХПИ, ХНАДУ, г.Харьков, Украина)

*Bases of the information approach of technology of mechanical engineering from a position of the basic ideas of the theory information are stated.*

Машиностроение является важнейшей отраслью промышленности, определяющей уровень и темпы развития других отраслей. Быстрое развитие машиностроительного производства настоятельно требовало научного разрешения вопросов связанных с изготовлением машин, что привело к возникновению науки о технологии машиностроения. Объектом исследования технологии машиностроения является процесс изготовления машин, а целью исследования – раскрытие связей и закономерностей, действующее в этом процессе [1].

Основными направлениями развития современной технологии машиностроения является: переход от прерывистых, дискретных технологических процессов к непрерывным автоматизированным; эффективное использование машин и оборудования; внедрение безотходной технологии.

Важнейшим показателем характеризующими технико-экономическую эффективность технологического процесса является: расход сырья, полуфабрикатов и энергии на единицу продукции; количество и качество получаемой готовой продукции, изделий; уровень производительности труда; интенсивность процесса; затраты на производство; себестоимость продукции, изделий.

Совершенствование процесса изготовления машины требует исследования отдельных процессов преобразования энергии, вещества и информации, совокупность которых составляет производственный процесс.

Основное понятие теории информации - количество информации. Количество информации технологического процесса, характеризует его упорядоченность, и является одним из важных показателей технико-экономической эффективности этого процесса.

Подход к исследованиям в технологии машиностроения с позиции основных идей теории информации, получил название информационного подхода.

Вероятностная теория информации окончательно нашла свое оформление в работах К.Шеннона. К ее результатам относят результаты решения ряда фундаментальных теоретических вопросов в теории связи, касающихся повышения эффективности функционирования систем связи.

С расширением использования идей теории информации в различных областях науки возникли задачи по разработке принципов оптимизации системы связи в целом, что расширило фундаментальные теоретические исследования в теории информации.

К компетентности информационного подхода относятся все проблемы и задачи, в формулировку которых входит понятие информации. Его предметом считают изучение процессов, связанных с получением, передачей, обработкой, хранением и использованием информации. Такой подход к исследованию понятия информации затрагивает различные науки, в том числе и технологию машиностроения.

Для решения задач информационного подхода в технологии машиностроения, недостаточно использования формулы Больцман – Шеннона для определения количества информации, основанной на знании вероятности наступления некоторого события. Это прежде всего потому, что данное количество информации не отражает физическую сущность события, а любые выводы основанные на вероятностях, нельзя считать информацией о физическом содержании события.

Технологический процесс - это часть производственного процесса, содержащий целенаправленные действия по изменению или определению состояния предмета труда. Состояние предмета труда определяется множеством свойств и их параметрами, которые проявляются в процессе взаимодействия предмета труда с окружающей средой, и отражает физическое содержание процесса. Формализация состояния механической, динамической, электрической, химической и т.д., системы характеризуется  $n$  переменными состояниями (фазовыми переменными)  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ , удовлетворяющими  $n$  дифференциальным уравнениям первого порядка (уравнениям состояния):

$$\frac{dx_i}{dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r), \quad (1)$$

где:  $x_n$  - фазовые переменные,  
 $u_r$  - переменные воздействия среды.

Решение задач совершенствования процесса изготовления требует понимания информации как физической величины в той же степени как энергии и вещества, что позволило бы описывать информационные процессы и предсказывать следствия этих процессов на основе знания причин. Такой подход к понятию информации требует разработки теоретических основ информационного подхода к процессу изготовления машин и раскрытию информационных связей и закономерностей, действующих в этом процессе.

Впервые достаточно четкое предложение о способах измерения количества информации принадлежит Р.Фишеру и Р.Хартли. Измерить количество информации по Хартли значит пересчитать количество возможностей реализации события, одно из которых реализуется в данный момент, и затем взять логарифм от этого количества.

В основе методов исследования технологических процессов с использованием информационного подхода лежит моделирование технологических процессов в информационном пространстве свойств [2].

В информационном пространстве свойств технологический процесс представляет собой последовательность реализованных связей взаимодействующих систем, т.е. средств производства и предметов труда. Физическая сущность взаимодействующих систем обусловливается их состоянием. Состояние систем характеризуется проявлением свойств и их параметрами в процессе взаимодействия и может быть описано множеством причинно следственной цепочки:

$$F(x^A, x^B) = u^A \delta^A x^A \eta^A y^A \theta u^B \delta^B x^B \eta^B y^B \vartheta, \quad (2)$$

где:  $u^A, u^B$  - вход системы  $A$  и  $B$ ;  $y^A, y^B$  - выход,  
 $x^A, x^B$  - фазовые переменные состояния,  
 $\eta^A, \eta^B$  - выходные отображения,  
 $\delta^A, \delta^B$  - переходные отображения,  
 $\theta, \vartheta$  - отражения согласования.

Структура пространства свойств взаимодействующих систем отражается в фрагменте реальности проявления системы (рис.1). Особенность структуры заключается в квантовании значений пределов интенсивности свойств, длительности и протяженности квантами чувствительности восприятия средой свойств объекта в пространстве и во времени.



Рис. 1 Структура пространства свойств.

Использование понятия состояния системы при решении системных задач предполагает, что значения выхода (реакции)  $y$  посредством обратного отображения  $\eta^{-1}$  однозначно характеризует состояние системы в реализованном процессе. Таким образом любой параметр системы (внешний, внутренний) характеризует ее свойство – качественную сторону, а значение параметра – количественную. Процесс смены характеристик системы зависит от изменения состояния системы. Изменение состояния системы формируется посредством информационной связи между взаимодействующими системами. Особенностью модели пространства свойств заключается в структуризации параметров свойств систем во времени и пространстве проявления этих свойств, т.е. в структуризации проявления чувствительности свойств в пространстве и во времени.

Свойства системы структурируются границами интенсивности  $\Lambda \max(Y_{ij})$  и  $\lambda \min(Y_{ij})$  параметров свойств, за пределами которых система воспринимается внеш-

ней средой. Пространство в котором находится система, структурируется масштабом протяженности  $\Gamma_B(K^n)$  и  $\gamma(K^n)$  за пределами которых система воспринимается средой.

Время проявления свойств структурируется масштабом длительности  $\Gamma_B(Tij)$  и  $\gamma(Tij)$ , за пределами которых это свойство воспринимается средой. Использование структуризации интенсивности свойств системы, длительности и протяженности дает возможность рассматривать различный уровень «объектности» взаимодействия системы.

При данном подходе к анализу состояния систем длительность и протяженность являются внутренними характеристиками системы и являются изменчивыми и неоднородными, дискретными и конечными, а их определенность требует указания на диапазоны масштабов длительности и протяженности в отличие от общепринятого подхода описания состояния системы с позиции однородных, непрерывных и бесконечных во времени и пространстве характеристик, определенность которых требует указания на систему отсчета.

Для обеспечения функционирования технологической системы должны быть созданы все необходимые связи, обеспечивающие в масштабах интенсивности, длительности и протяженности проявление заданных свойств объектов, обусловленных целенаправленным информационным процессом.

Состояние технологической системы в информационном пространстве свойств однозначно определяется значением системного информационного показателя [3], а изменение информационного показателя характеризует динамику технологического процесса.

Каждое реализованное свойство технологической системы (внутреннее или внешнее) несет информацию цели системы, количество информации которой равно количеству информации реализованных свойств и их значений, проявившихся в масштабах длительности и протяженности в процессе функционирования технологической системы.

Системный информационный показатель представляет собой функцию :

$$S_j = f(J_E J_x J_T J_K), \quad (3)$$

где :  $S_j$  - значение системного информационного показателя ,

$J_E$  - количество информации которым обладает множество  $E$  свойств систем:

$$J_E = \log_2 n, E = \overline{1n}; \quad (4)$$

$J_x$  - количество информации которым обладает интенсивность  $E$  свойств систем:

$$J_x = \log_2 \frac{\Lambda^*(Yi) - \lambda^*(Yi)}{\Lambda \max(Yi) - \lambda \min(Yi)}, i = \overline{1n}; \quad (5)$$

$J_T$  - количество информации которым обладает длительность свойств:

$$J_T = \log_2 \frac{\sup Ti - \inf Ti}{\Gamma_B(Ti) - \gamma(Ti)}, i = \overline{1n}; \quad (6)$$

$J_K$  - количество информации которым обладает протяженность свойств:

$$J_K = \log_2 \frac{\sup K^n - \inf K^n}{\Gamma_B(K_i^n) - \gamma_H(K_i^n)}, i = \overline{1n}. \quad (7)$$

Текущие значения системного информационного показателя с накоплением при функционировании системы равно:

$$S_J(t) = f(J_E(ti), J_x(ti), J_T(ti), J_{K^n}(ti)), \quad (8)$$

где :

$$J_E(ti) = \sum_{n=1}^d \log_2(d-n), n = \overline{1d}; \quad (9)$$

$$J_x(ti) = \sum_g^\lambda \log_2(\lambda - g), g = \overline{1\lambda}, \lambda = \frac{\Lambda^*(Yi) - \lambda^*(Yi)}{\Lambda \max(Yi) - \lambda \min(Yi)}; \quad (10)$$

$$J_T(ti) = \sum_{S=1}^S \log_2(f - S), S = \overline{1f}, f = \frac{\sup(Ti) - \inf Ti}{\Gamma_B(Ti) - \gamma_H(Ti)}; \quad (11)$$

$$J_{K^n}(ti) = \sum_{K=1}^m \log_2(K - m), m = \overline{1K}, K = \frac{\sup K^n - \inf K^n}{\Gamma_B(K_i^n) - \gamma_H(K_i^n)}. \quad (12)$$

Масса информации, которым обладает система в течение времени  $t_1 < \tau < ti$  равна:

$$mJ(\tau) = \sum_{i=1}^p S_J(ti), i = \overline{1P}. \quad (13)$$

Информационная сила взаимодействующих систем в течение времени  $t_1 < \tau < ti$  равна:

$$FJ(\tau) = mJ^A(\tau) + mJ^B(\tau). \quad (14)$$

Информационная сила представляет количество информации технологического процесса.

Машина в целом, как и ее отдельные механизмы выполняет свое служебное назначение при помощи исполнительных поверхностей или их сочетаний, занимающих определенные положения или относительные движения по тем или законам, в соответствии с техническими требованиями и нормами точности. Исполнительные поверхности технологического оборудования определяют положение заготовки и инструмента, и в процессе их относительного движения формируются поверхности детали (ее положение относительно технологических баз, точности размера, формы, шероховатость). Процесс формирования поверхности детали может быть описан причинно-следственной цепочкой множеств, формула (2) и представляет собой формализацию изменения состояния взаимодействующих объектов (инструмент – заготовка) по циклу спирали.

С позиции информационного подхода технологический процесс формирования свойств детали представляется в информационном пространстве свойств в текущий или заданный момент времени информационным показателем в евклидовом пространстве с осями  $J_x, J_T, J_{K^n}$ . Таким образом формула (2) будет иметь вид :

$$F(X^A, X^B) = Ju^A \delta^A X^A \eta^A Jy^A \theta Ju^B \delta^B X^B \eta^B Jy^B \vartheta,$$

где:  $Ju^A, Jy^P, Ju^B, Jy^B$  - количество информации входов и выходов объектов Аи В.

Особенность технологического процесса как информационного заключается в том что значения количества информации наблюдаемы т.е. подаются измерению. В таком виде количество информации  $Ju^A, Jy^A, Ju^B, Jy^B$  имеет прошлое настоящее и будущее. В зави-

симости от носителя информация может храниться, передаваться, приниматься, обрабатываться, использоваться.

Применение информационного подхода в технологии машиностроения позволяет использование теоретических основ по направлениям:

- 1) расчет массы информации, которой обладает деталь, узел, изделие;
- 2) расчет массы информации, которым обладает технологическое оборудование;
- 3) расчет критерия избыточности информации как отношения массы информации изделия и технологического оборудования и его оптимизация:

$$K_{изб} = \frac{m_{Juzd}}{m_{Job}};$$

- 4) расчет силы информации технологического процесса и его оптимизацию по критерию минимума, что характеризует собой уменьшение затрат и увеличение интенсивности обработки;

5) в интегрированном производстве информационный показатель позволяет создать единую информационную базу на этапах проектирования изделий, технологической подготовки производства, процесса производства, контроля готовой продукции;

6) на этапе проектирования описание конструкции в информационном виде позволяет уйти от информационного записания;

7) на этапе технологической подготовки производства позволяет оптимизировать технологические процессы;

8) на этапе производства информационный показатель может использоваться для разработки программного обеспечения станков с ЧПУ;

9) на этапе контроля изделия позволяет определить ошибку производства как отклонение информации конструкторской документации и продукции;

10) на этапе разработки системы управления производством позволяет использование информационного показателя при идентификации системы.

**Выводы:** Основы информационного подхода в технологии машиностроения позволяют на новой информационной парадигме использовать основные принципы технологической классификации деталей (ГОСТ 2.201-80), оборудования и технологий. Открывают широкие возможности по использованию в интегрированных производствах единой информационной базы для систем автоматизированного проектирования машин и технологических процессов, а также для автоматизации систем технологической подготовки производства и контроля готовой продукции, что позволит снизить трудоемкость процесса изготовления машин, и повысит эффективность производственного процесса.

**Список литературы:** 1. Захаров Б.В., Киреев В.С., Юдин Д.Л., Толковый словарь по машиностроению. Основные термины./ Под.ред. А.М.Дальского. М.: Русс.яз.,1987,-304 с. 2. Луцкий С.В. Моделирование технологических процессов и систем в информационном пространстве свойств.// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Международный сборник научных трудов.- Выпуск 28 , Донецк -2004, ДНТУ. С.98-103. 3. Луцкий С.В. Системный информационный показатель в моделировании технологических процессов и систем.// Сборник трудов XII международной научно-технической конференции. Машиностроение и техносфера XXI века. . Т.2. Донецк – 2005. С.227-232.

Сдано в редакцию 16.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Керекеш Т.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОКРЫТИЙ, СФОРМИРОВАННЫХ МЕТОДОМ МЕХАНИЧЕСКОГО ПЛАКИРОВАНИЯ, ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ШУМА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Леванцевич М.А., Ишин Н.Н., Максимченко Н.Н.  
(ИМИНМАШ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь)

*The results of the testing of bevel gearings with coatings formed on the teeth work profile by mechanical plating of flexible instrument are submitted. It is shown that the greatest effect of the gearings noise decreasing is provided with the coating from bronze-graphite.*

**Введение.** Вибрации и шум, возникающие в процессе эксплуатации различных механических систем, отрицательно влияют на их эксплуатационные характеристики, повышают интенсивность изнашивания подвижных сопряжений, ухудшают качество выпускаемой продукции и оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека. При этом во многих случаях параметры виброактивности изделия во многом определяют его конкурентоспособность. Учитывая, что в различных машинах, станках и технологическом оборудовании широкое распространение получили зубчатые передачи, которые, в большинстве случаев, являются основным источником шума и вибраций, проблема снижения их виброакустической активности является весьма актуальной.

Традиционно решение данной проблемы осуществляют путем повышения точности изготовления и монтажа зубчатых колес, введения демпфирующих элементов между ободом и ступицей, применения, в качестве материалов, сплавов с высокими демпфирующими свойствами и др. Нередко на фланцы колес наносят демпфирующие покрытия из различных металлических и полимерных материалов. Подобные покрытия снижают уровень шума и вибраций зубчатой передачи на 12...20% [1]. По-видимому, положительный эффект по снижению шума и демпфированию колебаний мог бы быть достигнут и в результате нанесения покрытий на рабочие поверхности зубьев колес. Однако данных об эффективности их применения для поглощения и рассеивания энергии колебаний пока недостаточно для принятия решения о целесообразности их практического использования.

**Цель работы** заключалась в оценке возможности применения покрытий на рабочих поверхностях зубьев колес для снижения шума конических зубчатых передач, используемых в качестве встроенного привода шпинделя токарного полуавтомата с ЧПУ мод. 1А734Ф3.

**Методика испытаний.** Для проведения исследований использовали пары конических зубчатых колес с круговым зубом с передаточным числом  $u=1,4$ . Формирование покрытий на рабочих поверхностях зубьев колес осуществляли вращающейся металлической щеткой с проволочным ворсом по методу, описанному в работах [2-4]. Для нанесения покрытий использовалась вращающаяся металлическая щетка с ворсом из гофрированной стальной проволоки (ст. 65Г). Диаметр и ширина щетки составляли соответственно 125 мм и 10 мм. Диаметр и вылет ворса соответственно 0,25 мм и 20 мм. Относительная скорость скольжения ворса щетки относительно поверхности обрабатываемой детали варьировалась, в зависимости от вида наносимого материала, в пределах от 35 до 70 м/с. Количество проходов щетки – 4...6. Толщина сформированных покрытий не превышала 5...10 мкм.

В качестве материала для нанесения однослойных покрытий использовали бронзографит и бронзу типа БрОС. Двухслойные покрытия формировали двух видов: из последовательно нанесенных слоев меди и баббита; из последовательно нанесенных слоев латуни и фторопласта.

На рис. 1 показана испытываемая коническая пара и процесс нанесения покрытия на зубья одного из колес.



Рис. 1. Размещение конической пары на шумообкатном станке (а) и процесс нанесения покрытия на зубья шестерни (б)

Замеры уровня шума (методом сравнительных испытаний) зубчатых передач без покрытия и с покрытием производились на шумообкатном станке модели 5Б725 Саратовского завода зубострогальных станков. Испытания велись без смазки, при двух скоростях вращения шпинделя:  $618 \text{ мин}^{-1}$  и  $1250 \text{ мин}^{-1}$  и незначительной нагрузке, обеспечивающей безотрывную работу зубьев при пересопряжении. Исследования проводились следующим образом: новая зубчатая пара устанавливалась на шумообкатной станок и производилась запись шума (микрофон располагался в вертикальной плоскости в 0,25 м от зоны зацепления). Затем зубчатые колеса снимались с оправок станка и на рабочие профили зубьев обоих колес наносилось покрытие, после чего зубчатая пара устанавливалась на шумообкатной станок и на режимах испытаний производилось измерение шума (3-4 замера на одном режиме испытаний). Каждый вид покрытия апробировался на отдельных парах шестерен. Измерение шума (общий уровень с частотной коррекцией по характеристике А и треть-октавный спектр), а также его анализ проводились с помощью шумомера фирмы «Брюль и Кьер» мод. 2238 «Медиатор» и программного обеспечения «Noise Explorer 7815». При спектральном анализе фиксировались максимальный  $L_{\max}$ , минимальный  $L_{\min}$  и эквивалентный  $L_{\text{eqv}}$  уровень шума в полосе измерения. Уровень шумового фона в цеху при измерениях не превышал 75дБА, что на 12...15 дБА ниже минимального уровня шума, излучаемого испытываемыми зубчатыми парами.

Материал конической пары – сталь 25ХГТ ГОСТ 4543-71, термообработка - нитроцементация  $h 0,8...1,2$ , 57min HRC<sub>3</sub>, ТВЧ (зубчатого венца).

Параметры зубчатых колес были следующие: средний нормальный модуль  $m = 6$ ; число зубьев  $Z_1=25$ ;  $Z_2=35$ ; тип зуба – круговой; осевая форма зуба по ГОСТ 19325-73 – II; угол наклона средней линии зуба  $\beta_n=35^\circ$ ; направление линии зуба:  $Z_1=25$ -правое,  $Z_2=35$ - правое; исходный контур ГОСТ 16200-70; коэффициент смещения  $x_n= 0,11$ ; степень точности по ГОСТ 1758-81 – 7-X; межосевой угол передачи -  $90^\circ$ ; диаметр вершин  $Z_1=233,84\text{мм}$ ;  $Z_2=315,415\text{мм}$ ; масса  $Z_1 = 22 \text{ кг}$ ,  $Z_2 = 36 \text{ кг}$ .

**Результаты испытаний.** Анализ полученных спектров показывает, что нанесенные покрытия в ряде случаев значительно меняют общий характер распределения звуковой энергии по частотам, снижая уровень шума на одних частотах и оставляя его неизменным или даже повышая на других, при этом общий уровень шума  $L_{\text{eqv}}$  может меняться незначительно. На спектрах шума четко выделяются первая зубцовая частота (на срединной частоте 500 Гц) и кратная ей, вторая зубцовая (1000 Гц), на которых



происходит максимальное шумообразование, т.е. уровень шума определяется ударным взаимодействием зубьев при пересопряжении, обусловленным погрешностями изготовления колес.

Для испытываемой зубчатой передачи первая зубцовая частота  $f_z = nZ_1/60$ , где  $n$  - скорость вращения в  $\text{мин}^{-1}$ . Для  $n=618 \text{ мин}^{-1}$  –  $f_z=257,5 \text{ Гц}$ ; для  $n=1250 \text{ мин}^{-1}$  –  $f_z=520,8 \text{ Гц}$ .

Несмотря на то, что каждое покрытие в большей или меньшей степени позволяло снизить уровень шума на различных частотах, наилучший эффект улучшения шумовых характеристик колес с покрытием по сравнению с колесами без покрытия практически во всем спектре частот показало покрытие из бронзографита (рис. 2).

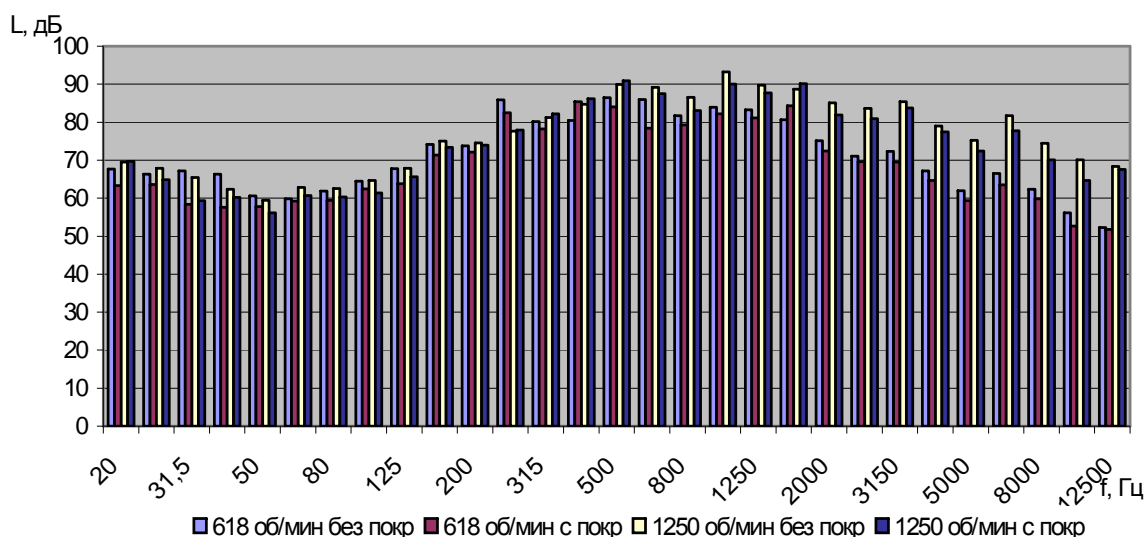


Рис. 2. Уровень шума конической пары с однослойным покрытием из бронзографита

При скорости вращения шпинделя  $618 \text{ мин}^{-1}$ , за исключением нескольких частот, во всем спектре наблюдалось улучшение шумовых характеристик испытываемой конической пары. Максимальное снижение шумовых характеристик конической пары покрытие из бронзографита показало на частотах 31,5 Гц, 40 Гц – 8,8 дБ, на частоте 630 Гц – 7,6 дБ. В среднем величина снижения шума составила 1,7...3,4 дБ.

При скорости вращения шпинделя  $1250 \text{ мин}^{-1}$  для конической пары с покрытием из бронзографита максимальное снижение шума составило 6,1 дБ на частоте 31,5 Гц; 5,4 дБ на частоте 10000 Гц. При этом весь спектр частот можно разбить на три диапазона, на которых наблюдалось улучшение или ухудшение шумовых характеристик. В диапазоне частот 25...200 Гц зарегистрировано снижение уровня шума в среднем на 2,1...3,3 дБ. После этого в диапазоне частот 250...500 Гц наблюдалось повышение уровня шума на 0,3...1,5 дБ, а затем снова снижение шума в диапазоне частот 630...12500 Гц, за исключением частоты 1600 Гц, на которой уровень шума увеличился на 1,4 дБ. В среднем на частотах 630...12500 Гц снижение шума составило 2...4 дБ.

Результаты испытаний зубчатых передач с покрытием «бронза БрОС», «медь+баббит», «латунь+фторопласт» приведены в табл. 1.

Покрытие из бронзы БрОС не показало явного эффекта улучшения или ухудшения шумовых характеристик конической передачи во всем спектре частот. Положительный эффект наблюдался только на отдельных частотах (табл. 1). Так, для скорости вращения шпинделя  $618 \text{ мин}^{-1}$  максимальное снижение шума зарегистрировано на следующих частотах: 25 Гц – 3,6 дБ; 630 Гц – 2,7 дБ; 1000 Гц – 2,3 дБ. В среднем же сни-

жение шума составило 0,7...1,6 дБ. Наиболее заметное увеличение уровня шума по сравнению с передачей без покрытия составило 4,3 дБ на частоте 1250 Гц, 4 дБ на частоте 63 Гц и 2,7 дБ на частоте 80 Гц. На других частотах увеличение шума держалось в пределах 0,6...1 дБ.

Табл. 1. Уровень шума конических зубчатых пар с покрытием

Частота f, Гц	Уровень шума L, дБ											
	Покрытие «бронза БрОС»				Покрытие «медь+баббит»				Покрытие «латунь+фторопласт»			
	618 мин <sup>-1</sup>		1250 мин <sup>-1</sup>		618 мин <sup>-1</sup>		1250 мин <sup>-1</sup>		618 мин <sup>-1</sup>		1250 мин <sup>-1</sup>	
	Без покр.	С покр.	Без покр.	С покр.	Без покр.	С покр.	Без покр.	С покр.	Без покр.	С покр.	Без покр.	С покр.
20	63,7	62,2	73,7	73,9	64,5	64,7	70,5	71,7	60,3	80,7	71,6	71,6
25	67,2	63,6	69,4	67,3	69,8	65,9	69,2	68,8	63,2	72,9	67,2	70
31,5	61,2	62,5	64,2	62,1	61,9	61,1	65,4	65,5	61,6	71	65	68,6
40	59,3	60,3	61,6	62,2	59,6	61	61,7	62,8	57,8	64,8	61,4	64,6
50	63,5	62,4	66	65,3	64,8	66	62,3	66,9	59	64,1	60,7	63,9
63	68,6	72,6	74,4	74,2	68,5	69,9	67,2	68,1	66,7	67,9	64,4	64,1
80	68,5	71,2	70	71,3	67,2	69,1	65,8	65,6	62,1	64,5	64	68,5
100	68,1	67,5	66,5	65,4	65,5	67,4	65,9	66,9	65,3	66,2	63,1	70,2
125	69,8	68,7	68,6	68,6	68,9	68,6	70,1	70	66,4	66,3	69,6	70,3
160	74,1	72,6	75,7	75,5	74,8	74,8	74,2	74,5	71,1	72,8	74,7	76
200	74,4	73,9	75,9	76	72,6	72,5	74,4	75,1	71	72,5	75,1	74,1
250	82,5	81,8	81,1	80,6	84,2	83,8	79,7	79,6	89,4	87	80,8	80,1
315	79,8	78,6	82,8	80,2	78,2	77,8	80,3	80,8	79,3	81,5	81,6	82
400	84,6	85,3	84,2	84,3	82,3	82,1	83,7	82,1	84	83,7	85,6	87,3
500	88	88,7	87,5	87	86,3	87,6	86,6	88,1	89,3	87,5	90,5	89,3
630	85,3	82,6	90,9	90,1	84,3	83,9	87,2	87,3	85,3	84,3	88,2	89,5
800	80,8	81,1	84,1	81,9	79,1	80,2	82,5	81,8	83,7	83,6	87,2	85,6
1000	83,6	81,3	91,9	90	82,8	83,1	91,5	89,9	85	84,5	92,1	93,1
1250	83,2	87,5	90,8	91,3	82,2	86,3	91,9	92,3	85	86,7	90,4	93,4
1600	83	82,5	89,9	88,8	81,3	81,6	87,6	87,7	83	83	89,1	89
2000	74,6	75,5	83,8	84,7	75	77,1	86,3	87	78,8	78,7	87,2	87,1
2500	73	73,6	86	86	72,4	73,3	85,2	84,9	73,2	74,6	85,6	85,3
3150	72,1	70,8	87,5	85,4	71,3	71,8	85,9	85,4	73,3	74,3	88,2	87,6
4000	66,5	64,9	80,2	80,2	67,1	66	80	80,4	67,8	69,7	81,3	81,4
5000	62,1	60,5	75,6	74,3	62,3	62,7	74	74,9	63,2	65,6	78,2	77
6300	64,5	64,7	78,6	78,5	63,2	66,7	77,8	80,7	68,5	69,4	83,8	83,2
8000	59,5	59,1	72,2	72	59,8	61,3	70,9	71	58,3	64,9	75,5	72,7
10000	54,3	53,7	67,3	66,7	55,8	56,4	68	68,9	56,6	59,3	70,5	69,8
12500	52,2	52,3	65,8	66	53,7	54,6	65,3	66,3	52,7	55,3	66	67,4

Для скорости вращения шпинделя 1250 мин<sup>-1</sup> эффективное влияние покрытия из бронзы на уменьшение шума проявилось на частотах 25; 31,5; 315; 800; 1000 и 3150 Гц. Снижение уровня шума при этом составило 1,9...2,6 дБ. Максимальное превышение уровня шума наблюдалось на частотах 80 Гц (увеличение на 1,3 дБ) и 2000 Гц (увеличение на 0,9 дБ). В среднем же превышение уровня шума составляло 0,2...0,6 дБ.

Использование двухслойного покрытия из последовательно нанесенных слоев меди и баббита привело к незначительному снижению шума на отдельных частотах (табл. 1).

При скорости вращения шпинделя  $618 \text{ мин}^{-1}$  максимальное снижение шума составило 3,9 дБ на частоте 25 Гц; при скорости  $1250 \text{ мин}^{-1}$  – 1,6 дБ на частотах 400 и 1000 Гц. В среднем же на обеих скоростях вращения снижение шума составило 0,2...1,1 дБ, в то время как среднее значение превышения уровня шума передачи с покрытием по сравнению с конической парой без покрытия лежало в диапазоне 0,5...1,9 дБ. Максимальное же увеличение шума достигало 4,6 дБ. Очевидно, что покрытие «медь+баббит», нанесенное на зубья шестерен, привело к ухудшению шумовых характеристик конической передачи.

Покрытие из последовательно нанесенных слоев латуни и фторопласта также не привело к явному снижению шума зубчатой передачи. При этом, в отличие от предыдущих покрытий, влияние покрытия «латунь+фторопласт» на шумовые характеристики заметно различалось при скорости вращения  $618 \text{ мин}^{-1}$  и  $1250 \text{ мин}^{-1}$  (табл. 1).

При скорости вращения  $618 \text{ мин}^{-1}$  увеличение шума передачи по сравнению с шумом передачи без покрытия было ярко выраженным практически во всем спектре частот, особенно в диапазоне низких частот 20...50 Гц. В этом диапазоне превышение уровня шума постепенно уменьшалось от максимальной величины 20,4 дБ до 5,1 дБ. На остальных частотах увеличение уровня шума в среднем составило 0,9...2,7 дБ. Заметное снижение уровня шума зафиксировано только на частоте 250 Гц – 2,4 дБ и 500 Гц – 1,8 дБ. В диапазоне частот 400...1000 Гц наблюдалось снижение шума, однако величина его 0,3...1,0 дБ не сопоставима с превышением шума на других частотных диапазонах.

При скорости вращения  $1250 \text{ мин}^{-1}$  также заметного улучшения шумовых характеристик не зафиксировано, однако увеличение шума носит не столь резкий характер, как при скорости  $618 \text{ мин}^{-1}$ . Можно выделить два диапазона частот, в которых наблюдалось снижение шума: 1600...3150 Гц – 0,3...0,6 дБ; 5000...10000 Гц – 0,6...1,2 дБ. Максимальное снижение шума на 2,8 дБ было на частоте 8000 Гц, также на частоте 800 Гц уровень шума снизился на 1,6 дБ. В то же время увеличение уровня шума в среднем составило 1,4...3,0 дБ, максимальное – 7,1 дБ на частоте 100 Гц, 4,5 дБ на частоте 80 Гц.

**Выводы.** На основании результатов испытаний конических зубчатых передач можно сделать вывод, что покрытия из различных материалов, сформированные на рабочем профиле зубьев колес, в ряде случаев значительно меняют общий характер распределения звуковой энергии по частотам, снижая уровень шума на одних частотах и оставляя его неизменным или даже повышая на других, при этом общий уровень шума передачи, как правило, меняется незначительно. Эта особенность может быть использована при необходимости уменьшения уровня энергии колебаний на определенных частотах спектра, для исключения резонансных явлений в присоединенных конструкциях, что может приводить к значительному снижению шума конструкции в целом.

Эффективность применения метода механического плакирования гибким инструментом для снижения шума конических зубчатых передач в значительной степени зависит от материала покрытия. Из испытываемых видов покрытия наилучший результат показало покрытие из бронзографита. Снижение шума передачи по общему уровню, в зависимости от скорости вращения, составило от 1 до 2дБА, а по отдельным спектральным составляющим оно достигало 6...8дБА.

### Список литературы:

1. Папшев Д.Д. Технологические методы повышения надежности и долговечности деталей машин поверхностным упрочнением. – Куйбышев, 1983. 2. Белевский Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом. – Магнитогорск: Лицей РАН, 1996.- 231 с. 3. Анцупов В.П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. - 242 с. 4. Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н., Зольников В.Г. Повышение эксплуатационных свойств трибосопряжений нанесением покрытий металлическими щетками // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. - 2005. - № 1. - С. 67-72.

Сдано в редакцию 10.05.06

Рекомендовано д.т.н., проф. Тока А.

## АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ СТАНИН ТОКАРНЫХ И ТОКАРНО-ДАВИЛЬНЫХ СТАНКОВ МКЭ

**Маковецкий А.В., Бабин. О.Ф.** (ДГМА, г.Краматорск, Украина)

Одним из основных требований при проектировании станин токарных станков средних размеров является ограничение упругих перемещений под действием силовых факторов, возникающих в работающем станке, т.е. требование жесткости.

Для станин токарных станков в настоящее время используются горизонтальные, вертикальные и наклонные компоновки открытого типа. Существуют также ломаные компоновки при двухсуппортном исполнении, когда направляющие верхних и нижних суппортов расположены в разных плоскостях; при этом любое перемещение суппорта в одном направлении отражается на точности перемещения второго суппорта в ином направлении.

Обеспечение точности и производительности токарных станков зависит от выбора конструкции станины и определяется тремя критериями:

- минимумом относительных колебаний формообразующих узлов в зоне резания, что определяет точность и производительность обработки;
- минимум относительных тепловых смещений формообразующих узлов, что определяет точность обработки;
- минимум давлений на рабочих гранях направляющих, что определяет точность и параметрическую надежность обработки [1].

В данной работе предложена компоновка для токарных и токарно-давильных станков повышенной жесткости, а именно рамная. Расчет таких станин в литературе не рассматривался; это связано с тем, что по схеме расчета эти станины близки к обычным горизонтальным станкам, но так как жесткость вертикальных элементов станины достаточно велика, то их деформации можно не рассматривать [2].

Оценка упругой системы станины производилась в статике с помощью анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ).

Точность обработки зависит от взаимного расположения и размеров направляющих, от массы узлов станка и распределения этих масс, а также от расположения узлов относительно направляющих и т.д. При линейной компоновке двухсуппортных станков один из суппортов работает на прижим, другой на отрыв, что