



**ДОНЕЦКИЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И  
СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Международный  
сборник научных трудов**

**ВЫПУСК 1, 2 (46)**



**ДОНЕЦК - 2013**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

## **ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ І СИСТЕМИ МАШИНОБУДУВАННЯ**

Міжнародний збірник наукових праць

Заснований у листопаді 1994 році

Виходить 4 рази на рік

**Випуск 1, 2 (46)**

**Донецьк – 2013**

Публікується відповідно до рішення Вченої Ради Донецького національного технічного університету (протокол № 2 від 22 березня 2013 р.)

У міжнародному збірнику наукових праць наведені деякі питання теорії та практики обробки виробів прогресивними методами, показані досягнення та шляхи розвитку технологічного обладнання, оснащення, металорізального інструмента та нанесення спеціальних покриттів на вироби машинобудування. Розглянуті окремі аспекти автоматизації виробничих процесів і надійності технологічного обладнання. Висвітлені сучасні проблеми матеріалознавства у машинобудуванні.

В даному збірнику друкуються вчені та провідні фахівці із України, країн ближнього та далекого зарубіжжя. Призначений для науково-технічних робітників, ІТР і спеціалістів у галузі машинобудування.

**Засновник та видавець** – Донецький національний технічний університет

Видається при сприянні **Міжнародного союзу машинобудівників**

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:** Мінаєв О.А. (голова, Україна), Михайлов О.М. (заст. голови, Україна), Іщенко О.Л. (секретар, Україна), Бахадіров Г.А. (Узбекистан), Богуславський В.О. (Україна), Бутенко В.І. (Росія), Бухач А. (Польща), Грубка Р.М. (Україна), Гусев В.В. (Україна), Івченко Т.Г. (Україна), Кілафатова Л.П. (Україна), Коваленко В.І. (Україна), Керекеш Т. (Румунія), Курбанов Х.К. (Туркменістан), Малишко І.О. (Україна), Медведєв В.В. (Україна), Мельникова О.П. (Україна), Муску Г. (Румунія), Навка І.П. (Україна), Новіков М.В. (Україна), Петраков Ю.В. (Україна), Парасків Д. (Румунія), Прутяну О. (Румунія), Родованович М. (Сербія), Седуш В.Я. (Україна), Сімеєнченко А.К. (Україна), Скідан І.А. (Україна), Слетіняну Л. (Румунія), Сулов А.Г. (Росія), Тока О. (Молдова), Христафорян С.Ш. (Вірменія), Чернишов Є.О. (Україна), Шевченко Ф.Л. (Україна).

Адреса редакційної колегії: Україна, 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, ДонНТУ, кафедра ТМ. Тел./Факс: +38 062 305-01-04, E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)  
<http://donntu.edu.ua>

Збірник зареєстрований в Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Свідоцтво: серія КВ № 7381 от 03.06.2003 р.

Збірник включено до нового Переліку наукових фахових видань України № 1-05/6 від 16.12.2009 р. (Бюл. НАК №1, 2010 р.), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

© Автори статей, 2013

ISSN 2073-3216 © ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», 2013

**Г.Н. Аббасова**, к-т техн. наук, доц.

Азербайджанский Технический Университет, Азербайджан  
Тел.: +994 (050) 3182828; E-mail: [govhar.abbasova@gmail.com](mailto:govhar.abbasova@gmail.com)

## ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИИ И МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

*В статье рассматриваются особенности стратегии и механизма управления качеством машиностроительной продукции в Азербайджане. Установлено, что повышение и обеспечение качества и конкурентоспособности машиностроительной продукции в условиях рынка возможно при наличии адекватного технико-технологического и организационно-экономического механизма. Такой механизм, построенный на базе системного подхода, позволяет позитивно влиять на все факторы и условия, формируемые качества продукции и ее конкурентоспособность. Ключевые слова: стратегия, продукция машиностроения, механизм управления качеством, конкурентоспособность*

### 1. Введение

Для повышения качества и конкурентоспособное продукции машиностроения в Азербайджане в последние годы предприняты много усилий, однако все они не привели еще к существенным результатам. Очевидно, что необходим соответствующий эффективный механизм управления качеством [1], который можно рассматривать как совокупность технологических и экономических компонентов, обеспечивающих успешное функционирование машиностроительного предприятия. Такой механизм должен обеспечивать в рамках системного подхода управление качеством продукции (УКП) и реализацию эффективных целенаправленных воздействий на все факторы, от которых зависит качество и конкурентоспособность продукции [2, 3].

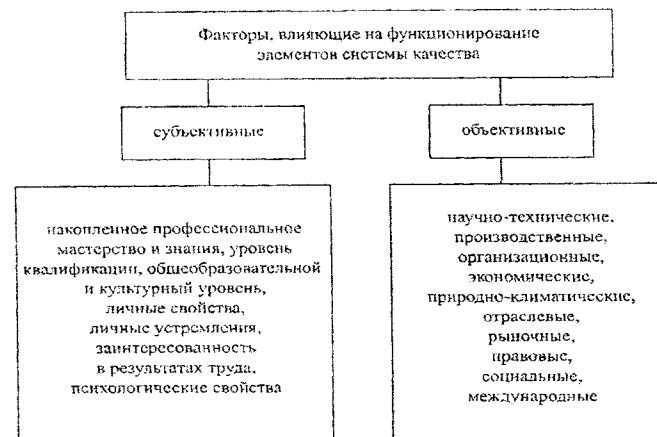


Рис. 1. Факторы, влияющие на управления качеством машиностроительной продукции

УДК 62-83:621.77

С.Н. Балюта, канд. техн. наук, доц., Т.Б. Никитина, канд. техн. наук, доц.,  
Л.А. Копылова, канд. техн. наук, доц., М.О. Татарченко, асп.  
Национальный университет пищевых технологий, Украина  
Национальный технический университет «ХПИ», Украина  
Тел/факс +38(0572)99-21-62, E-mail: bikuznetsov@mail.ru

## СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В статье разработан эффективный алгоритм робастного управления скоростью вращения двухмассовой электромеханической системы, работающей при резкопеременных нагрузках. Приведены результаты сравнения динамических характеристик синтезированной робастной системы с традиционной системой. Установлено, что применение  $H_\infty$ -теории для синтеза системы регулирования скорости вращения двухмассовой электромеханической системы позволяет получить лучшие динамические характеристики по заданию и по возмущению по сравнению с системой с типовыми регуляторами.

**Ключевые слова:** двухмассовая электромеханическая система, робастная  $H_\infty$  система регулирования, значения сингулярности передаточной функции.

Введение. Для многих металлорежущих станков, обрабатывающих центров, роботов, манипуляторов, прокатных станов и др. по условиям ведения технологического процесса требуется поддержание с высокой точностью скорости вращения либо перемещения обрабатываемой детали или обрабатывающего инструмента. Особенно напряженным режимом является движение с малой «ползучей» скоростью, когда движение сопровождается рывками, остановками и неравномерным движением. В этом случае математическую модель электромеханической системы исполнительный двигатель – обрабатываемая деталь либо инструмент приходится рассматривать как двухмассовую электромеханическую систему, у которой исполнительный двигатель и рабочий орган связаны упругой передачей.

Постановка проблемы, связь с научными и практическими задачами. Процессы металлообработки изделий сопровождаются колебаниями технологических параметров. Система управления приводным двигателем должна обеспечить минимально возможные значения статического и динамического падения скорости при изменении момента нагрузки. При этом характер переходных процессов, обусловленных набросом нагрузки, необходимо приблизить к аperiodическому, а время протекания переходного процесса должно быть не более 0,1-0,3 с. Сложные системы автоматического управления характеризуются динамичностью свойств, нелинейностью, нестационарностью, влиянием внешних и внутренних возмущений в широком диапазоне. Робастная система автоматического управления должна обеспечивать необходимые регулировочные свойства, несмотря на существенную неопределенность характеристик объекта управления [1].

Анализ последних достижений и публикаций. В последнее время интенсивно развивается теория робастного управления [1-3]. Системы робастного управления обладают рядом несомненных преимуществ: они робастно устойчивы, т.е. сохраняют устойчивость при изменении параметров объекта управления в определенных пределах и

имеют существенно меньшую чувствительность к изменению параметров объекта управления по сравнению с оптимальными системами, несмотря на то, что динамические характеристики робастных систем могут незначительно отличаться от соответствующих характеристик оптимальных систем [4]. Поэтому вопросы проектирования систем управления, работающих при параметрических и структурных возмущающих воздействиях объекта управления, являются актуальными. Однако, в работах [1-6] не приведены эффективные алгоритмы регулирования скорости вращения двухмассовой электромеханической системы, работающий при резкопеременных нагрузках методами  $H_\infty$ -теории в условиях неполной информации об объекте управления и с учетом его параметрической неопределенности. Кроме того, в этих работах не рассмотрены вопросы оценки эффективности робастных регуляторов скорости двухмассовых электромеханических систем по сравнению с типовыми регуляторами.

Цель работы. Целью работы является повышение точности и снижение чувствительности системы управления скоростью вращения двухмассовой электромеханической системы к изменению параметров объекта управления для стабилизации её динамических характеристик путем применения теории робастного управления. Задачей работы является разработка методики, синтез и исследование динамических характеристик робастной системы управления скоростью вращения двухмассовой электромеханической системы.

Изложение материала исследования, полученных научных результатов. Объект управления состоит из электрической части, представленной в виде аperiodической передаточного звена и механической части, представленной в виде двухмассовой механической системы с упругими связью. Для обеспечения стационарной точности регулирования система управления скоростью вращения двухмассовой электромеханической системы дополнительно содержит ПИ регулятор. Схема такой системы показана на рис. 1. При этом ПИ регулятор рассматривается как предварительный фильтр, который обеспечивает регулирование разницы между заданной и текущей частотами вращения. Для получения необходимых характеристик регулирования замкнутого контура без слишком высоких уставок в качестве внешнего возмущения выбран уставку частоты вращения, а для гашения колебаний вала в качестве внешнего возмущения выбран момент скручивания вала. Кроме того, учитывается наличие помех в измеряемых сигналах частоты вращения ротора двигателя и крутящего момента двигателя.

Синтез робастного управления. Основная цель  $H_\infty$ -субоптимального регулирования заключается в такой оптимизации свойств канала регулирования с ПИ регулятором, в том числе характеристик по заданию и возмущению, а также колебательных характеристик, чтобы замкнутый контур регулирования обеспечивал выполнение поставленных требований к качеству регулирования, т.е.  $H_\infty$ -норма должна находиться ниже заданного уровня.

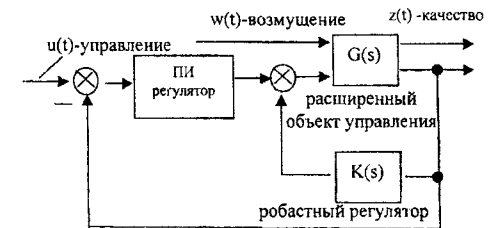


Рис. 1. Схема синтезируемой системы робастного управления

Для синтеза робастного регулятора согласно схеме системы с разделенными входами и выходами, показанной на рис. 1, запишем уравнения в переменных состояния в стандартной форме [1]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_s &= A_s x_s + B_{1e} w_e + B_{2e} u_e \\ z_e &= C_{1e} x_s + D_{12e} u_e \\ y_e &= C_{2e} x_s + D_{2e} w_e \end{aligned}$$

где  $x_s$  –  $n$ -мерный вектор состояния системы (вектор фазовых координат;  $u_e$  –  $r$ -мерный вектор заданных сигналов управления, созданных регулятором;  $w_e$  – вектор внешних действий;  $A_s$  – переходная матрица системы;  $B_{2e}$  – матрица управления по внешним воздействиям;  $B_{1e}$  – матрица управления по сигналам управления;  $y_e$  –

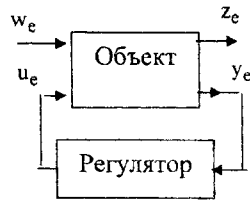


Рис. 2. Схема типовой системы робастного управления

выходной вектор измеряемых переменных,  $z_e$  – выходной вектор регулируемых переменных (переменных качества),  $C_{1e}$ ,  $C_{2e}$ ,  $D_{1e}$ ,  $D_{2e}$  – соответствующие матрицы формирования вектора цели робастного управления и вектора наблюдаемого выхода. Регулятор формирует управление по измеряемому выходу, схема такой системы показана на рис. 2.

Введем критерий оптимизации робастного управления в виде следующего уравнения:

$$J = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} (z(t)^T \cdot z(t) - \gamma^2 \cdot w(t)^T \cdot w(t)) dt,$$

где  $\gamma$  – уровень толерантности, т.е. уровень осознания того, что решение является неоптимальным.

Введение в критерий оптимизации уровня толерантности обуславливает повышение надежности функционирования системы управления на этапе робастного управления. Изменение уровня толерантности к неоптимальности решения, обеспечивает надежную работу системы даже при невыполнении энергосбережения, минимизации затрат на расчеты или иных показателей.

Параметры робастного регулятора определяют по следующим формулам [2]

$$K_{\infty}(s) = \begin{bmatrix} A_K & B_K \\ C_K & D_K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{\infty} & -Z_{\infty} L_{\infty} \\ E_{\infty} & 0 \end{bmatrix},$$

где  $Z_{\infty} = (I - \gamma^{-2} Y_{\infty} X_{\infty})^{-1}$ ;  $A_{\infty} = A + \gamma^{-2} B_1 B_1^T X_{\infty} + B_2 F_{\infty} + Z_{\infty} L_{\infty} C_2$

$$E_{\infty} = -B_2^T \cdot X_{\infty}; L_{\infty} = -Y_{\infty} C_2^T.$$

При этом, для обеспечения отсутствия взаимных связей между отдельными параметрами системы управления должно выполняться следующее условие

$$\rho(X_{\infty}, Y_{\infty}) < \gamma^2,$$

т.е. ограничение спектрального радиуса выражения в скобках (собственные значения с максимальным модулем). Это обеспечивает устойчивость системы управления, замкнутой через регулятор.

Метод решения. Для определения матриц  $X_{\infty}$  и  $Y_{\infty}$  необходимо найти решение двух независимых уравнений Риккати [1] для матриц Гамильтона:

$$H_{\infty} = \begin{bmatrix} A_e & B_{2e} B_{2e}^T - \gamma^{-2} B_{1e} B_{1e}^T \\ -C_{1e}^T C_{1e} & -A_e^T \end{bmatrix}$$

и

$$J_{\infty} = \begin{bmatrix} A_e^T & C_{2e}^T C_{2e} - \gamma^{-2} C_{1e}^T C_{1e} \\ -B_{1e} B_{1e}^T & -A_e \end{bmatrix}.$$

Решение уравнения Риккати  $X_{\infty}$  для оптимального регулятора имеет вид:

$$A_1^T X_{\infty} + X_{\infty} A - X_{\infty} (B_2 B_2^T - \gamma^{-2} B_1 B_1^T) X_{\infty} + C_1^T C_1 = 0.$$

В результате, с помощью матрицы  $H_{\infty}$  определяют оптимальные значения коэффициентов усиления управления по переменным состояния для обеспечения работы системы при неблагоприятных возмущениях  $w_e$ .

Решение уравнения Риккати  $Y_{\infty}$  для оптимального наблюдателя имеет следующий вид

$$A_1^T Y_{\infty} + Y_{\infty} A - Y_{\infty} (C_2 C_2^T - \gamma^{-2} C_1 C_1^T) Y_{\infty} + B_1 B_1^T = 0$$

Таким образом, с помощью матрицы Гамильтона  $J_{\infty}$  оценивают оптимальные значения переменных состояния (наблюдателя), которые необходимы для регулирования по переменным состояния.

Порядок синтезированного робастного регулятора равен порядку системы, тогда как порядок «классического» регулятора оказывается более высоким [3].

Математическая модель объекта управления. Математическая модель двухмассовой электромеханической системы состоит из электрической части, механической части, ПИ регулятора частоты вращения приводного двигателя и робастного  $H_{\infty}$ -регулятора.

При создании математической модели, используемой при синтезе робастного  $H_{\infty}$ -регулятора для обеспечения необходимого качества регулирования учтено наличие помех в сигналах измерения частоты вращения ротора двигателя  $p_{1пер}$  и момента двигателя в воздушном зазоре  $m_{Мпер}$ . При синтезе робастного  $H_{\infty}$ -регулятора для параметров качества использовались постоянные весовые коэффициенты  $\beta_1$ .

Весовые коэффициенты  $\beta_{m_w}$ ,  $\beta_{n1}$ ,  $\beta_{n2}$ , и  $\beta_{ni}$  позволяют по-разному оценить значимость влияния таких параметров качества, как момент на валу двигателя, частота вращения ротора двигателя, частота вращения вала нагрузки и изменение уставки частоты вращения. При этом требуется, чтобы величины значений сингулярности пере-

ходной матрицы для каждой входной величины, относящиеся к переменным качества во всем частотном диапазоне находились ниже некоторого заданного уровня.

$$\begin{bmatrix} \dot{n}_1 \\ m_w \\ n_2 \\ m_M \\ x_{\text{ПИ}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{T_M} & 0 & \frac{1}{T_M} & 0 \\ \frac{T_M}{(1+k_n) \cdot T_e^2} & 0 & -\frac{T_M}{(1+k_n) \cdot T_e^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{k_n}{T_M} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{K_p}{T_{el}} & 0 & 0 & \frac{1}{T_{el}} & \frac{1}{T_{el}} \\ -\frac{K_p}{T_I} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ m_w \\ n_2 \\ m_M \\ x_{\text{ПИ}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{1}{T_{el}} \end{bmatrix} \cdot m_{u,H_\infty} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{k_n}{T_M} & 0 & 0 \\ \frac{K_p}{T_{el}} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{K_p}{T_I} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_u \\ m_H \\ n_{\text{пер}} \\ m_{\text{Мпер}} \end{bmatrix}$$

$$z_e = C_{1e} x_s + D_{12} u_e = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_{m_w} & 0 & 0 & 0 \\ \beta_{n1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{n2} & 0 & 0 \end{bmatrix} x_s + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} w_e + \begin{bmatrix} \beta_{n,u} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u_s$$

Проблема состоит в том, что в оптимизированной системе, состоящей из электро-механической системы привода и ПИ-регулятора, что входные переменные усиливаются с помощью ПИ регулятора, в то время как используемый для управления крутящий момент нагрузки не усиливается. Это различие в усилении приводит к тому, что изменение уставки  $n_{1,задан}$  по сравнению с изменением момента нагрузки  $m_{\text{нагр}}$  в общем случае обуславливает частотно-зависимое изменение сингулярных значений. Норма  $H_\infty$  рассматривает в первую очередь только максимальные сингулярные значения, поэтому реализуется оптимизация по заданию.

Для одинаковой оценки характеристик системы по заданию и по возмущению величина  $\beta_n$  задается с помощью уравнения:

$$m_H^* = \beta_n \cdot m_n,$$

где:  $\beta_n = \frac{\bar{\sigma}(W_{n_u \rightarrow m_w})}{\bar{\sigma}(W_{m_H \rightarrow m_w})}$  – отношение значений сингулярности передаточной

функции уставки частоты вращения по отношению к моменту скручивания вала

$(\bar{\sigma}(W_{n_u \rightarrow m_w}))$  к значениям сингулярности передаточной функции момента нагрузки по отношению к моменту скручивания вала  $(\bar{\sigma}(W_{m_H \rightarrow m_w}))$ .

В это выражение входят максимальные значения сингулярных чисел по заданию и по возмущению на крутильный момент вала, т.е. ограничение, чтобы максимальных значения этих обеих величины были одинаковыми.

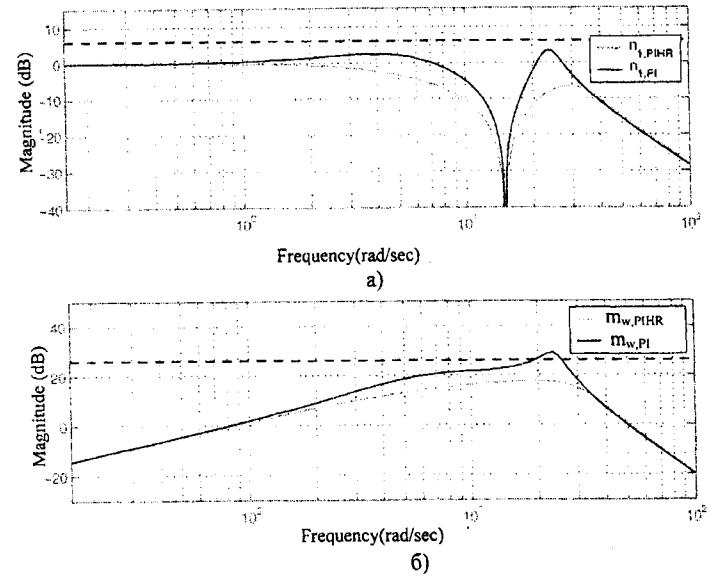


Рис. 3. Частотные характеристики сингулярных значений передаточной функции уставки частоты вращения к частоте вращения ротора приводного двигателя (а) и передаточной функции уставки частоты вращения к моменту скручивания вала (б)

$$y_e = \begin{bmatrix} n_1 \\ m_w \\ n_2 \\ m_M \\ x_{PI} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_u \\ m_H \\ n_{\text{пер}} \\ m_{\text{Мпер}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & k_{n,\text{пер}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{m,\text{пер}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n_u \\ m_H \\ n_{\text{пер}} \\ m_{\text{Мпер}} \end{bmatrix}$$

Измеряемые величины, входящие в вектор  $u_e$ , являются входными величинами робастного  $H_\infty$ -регулятора, описываются следующим уравнением:

Результаты экспериментальных исследований на ЭВМ. Для оценки качества синтезированной робастной системы управления и системы с ПИ регулятором выполнено сравнение сингулярных значений по задаче для системы управления с ПИ регулятором и робастного регулятором. На рис. 3 показаны частотные характеристики сингулярных

значений: а) передаточной функции уставки частоты вращения к частоте вращения ротора приводного двигателя и б) передаточной функции уставки частоты вращения к моменту скручивания вала. Как видно из этих графиков, показатели качества для момента скручивания вала, а также частоты вращения ротора синтезированной робастной САК показывают значительно лучше затухание колебаний. Однако, сингулярные значения, характеризующие затухание торсионных колебаний вала при изменении нагрузки демонстрируют худшие характеристики затухания. На рис. 4 показаны частотные характеристики сингулярных значений передаточной функции канала передачи момента загрузки: а) к частоте вращения приводного двигателя и б) крутящему моменту на валу для САУ с ПИ-регулятором и робастным регулятором.

Представленные частотные характеристики показывают значительное улучшение динамических характеристик системы с  $H_\infty$  регулятором по сравнению с системой управления с ПИ регулятором.

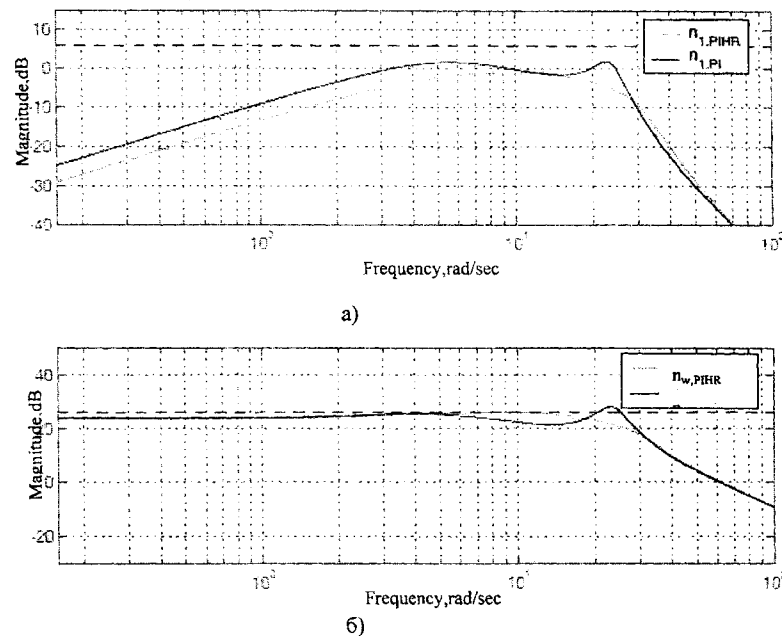


Рис. 4. Частотные характеристики сингулярных значений передаточной функции канала передачи момента нагрузки а) по частоте вращения приводного двигателя и б) по крутящему моменту на валу для системы управления с ПИ-регулятором и робастным регулятором

Рассмотрим теперь переходные процессы в системе с робастным и с типовым регулятором. На рис. 5 показаны результаты моделирования переходных процессов системы с робастным и с ПИ регулятором при изменении уставки частоты вращения на 5%. На рисунке показаны следующие переходные процессы: а) частота вращения ротора двигателя; б) момент скручивания вала; в) момент двигателя в воздушном зазоре.

Как видно из этих переходных процессов, синтез системы регулирования скорости вращения двухмассовой электромеханической системы с использованием  $H_\infty$ -теории позволило улучшить динамические характеристики регулирования по заданию и по возмущению по сравнению с системой с типовым регулятором. Синтезированная система робастного управления практически не имеет перерегулирования по скорости вращения приводного двигателя и не имеет колебаний скручивающего момента вала. Робастная система более устойчива к наличию помех в измерительных сигналах и может работать при отличных от принятых при синтезе параметрах объекта управления.

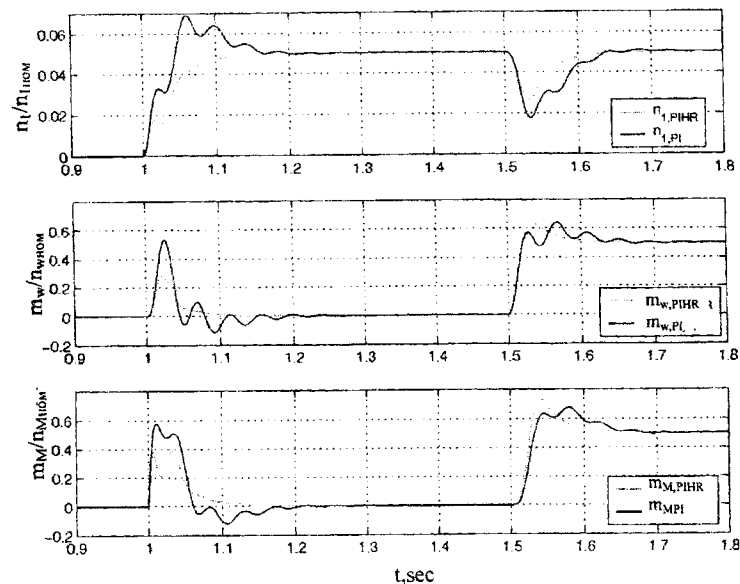


Рис. 5. Результаты моделирования переходных процессов: а) частоты вращения ротора двигателя; б) момента скручивания вала и в) момента двигателя в воздушном зазоре системы с робастным и с ПИ регулятором при изменении уставки частоты вращения на 5%

Выводы. В работе разработан эффективный алгоритм регулирования скорости вращения двухмассовой электромеханической системы, работающей при резкопеременных нагрузках. При  $H_\infty$ -субоптимальном регулировании проводится оптимизация свойств канала регулирования с ПИ регулятором, в том числе характеристик по заданию и возмущению, а также колебательных характеристик с целью обеспечения замкнутым контуром регулирования поставленных требований к качеству регулирования. Для того, чтобы синтезированная субоптимальная система обеспечивала эффективное управление как по заданию, так и по компенсации момента нагрузки предложено оце-



нивать момент нагрузки. Оптимизация проводится путем решения двух уравнений Риккати.

Приведены результаты исследования синтезированной системы и их сравнение с традиционной системой автоматического управления. Установлено, что использование для синтеза системы регулирования скорости вращения двухмассовой электромеханической системы  $H_\infty$ -теории позволяет получить систему управления, которая имеет лучшие динамические характеристики регулирования по заданию и по возмущению, чем для система управления с ПИ регулятором по переменным состояниям. При этом синтезированная система управления имеет значительно меньшие колебания и может работать при отличных от принятых при синтезе параметрах объекта управления.

#### Список литературы:

1. Пупков К.А. и др. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления / К.А. Пупков – М.: МГТУ, – 1996.- 437 с.
2. Glover K. All optimal Hankel-norm approximations of linear multivariable systems and their  $L_\infty$  error bounds / Glover K. // Int. J. Control. – 1984. – Vol. 39.
3. Doyle J.C. State-space solutions to standard  $H_2$  and  $H_\infty$  control problems / J.C. Doyle, K. Glover, P.P. Khargonekar, B.A. Francis // IEEE Trans. Automat. Control. – 1989. – Vol. 34. – №8. – P.831-847.
4. Petersen I.R. Robust Control Design Using  $H_\infty$  Methods / I.R. Petersen, V.A. Ugrinovskii, A.V. Savkin. – Springer-Verlag London Berlin Heidelberg, 2000. – 451 p.
5. Bhattacharyya Shankar P. Linear Control Theory. Structure, Robustness and Optimization/S.P. Bhattacharyya, Datta Anirudda, L.H. Keel. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2009. – 930 p.
6. Slotine J.J., W. Li. Applied Nonlinear Control – Prentice Hall. – 1991. – 461 p.

S. Baluta, T. Nikitina,  
L. Kopilova, M. Tatarchenko  
THE SYNTHESIS OF ROBUST SPEED CONTROL TWO-MASS ELECTROMECHANICAL SYSTEM

The algorithm of effective stabilization speed two-mass electromechanical system that operates at the sudden change in loads are presented. Results of dynamic descriptions comparison of synthesized robust control system with the traditional systems are presented. Found that  $H_\infty$ -theory application for rotation speed of twomass electromechanics system synthesis allows to get the best dynamic descriptions compared to the system with model regulators

**Key words:** twomass electromechanics system, robust  $H_\infty$  control system, transfer function singularity values.

С.М. Балюта, Т.Б. Нікітіна,  
Л.О. Копилова, М.О. Татарченко  
СИНТЕЗ РОБАСТНОГО КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ДВОМАСОВОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Розроблений ефективний алгоритм робастного керування швидкістю обертання двомасової електромеханічної системи, що працює при різкозмінних навантаженнях. Наведені результати порівняння динамічних характеристик синтезованої робастно системи із традиційною системою. Встановлено, що застосування  $H_\infty$ -теорії для синтезу системи керування швидкістю обертання двомасової електромеханічної системи дозволяє отримати кращі динамічні характеристики за завданням та по збуренню в порівнянні із системою з типовими регуляторами.

**Ключові слова:** двомасова електромеханічна система, робастна  $H_\infty$  система регулювання, значення сингулярності передавальної функції.

Надійшла до редакції 15.04.2013 р.

UDC 621.431.7/436+621.004.61/01-19:631.33

Л.Н. Болдарь, канд. техн. наук, доц., Г.М. Глушенко, канд. техн. наук, доц.  
Луганский национальный аграрный университет, Украина  
Тел./Факс: 8(0642) 96-74-97; E-mail: [rector@lnau.lg.ua](mailto:rector@lnau.lg.ua)

## ИСХОДНО ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ, СОХРАНЯЕМОСТЬ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ – ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИКИ

Проблему повышения безотказности и долговечности сложной сельскохозяйственной техники предлагается разрешить за счет улучшения качества деталей методами термоциклической и электрохимической обработки и их взаимной обработки под действием электрического тока в среде электролита.

**Ключевые слова:** ремонт двигателей, упругость поршневых колец, электролитический процесс, равномерность покрытия, чугун, термоциклическая обработка, электрохимическая обработка

**Состояние вопроса.** В условиях, когда в странах СНГ не отлажен вопрос распределенной ответственности производителей за качество продукции, в АПК Украины наблюдаются большие различия между объявленными и фактическими показателями безотказности и долговечности сложной сельскохозяйственной техники (ССХТ) [1]. При исходно низком качестве составляющих, в частности материалов, из которых изготовлены детали ССХТ, все усилия пользователей по сохранению и восстановлению их свойств оказываются безуспешными.

**Варианты решения проблемы.** В последнее время, предлагается внедряливать сопряжения двигателей без разборки – только за счет добавок нанопрепаратов (НП) к моторным маслам [2]. В частности считается, что содержащиеся этих веществ с исходными размерами 5-10 мкм дробятся в зазорах между деталями до nano-размеров, заполняют впадины шероховатых поверхностей и создают эффект наплавленной брони. При этом, оставшиеся в масле частицы действуют, как маленькие шарики, которые перекатываются по керамической поверхности. О величине износа рабочих поверхностей поршневого кольца (РПК), который сопутствует этим процессам, можно судить по данным приведенным на рис. 1, а, б

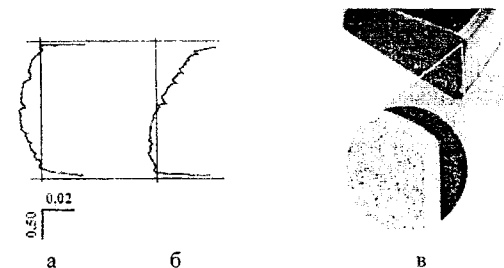


Рис. 1. Профиль РПК: а), б) – соответственно, до и после испытаний в масле с НП, в) оптимальный вариант



пилилася приблизно в 2-3,4 рази порівняно з шліфованими. Сформована мікрогеометрія поверхні досліджуваних сталей не має домінуючого значення при випробуваннях на корозійно-втомну міцність в даних умовах. Проте менша шорсткість позитивно впливає на стійкість до корозійно-втомного руйнування. Зі збільшенням розмірів зразків в досліджуваних межах зростає корозійно-втомна витривалість. Причому в зразків, що пройшли покращення, спостерігається різкіше збільшення корозійно-втомної витривалості за рахунок сприятливішого співвідношення міцності і в'язкості матеріалу в поперечному перерізі.

З огляду на вищевказане є ефективним та перспективним використання механоультразвукового оброблення у технологічному процесі виготовлення важко навантажених деталей бурового обладнання, яке слід проводити після операцій гартування і низького відпуску та покращення. При цьому відпадає необхідність у операціях шліфування. Надалі перспективними є питання розробки технології зміцнення деталей що працюють в умовах контактних навантажень типу опор доліт.

#### Список літератури:

1. Петрина Ю. Д. Вплив механоультразвукової обробки на опірність деталей нафтогазового обладнання корозійному розтріскуванню / Ю. Д. Петрина, Р. С. Яким, А. В. Швадчак // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XII международной научно-технической конференции. (Севастополь 12-17 сентября 2005 г.) В 5-х томах, Т.3. – Донецк: ДонНТУ, 2005. – С.57–61.

2. Петрина Ю. Д. Вплив механоультразвукового зміцнення на корозійно-втомну міцність деталей машин нафтогазової промисловості / Ю. Д. Петрина, Р.С. Яким // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 3 (16). – С.76–80.

3. Вплив механоультразвукової обробки на опір корозійному розтріскуванню деталей нафтогазової промисловості / Ю. Д. Петрина, А. В. Швадчак, І. М. Стоцький, С. Й. Тараєвський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – №3(12). – С.87-90.

4. Петрина Ю. Оптимізація параметрів механоультразвукової зміцнюючої обробки деталей насосів та компресорів нафтогазової промисловості / Ю. Петрина, Р. Яким, А.Швадчак // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2005. – Том 10. – №3. – С.65–71.

R.S. Yakym, Yu.D. Petryna,  
I.S. Yakym, Yu.V. Pavlovskiy

#### GUARANTEE OF BORING EQUIPMENT WORKING INDICES BY MECHANICAL- ULTRASONIC STRENGTHENING TREATMENT

The influence of structural and mechanical indices of patterns made of 40X steel and strengthened by mechanical-ultrasonic treatment on the mechanism of cracks appearing is analyzed. The recommendations for using of such treatment in the technological process of boring equipment components manufacturing are also determined.

**Key words:** mechanical-ultrasonic strengthening, crack

Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина,  
И.С. Яким, Ю.В. Павловский  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
МЕХАНОУЛЬТРАЗВУКОВОЙ  
УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКОЙ

Анализируется влияние структурных и механических показателей упроченных механоультразвуковой обработкой образцов из стали 40X на механизм зарождения трещин, также установлены рекомендации для использования такой обработки в технологическом процессе изготовления деталей бурового оборудования.

**Ключевые слова:** механоультразвуковое упрочнение, трещина

#### СОДЕРЖАНИЕ

Аббасова Г.Н. ОСОБЕННОСТИ СТРАТЕГИИ И МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ.....	3
Байков А.В. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ТОНКОМ ШЛИФОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПРИРОДНОГО КАМНЯ.....	9
Балюта С.Н., Никитина Т.Б., Копылова Л.А., Татарченко М.О. СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.....	16
Болдари Л.Н., Глушенко Г.М. ИСХОДНО ВЫСОКОЕ КАЧЕСТВО ДЕТАЛЕЙ, СОХРАНЯЕМОСТЬ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ – ОСНОВЫ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИКИ.....	25
Букин С.Л., Чашко М.В. О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ В УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТАХ ОСНОВНОЙ СВЯЗИ ПОДВИЖНЫХ МАСС МНОГОМАССОВЫХ ВИБРОМАШИН С НАПРАВЛЕННЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ.....	30
Буленков Е. А. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ АГРЕГАТНОЙ РОТОРНОЙ МАШИНЫ.....	37
Бутенко В.И. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ НЕЛИНЕЙНОЙ ВЯЗКОУПРУГОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СЛОЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ ТРИБОСИСТЕМЫ.....	42
Водолазская Н.В., Искрицкий В. М., Водолазская Е.Г. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИМИТАТОРА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ В СТЕНДЕ ДЛЯ РЕСУРСНЫХ ИСПЫТАНИЙ СБОРОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	47
Гавриш А.Л., Киричок П.О., Роїк Т.А., Віщок Ю.Ю. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ ХОНІГУВАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ І ТОЧНОСТІ ПОВЕРХОНЬ КОМПОЗИТНИХ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН.....	56
Ганиев М.М., Швейв А.И., Астащенко В.И., Швейва Т.В. НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ СТАЛИ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	65

Гасанли Р.К. ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ.....	74
Гречихин Л.И., Подлозный Э.Д. ПЛОТНОУПАКОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ЕГО РОЛЬ В УПРОЧНЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	79
Гречихин Л.И., Купь Н.Г. КЛАСТЕРЫ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ ВЕЩЕСТВА.....	90
Гурей І.В., Гурей В.І., Дмитерко П.Р. ФОРМУВАННЯ НАНОКРИСТАЛІЧНОГО ЗМІЩЕНОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПІД ЧАС ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЩЕННЯ.....	98
Гурей І.В., Гурей Т.А. ТОЧНІСТЬ ОБРОБЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ПІСЛЯ ЇХ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЩЕННЯ.....	107
Добровольська Л.Н. ВИЗНАЧЕННЯ ЗА ПАРАМЕТРАМИ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ПЕРІОДУ ДОКРИТИНГО РОСТУ ВОДНЕВО-МЕХАНІЧНИХ ТРИЩИН В ЕЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦІЙ.....	113
Заплетников И.Н., Севаторова И.С. РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОВОЩЕРЕЗАТЕЛЬНЫХ И ПРОТИРОЧНЫХ МАШИН.....	121
Ильницкая Г.Д., Олейник Н.А. РАЗДЕЛЕНИЕ АЛМАЗНЫХ МИКРОПОРОШКОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	126
Кольцов В.П., Попова Е.С., Старолубева Д.А. АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВАРИАНТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ ГОФРИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРНОЙ ОБОЛОЧКИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА.....	133
Кузнецов В.Д., Смирнов И.В., Шаповалов К.П. ВЛИЯНИЕ НАНОДОБАВОК НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА ШВОВ ПРИ СВАРКЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ.....	143
Кульбида О.О., Ищенко А.Л., Феник Л.Н. ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С ЗАЗОРОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРАЦИ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ.....	151

Лавриненко В.И., Ильницкая Г.Д., Смоквина В.В., Зайцева И.Н. ВЛИЯНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ АЛМАЗНЫХ ШЛИФПОРОШКОВ МАРКИ АС6 НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА.....	157
Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н., Калач В.Н. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ПОКРЫТИЙ НА ПЛАВНОСТЬ ХОДА ПОДВИЖНЫХ СТАНОЧНЫХ УЗЛОВ.....	165
Лещенко А.И. КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЗАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ИЗМЕНЕНИЕМ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАБАТЫВАЕМЫХ СЛОЖНО-ПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	171
Лукічов О.В., Ковалевський С.В., Матвієнко С.А. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ЗВУКОВОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ТА УПРАВЛІННЯ ЙОГО ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ.....	178
Луковский А.А., Дрожеников И.С., Волоховский В.Ю., Шипков А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВОГО ВЛИЯНИЯ ТРУБНОГО ПУЧКА НА ЗОНУ СОЕДИНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРА И КОРПУСА ПАРОГЕНЕРАТОРА АЭС ВВЭР – 1000.....	185
Луцкий С.В. СИСТЕМО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ ТЕХНОСФЕРЫ.....	192
Манинин С.А., Кузнецов П.А., Фармаковский Б.В., Жуков А.С. ЭКРАНИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭКОЛОГИИ.....	199
Михайлов А.Н., Головятинская В.В., Петров А.М., Петров М.Г. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ.....	206
Михайлов Д.А. СИНТЕЗ СТРУКТУРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	212
Настасенко В.А. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ЧЕРВЯКОВ С МАЛЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ЗАХОДОВ.....	222
Настасенко В.А. ТРАНСФОРМАЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ	

**НАУКОВЕ ВИДАННЯ**

**ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ І  
СИСТЕМИ МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Випуск 1, 2 (46)**

(українською, російською, англійською мовами)

Відповідальний за випуск  
*д-р техн. наук, проф. О.М. Михайлов*  
E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)  
Відповідальний секретар випуску *О.О. Кульбіда*

Технічне редагування, коректура: *Г.А. Федоренко, Т.М. Шламенок*

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет

Адреса видавця: Україна, 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, ДВНЗ «ДонНТУ»

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації Серія КВ № 7381  
от 03.06.2003 р.

Надруковано 10.07.2013

---

Пописано к печати 01.07.2013.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub>	Бумага MAESTRO
Ризографическая печать	Усл. печ. л. 18,25	
Уч.-из. л. 17,01	Тираж 100 экз.	Заказ № 1

---

Издательство ЧП «Технополис»  
Свидетельство о внесении в государственный реестр субъекта  
издательского дела ДК № 1221 от 05.02.2003.  
83001, г. Донецк, пр. Дзержинского 1  
Тел. +38 062 305-01-04  
E-mail: [tm@mech.dgtu.donetsk.ua](mailto:tm@mech.dgtu.donetsk.ua)