



**ДОНЕЦКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И
СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Международный
сборник научных трудов**

ВЫПУСК 9



ДОНЕЦК – 2000

**ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И
СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

**Международный
сборник научных трудов**

Выпуск 9

ДОНЕЦК – 2000

Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 2000. Вып. 9. – 225 с. ISBN 966-95622-2-8

В международном сборнике научных трудов представлены некоторые вопросы теории и практики обработки изделий прогрессивными методами, показаны достижения и пути развития технологического оборудования, оснастки и металлорежущего инструмента.

Рассмотрены отдельные аспекты автоматизации производственных процессов и надежности технологического оборудования.

В данном сборнике публикуются ученые и ведущие специалисты из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Предназначен для научно-технических работников, ИТР и специалистов в области машиностроения.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Минаев А.А. (председатель, Украина), Михайлов А.Н. (зам. председателя, Украина), Калафатова Л.П. (секретарь, Украина), Богуславский В.А. (Украина), Бутенко В.И. (Россия), Войнаровский Ю. (Польша), Гавриш А.П. (Украина), Гейер Г.В. (Украина), Гусев В.В. (Украина), Данек Я. (Чехия), Зарубицкий Е.У. (Украина), Зенкин А.С. (Украина), Зиновьев Н.И. (Украина), Ищенко А.Л. (Украина), Каспер Р. (Германия), Лукичев А.В. (Украина), Малышко И.А. (Украина), Матюха П.Г. (Украина), Мизин Б.М. (Украина), Муравья Е.С. (Украина), Навка И.П. (Украина), Новоселов Ю.К. (Украина), Оливер Т. (Великобритания), Петраков Ю.В. (Украина), Седуш В.Я. (Украина), Сопилкин Г.В. (Россия), Струтинский В.Б. (Украина), Сулов А.Г. (Россия), Тернюк Н.Э. (Украина), Цокур В.П. (Украина), Шевченко Ф.Л. (Украина).

Публикуется по решению Ученого Совета Донецкого государственного технического университета (протокол № 9 от 25.12.99).

Адрес редакционной коллегии:

Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема, 58, ДонГТУ, кафедра ТМ.
Тел.: (0622) 93-60-02, факс: (0622) 93-60-02
E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua
http://www.dgtu.donetsk.ua

ISBN 966-95622-2-8

© Донецкий государственный
технический университет, 2000 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ЗАДАЧЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА

Акименко В.В. (ВУГУ, г.Луганск, Украина)

Развитие систем экологического мониторинга предполагает создание интегрированных информационных систем анализа, контроля и прогнозирования экологического состояния пограничного слоя атмосферы на основе разработки достаточно подробных математических моделей, уточненных и более эффективных численных методов решения задач динамики пограничного слоя атмосферы (ПСА) и распространения атмосферных выбросов [1]-[3]. Поскольку Восточноукраинский регион имеет самую высокую плотностью промышленных предприятий и является наиболее экологически неблагоприятным среди регионов Украины, данная проблема является для него наиболее актуальной. В данной работе рассмотрено применение физически корректной явной линейной монотонной схемы второго порядка для решения расщепленной системы уравнений гидротермодинамики, описывающей мезо-метеорологические (региональные) процессы в задаче моделирования загрязнения ПСА региона. Проведены численные исследования эффективности схемы на примере решения тестовых задач.

Для моделирования процессов в ПСА в мезо-метеорологическом (региональном) масштабе в локальной системе координат (ось Ox направлена на восток, Oy на север, Oz - вертикально вверх), для области $x \in [0, L_1]$, $y \in [0, L_2]$, $z \in [0, \hat{H}]$, ($L_1=600$ км, $L_2=600$ км, $\hat{H}=2$ км), используется система уравнений гидротермодинамики [2], [3]. Для замыкания системы уравнений гидротермодинамики, определения коэффициентов турбулентной диффузии используется модель $b-\varepsilon$, основанная на уравнении баланса кинетической энергии турбулентности b и уравнении для скорости диссипации турбулентности ε и параметризация Смагоринского [2], [3]. Система уравнений пограничного слоя расщепляется по физическим процессам на систему, описывающую процессы переноса и диффузии и систему, описывающую процесс динамического согласования полей и изменение удельной влажности. Первая система имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{du'}{dt} - G_x \beta \theta' (1 + 0.61 q') &= \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial u'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (k_L D_T) + \frac{\partial}{\partial y} (k_L D_S), \\ \frac{dv'}{dt} - G_y \beta \theta' (1 + 0.61 q') &= \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial v'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} (k_L D_S) + \frac{\partial}{\partial y} (k_L D_T), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{dw'}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial w'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial w'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_L \frac{\partial w'}{\partial y}, \quad \frac{d\pi'}{dt} = \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \pi'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial \pi'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_L \frac{\partial \pi'}{\partial y},$$

$$\frac{d\theta'}{dt} - G_x \bar{\theta}_z u' - G_y \bar{\theta}_z v' = \alpha_\theta \frac{\partial}{\partial z} k \frac{\partial \theta'}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} k_L \frac{\partial \theta'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} k_L \frac{\partial \theta'}{\partial y} + \frac{L_\omega \Phi}{c_p} + Q_T.$$

Здесь $\bar{v} = \{\bar{u} + u', \bar{v} + v', w'\}$ - вектор скорости, $\bar{u}, \bar{v}$ - компоненты фоновой составляющей, u', v', w' - компоненты мезометеорологической составляющей, $\pi = \bar{\pi} + \pi'$ - нормированная функция Экснера $\pi = (c_p \theta_0 / A)(p / p_0)^\alpha$, $\alpha = AR / c_p = 0.2857$, R - нормированная газовая постоянная, A - термический эквивалент работы, c_p - теплоемкость воздуха при постоянном давлении, p_0 - характерное значение давления, $\theta = \bar{\theta} + \theta'$ - потенциальная температура $\theta = T / \pi$, $T = \bar{T} + T'$ - температура, θ_0 - характерное значение потенциальной температуры, $x_i (i = \overline{1,3})$ - декартовы координаты, уравнение состояния $\rho = \rho(p, T, q)$, $\rho = \bar{\rho} + \rho'$ - плотность воздуха, L_ω - скрытая теплота конденсации, $w = w' - uG_x - vG_y$ - вертикальная компонента скорости, $G_x = \partial \delta / \partial x$, $G_y = \partial \delta / \partial y$ - компоненты градиента подстилающей поверхности, $\delta(x, y)$ - функция высоты рельефа. Для решения (1) применяется экономичная явная трехслойная линейная условно-монотонная схема, не требующая дополнительного расщепления уравнений системы на локально-одномерные уравнения, имеющая вид:

$$(1/(2\tau) + (1+\tau)r^n_{i_1 i_2 i_3} / 2) \hat{y}_{i_1 i_2 i_3} = (1/(2\tau) - (1-\tau)r^n_{i_1 i_2 i_3} / 2) \tilde{y}_{i_1 i_2 i_3} +$$

$$+ \sum_{m=1}^3 \alpha^n_{m_{i_1 i_2 i_3}} y_{i_m+1} + \sum_{m=1}^3 \beta^n_{m_{i_1 i_2 i_3}} y_{i_m-1} + F^n_{i_1 i_2 i_3},$$

$$r^n_{i_1 i_2 i_3} = \sum_{m=1}^3 (\alpha^n_{m_{i_1 i_2 i_3}} + \beta^n_{m_{i_1 i_2 i_3}}), \quad (n = \overline{1,5}), \quad y = (u', v', w', \pi', \theta'), \quad (2)$$

$$F^1_{i_1 i_2 i_3} = (G_x \beta \theta' (1 + 0.61 q'))_{i_1 i_2 i_3}, \quad F^2_{i_1 i_2 i_3} = (G_y \beta \theta' (1 + 0.61 q'))_{i_1 i_2 i_3},$$

$$F^3_{i_1 i_2 i_3} = 0, \quad F^4_{i_1 i_2 i_3} = 0, \quad F^5_{i_1 i_2 i_3} = (G_x \bar{\theta}_z u' + G_y \bar{\theta}_z v' + L_\omega \Phi / c_p + Q_T)_{i_1 i_2 i_3}.$$

$$\alpha_i^n = \alpha_{i+1}^n (\chi_i^n + b_i^{+n} h) / h^2, \quad \beta_i^n = \alpha_i^n (\chi_i^n - b_i^{-n} h) / h^2, \quad \chi_i^n = 1 / (1 + R^n_i),$$

$$R_i^n = 0.5 |v_i^n| h / k_i^n, \quad \alpha_{i+1}^n = W[k^n(x_i + sh, t_{j+1/2})], \quad g_i^n = F[q^n(x_i + sh, t_{j+1/2})],$$

$$b_i^{\pm n} = F[\tilde{v}^{\pm n}(x_i + sh, t_{j+1/2})], \quad \tilde{v}^{\pm n} = (v^n \pm |v^n|) / (2k^n).$$

где использованы обозначения из [3]. Значения искомых функций на первых двух временных слоях y^0, y^1 задаются из начальных условий и условий стационарности процессов в начальный момент времени. Выполнение условий монотонности накладывает ограничение на шаг по времени:

$$\tau(1-\tau) < (1/\varepsilon), \quad \varepsilon = \max_{i_1, i_2, i_3, j, n} \left(\sum_{m=1}^3 \alpha_{m_{i_1 i_2 i_3}}^{j^n} + \beta_{m_{i_1 i_2 i_3}}^{j^n} \right) \quad (3)$$

Для определения τ используется априорная метеорологическая информация - оценки метеорологических параметров, характерных для рассматриваемого типа процессов. Ограничения (3) не исчерпывают условий устойчивости и сходимости схемы (2). Неустойчивость может быть обусловлена присутствием в первых двух и последнем уравнениях системы слагаемых с коэффициентами G_x, G_y . Строгое доказательство достаточных условий устойчивости системы уравнений в данном случае затруднительно, поэтому устойчивость системы исследуется численно, на тестовых примерах, с учетом особенностей рассматриваемой области.

Для проведения оценки эффективности численного метода применяется схема испытаний из [3]. При испытании новых численных схем должно проводиться определение их эффективности в сравнении с доступной экспериментальной и стандартной метеорологической информацией. Численный прогноз полей метеорологических элементов (давления, температуры, направления и скорости ветра, влажности) рассчитывается для различных уровней атмосферы в узлах регулярной сетки по территории региона с заблаговременностью до 48 ч (краткосрочные прогнозы) для следующих статистических характеристик: 1) средняя абсолютная ошибка прогноза $\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_n - H_\phi|_i$; 2) средняя относительная ошибка прогноза

$$\varepsilon = \delta / \delta_\phi, \quad \delta_\phi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |H_\phi - H_c|_i - \text{средняя абсолютная фактическая изменчивость (N - общее число точек регулярной сетки по территории прогноза, } H_\Pi, H_\Phi, H_\Pi - \text{соответственно прогностическое, фактическое и исходное значение давления), 3) средняя квадратическая ошибка прогноза}$$

$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_n - H_\phi)_i^2}$, 4) средняя арифметическая (систематическая) ошиб-

ка прогноза $\hat{\delta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_n - H_\phi)_i$; 5) среднее квадратическое отклонение ошибки прогноза $\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(H_n - H_\phi)_i - (\overline{H_n - H_\phi})]^2}$; 6) корреляция тенденции - коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими изменениями давления

$$r_T = \frac{\sum_{i=1}^N [(\delta_n)_i - \bar{\delta}_n][(\delta_\phi)_i - \bar{\delta}_\phi]}{N\sigma_n\sigma_\phi}, \quad \bar{\delta}_n = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_n - H_C)_i; \quad \bar{\delta}_\phi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_\phi - H_C)_i;$$

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((\delta_n)_i - \bar{\delta}_n)^2}; \quad \sigma_\phi = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((\delta_\phi)_i - \bar{\delta}_\phi)^2}.$$

При точном прогнозе $r=1$, при плохом $r=0$. Дополнительно рассчитывается оценка $P(\%)$, показывающая процент оправдавшихся прогнозов по заданным градациям ошибок $P_i = 100 N_i / N$ где N_i - количество узлов сетки, в которых отклонение прогностической величины от фактической не выходит за пределы заданного диапазона, N - общее число узлов. Градации диапазонов для отклонений прогностических значений от фактических (по значению в гПа), для которых рассчитывается оценка P_i : $[0, 0.001 \bar{P}]$, $[0.001 \bar{P}, 0.005 \bar{P}]$, $[0.005 \bar{P}, 0.01 \bar{P}]$, $[0.01 \bar{P}, 0.015 \bar{P}]$, $[0.015 \bar{P}, 0.02 \bar{P}]$, $\bar{P} = \max(P_i)$.

При испытании численных схем прогноза температуры воздуха, относительной влажности производится оценка прогнозов данных метеорологических элементов в сравнении с их фактическими значениями по данным радиозондовых наблюдений. При этом вычисляются и анализируются аналогичные статистические характеристики: 1) средняя абсолютная ошибка прогноза температуры (влажности) $\delta_{t(t_d)}$, 2) средняя относительная ошибка $\varepsilon_{t(t_d)}$, 3) средняя квадратическая ошибка $\sigma_{t(t_d)}$, 4) средняя систематическая ошибка $\delta_{t(t_d)}$, 5) коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими изменениями температуры (влажности) $r_{t(t_d)}$. Дополнительно рассчитывается оценка P_i , показывающая процент оправдавшихся прогнозов по заданным градациям ошибок $P_i = 100 N_i / N$.

При оценке численных прогнозов ветра в качестве фактического ветра используется измеренные на различных высотах значения скорости и направления ветра, рассчитываются характеристики:

$$\bar{\delta}_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\bar{V}_n - \bar{V}_\phi|_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\sqrt{(u_n - u_\phi)_i^2 + (v_n - v_\phi)_i^2} \right), \quad \delta_{dd} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |dd_n - dd_\phi|_i.$$

$$\bar{\sigma}_V = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\bar{V}_n - \bar{V}_\phi)_i^2}; \quad \delta_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |V_n - V_\phi|_i; \quad \hat{\delta}_V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (V_n - V_\phi)_i;$$

где dd - угол-азимут.

Для проведения численных исследований используются данные обработки радиозондовых наблюдений в г.Харькове за 03.05.1995 00ч. (таблица 1), данные наземных наблюдений. Моделирование динамики ПСА Восточноукраинского региона проводилось в течение 12 часов. В таблицах 2, 3 приведены значения статистических оценок погрешности расчета метеорологических параметров. На рис.1 представлено распределение горизонтальной составляющей вектора скорости на высоте 100 м.

Таблица 1. Данные радиозондовых наблюдений г.Харьков (архив ЦГО).

Н(м)	Станция	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800
Р (гПа)	1005	999.4	975.1	951.3	928.0	905.1	882.7	860.7	839.1	817.9
T(°C)	4.5	4.6	4.1	2.8	1.1	-0.5	-2.4	-4.1	-5.9	-7.1
Q(%)	65	64	60	60	62	65	69	73	78	83
α°	29	24	48	53	58	54	49	33	340	284
$ \bar{V} $ (м/с)	4	5	7	7	5	4	3	2	1	4

Таблица 2. Значения статистических оценок погрешности расчетов давления, температуры, влажности.

P	δ	δ_ϕ	ε	σ	$\hat{\delta}$	r_t	$P \leq 0.1\%$	$P \leq 0.5\%$
	0.22	0.73	0.31	0.24	-0.22	0.78	17.2	82.8
T	δ_t	$\delta_{t\phi}$	ε_t	σ_t	$\hat{\delta}_t$	r_t	$P \leq 1^\circ$	$P \leq 2^\circ$
	0.32	0.76	0.40	0.41	-0.12	0.96	100	0
Q	δ_q	$\delta_{q\phi}$	ε_q	σ_q	$\hat{\delta}_q$	r_q	$P \leq 10\%$	$P \leq 20\%$
	3.52	10.7	0.31	5.06	2.08	0.93	86.2	13.8

Таблица 3. Статистические оценки погрешности расчетов скорости ветра.

$\bar{\delta}_v$	$\bar{\sigma}_v$	δ_v	$\hat{\delta}_v$	δ_{dd}
0.86	0.89	0.52	0.56	15.9

Проведенные численные исследования показали, что погрешность расчетов схемы близка к погрешности метода расщепления с использованием нелинейных монотонных схем второго порядка из [3]. Этот результат согласуется с исследованиями погрешности линейной трехслойной монотонной схемы для двумерных параболических уравнений из [3]. Для рассматриваемого типа процессов условие (3) приводит к увеличению количества временных шагов в 15 раз по сравнению со схемой расщепления. Однако, применение 15 явных алгоритмов более экономично по сравнению с решением 15 локально-одномерных уравнений в схеме расщепления, что позволяет рассматривать данный метод как более эффективный.

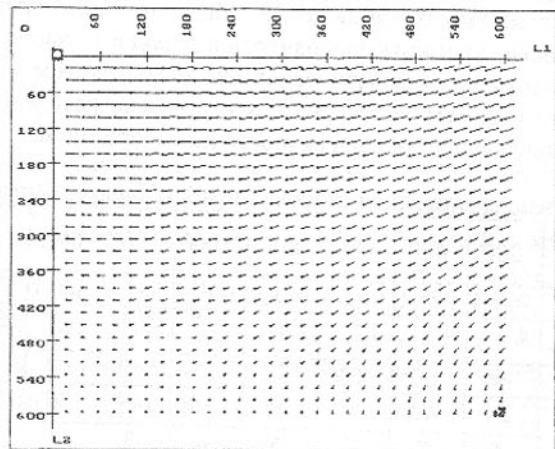


Рис.1. Распределение горизонтальной составляющей вектора скорости.

Список литературы: 1. Пененко В.В., Алоян А.Е. Математические модели взаимосвязей между термодинамическими и химическими процессами // Физика атмосферы и океана, 1995, N3, с.372-384. 2. Беркович Л.В., Тарнопольский А.Г., Шнайрман В.А. Гидродинамическая модель атмосферного и океанического пограничных слоев // Метеорология и гидрология, 1997, N7, с.40-52. 3. Акименко В.В. Математическое моделирование экологического состояния погранслоя атмосферы региона. Луганск: ВУГУ, 1998.-190 с.

СЕРТИФИКАЦИЯ ПРОДУКЦИИ НА СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ ISO СЕРИИ 9000

Алейкин В.Д. (СИЦ CETEST, Донецк, Украина)

In the given work it is told about necessity of realization of work on certification

of systems of quality for the proof of competitiveness of the enterprises for want of output.

Вряд ли нужно убеждать тех, кто знаком с тенденциями развития мирового рынка товаров и услуг, в том, что без признанного сертификата на систему качества нельзя доказать сегодня свою конкурентоспособность. Формирование единых требований к фирмам, предлагающим свою продукцию и услуги на рынке, закончилось к 1993 году. Это требования стандартов ISO 9000-9004 - сертификация систем менеджмента качества, в Украине эта серия стандартов обозначена ДСТУ ИСО 9000-9004.

Для понимания процессов, которые происходят в Европе, необходимо уточнить терминологию, которая отличается от принятой в Украине. В Украине существует понятия обязательной и добровольной сертификации, в Европе - сертификация в регулируемой и нерегулируемой зонах. Регулируемая зона - это зона, в которой существуют нормативно-законодательные акты, определяющие требования к товару или услуге, нерегулируемая - зона, в которой законодательных требований нет.

До недавнего времени сертификация систем качества относилась к нерегулируемой зоне. Но в последнее время всё более расширяется круг товаров, в отношении которых европейские директивы устанавливают требования обязательной сертификации систем качества.

Значительной особенностью европейского рынка является требования потребителя, которые изготовитель обязан выполнять, если он хочет иметь успех на пересыщенном товарном рынке.

В настоящее время для потребителя недостаточно, только сертификация продукции, ему ещё необходимы дополнительные гарантии. Потребитель знает, что если изготовитель собирается сертифицировать свою продукцию, он обязательно подготовится к этому, более тщательно проведёт входной контроль компонентов, тщательно отладит технологический процесс, более жёстко проведёт испытания на выходном контроле. В результате к сертификации будет представлена не та продукция, которая выпускается ежедневно, а та, которую изготовитель может выпускать, т.е. многие потребители, сами являются изготовителями и воспринимают сертификат на продукцию как показатель инженерно-технических возможностей изготовителя. Но чтобы быть уверенным в продукции того качества, которое ему нужно, потребитель требует сертификат на систему. Потребитель рассматривает этот сертификат как свидетельство того, что у изготовителя существует система, гарантирующая стабильный выпуск продукции того уровня качества, который подтверждён сертификатом на продукцию.

Следовательно, сертификация систем качества всё более смещается в сторону регулируемой зоны.

Определённую роль в этом сыграли и страховые компании. Европейский закон ответственности за качество выпускаемой продукции предусматривает возмещение ущерба, причиненного потребителю низким качеством продукции. За этим законом стоят жесткие юридические акты. Так как всегда существует риск наступления такой ответственности, изготовитель старается застраховать себя от этого риска, а страховое агентство в этой ситуации все чаще требует от него наличия сертифицированной системы качества.

Распространяется это требование и на украинские предприятия, поставляющие свой продукт в зарубежные страны.

По закону ответственности за качество продукции эта ответственность распространяется на изготовителя продукции, на того, кто ставит на неё свой товарный знак, и того, кто распространяет эту продукцию на рынке.

Следовательно, при поставке товаров наши экспортеры всегда будут получать цену, заниженную на размер риска, связанного с компенсацией ущерба, причиненного потребителю.

В настоящее время, сертификат на систему качества, выданный авторитетным сертификационным органом, является одним из важнейших показателей конкурентоспособности.

Существует объективная потребность в сертификации систем качества для реализации продукции предприятий и на внутреннем рынке. Насыщение внутреннего рынка импортной продукцией обостряет конкурентную борьбу украинских предприятий с зарубежными поставщиками. Ясно, что эта борьба будет тем жестче, чем ниже качество нашей продукции и выше её цена, установленная по затратному механизму и прогрессивно возрастающая за счет роста цен на сырье и энергоносители. В этом случае сертификация на соответствие нормам серии 9000, вынуждающая предприятия внедрять современные системы качества, будет способствовать увеличению их конкурентоспособности.

Таким образом, всем предприятиям, ориентированным на международный рынок или функционирующим на внутреннем, целесообразно иметь у себя действующую систему качества, отвечающую требованиям стандартов ISO серии 9000.

Однако попытки разработки систем качества силами самих предприятий малоэффективны.

Многие предприятия, поверхностно ознакомившись с требованиями стандартов ISO серии 9000 считают, что они полностью готовы. В результате вместо разработки системы качества происходит упрощенная привяз-

ка КС УКП к этим требованиям. При этом не учитывается, что по идеологии норм ISO серии 9000 система качества должна быть взаимоувязана со всеми видами деятельности, определяющими качество.

Действующая система качества приносит прибыль за счет максимального сокращения скрытых потерь, связанных с доработками, переделками, повторными испытаниями и т.п.

Следовательно, есть и еще один аспект сертификации систем качества, снижение затрат на скрытые потери.

Путь к осознанию значения качества как стратегического фактора имел свои региональные и национальные особенности. Если в США совершенствование качества было в основном связано с военной стратегией, то для европейских стран, совершенствование качества связано с выработкой стратегической линии в конкурентной борьбе за выживание.

В 1887г. Великобритания потребовала обозначать немецкую продукцию маркировкой "Сделано в Германии" (*Made in Germany*). Предполагалось, что это будет служить защитой для английской промышленности. Но, это мероприятие привело к противоположным результатам. Немецкие товары считались в то время на мировом рынке особенно надежными, так что вскоре "Сделано в Германии" стало символом качества.

Военная промышленность США, во время второй мировой войны, в значительной степени способствовала улучшению качества производства. Крупные инвестиции, в мероприятия по качеству, дали положительные результаты. Большие убытки, связанные с использованием несоответствующих производственных методов и проведением дорогостоящих мероприятий по обеспечению качества, ускоряли процесс перестройки мышления.

Примером к побуждению перестройки мышления могут служить большие убытки, которые понесли США с "кораблями свободы" (*Liberty-Schiffe*). Корабли были сконструированы в соответствии с требованиями эксплуатации в теплых водах тихоокеанских течений, но на практике они были вынуждены плавать в холодных водах Северной Атлантики. В результате воздействия низких температур в корпусах кораблей возникали трещины, и корабли тонули. Таких случаев было несколько.

В 60-е годы начался "японский вызов", японцы начали копировать западные промышленные товары, такие как фотоаппараты, следующий этап производство автомобилей, потом добавили бытовую электронику, компьютеры и элементы радиоэлектронной аппаратуры. Вначале попытки японцев захватить западный рынок сбыта осмеивался. Первые японские товары имели качество ниже всякой критики. Дизайн, если речь не шла о прямом копировании, вызывал только ухмылки. Инструкции товаров были малоприспособлены для практических целей и часто служили поводом для шуток и карикатур прессы. Но, уже к началу 80-х годов японцы извлекли из

этого урок. С этих пор над продукцией произведенной в Японии, больше никто не смеется, а на качество и дизайн с уважением ориентируется западный мир.

Японцы постепенно приспособились к системе, которая способствовала успеху Запада, и развили ее с помощью:

- активной работы,
- спланированной работы,
- принципа "думать совместно",
- вовлечения сотрудников в планирование и управление процессами,
- планирования процессов конструкторской разработки, производства, сбыта вплоть до обслуживания заказчика,
- преимущества работ в области качества в общем процессе.

В результате, за сравнительно короткое время, Япония вошла в узкий круг экономических гигантов. Японские товары достигли и превзошли уровень качества товаров западных экономических государств. Инновационная мощь Японии выразилась в нарастающем разнообразии товаров. Японские экспортные поставки приобрели грандиозный размах.

Великобритания, которая особенно пострадала во время экономического кризиса конца 70-х годов, пришла к выводу, что единственный на длительную перспективу шанс по оздоровлению экономики заключается в решительном улучшении качества продукции и что только таким образом можно контролировать импорт и стимулировать жизненно важный экспорт. Во времена правления Маргарет Тетчер были разработаны широкие государственные программы по поддержке экономики и повышению качества продукции. Здесь впервые в Европе, после США, были внедрены нормы и программы по качеству.

В Федеративной Республике Германии в середине 80-х г. давление со стороны государства по внедрению стандартов качества не было таким большим, как в Англии. Экономический спад последовал за другими европейскими странами с задержкой по времени, воссоединение Германии породило кажущийся бум, который впрочем, держался недолго. И это было причиной того, что на немецких предприятиях усиление внимания и внедрение регулирующих нормативов норм качества произошло только примерно с 1992 г.

Сама сертификация не является гарантией того, что в будущем можно с успехом устоять в конкурентной борьбе. Она всего лишь документально подтверждает, что на предприятии имеется и функционирует определенный стандарт качества. Она, конечно, упрощает и значительно сокращает проверку субпоставщиков их заказчиками, что позволяет существенно снизить затраты на входной контроль, но в конечном счете не сер-

тификат определяет степень качества и успех предприятия, а его заказчики.

Таким образом, стандарты ISO серии 9000 являются тем необходимым инструментом, которые обеспечивают возможность сертифицировать систему качества предприятия на соответствие международным требованиям, дать уверенность заказчику в гарантии качества, расширить рынок сбыта своей продукции и тем самым достичь экономической цели.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РЕЧНОГО СУДНА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ MATLAB/SIMULINK

Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В. (ДонГТУ, г.Донецк, Украина)

The structure of inland ship mathematical model is described. The problems of the ship motion simulation are formulated and some results of simulation are presented.

Введение

В статье рассматривается интегрированная навигационная система (ИНС) для судов внутреннего и смешанного плавания [1]. Основной задачей данной системы является автономное управление движением по заданному маршруту с учетом реальной навигационной обстановки. Для анализа характеристик ИНС и обеспечения рационального управления судном предполагается реализация моделей подсистем в некоторой среде моделирования.

1. Компоненты навигационной системы

В составе ИНС выделяют четыре основных компонента [1]: бортовые датчики, база априорных знаний, исполнительные механизмы и бортовой вычислительный комплекс. Назначение бортовых датчиков – предоставление информации о реальной навигационной обстановке. Однако информация от бортовых датчиков поступает с определенной задержкой, а также зависит от типа датчика.

Например, радиолокационное изображение [2] ландшафта навигации поступает от радиолокационной станции приблизительно каждые 2,2 секунды при скорости вращения антенны 26 оборотов в минуту. Измерение скорости судна до настоящего времени на большинстве судов осуществляется с помощью ультразвукового доплеровского лага. Погрешность измерений для данного прибора колеблется в пределах 5-10%, а также зависит от градиента дна. Измерение скорости с помощью приемника спутниковой

навигационной системы увеличивают точность измерений, но при наличии мощных источников электромагнитных излучений достоверность информации существенно снижается.

Для определения курса судна используют гирокомпас, результаты измерений которого зависят от инерционности прибора.

Таким образом, для обеспечения точного удержания судна на заданной траектории необходимо обеспечить высокую точность измерений параметров движения, в т.ч. скорости и курса.

2. Математическая модель судна

Основными параметрами движения судна являются скорость v движения и курс Ψ судна. Уравнение для вычисления курса судна имеет следующий вид [3]:

$$\frac{d\Psi}{dt} = \omega, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость вращения судна.

При выполнении «слабых» маневров, т.е.

$$\sin \delta \approx \delta; \quad \sin \beta \approx \beta, \quad (2)$$

где δ – угол перекладки руля, β – угол дрейфа [3], уравнение для расчета скорости судна можно записать в следующем виде [4]:

$$T_n \frac{dv}{dt} + v = K_n n, \quad (3)$$

где T_n и K_n – нелинейные коэффициенты, зависящие от числа оборотов двигателя, n – число оборотов двигателя.

Динамику регулирования судном, при выполнении условия (2), обычно описывают одним из следующих уравнений Номото [5]:

$$T \frac{d\omega}{dt} + \omega = K \delta, \quad (4)$$

$$T_1 T_2 \frac{d^2 \omega}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{d\omega}{dt} + \omega = K \left(\delta + T_3 \frac{d\delta}{dt} \right), \quad (5)$$

где K – коэффициент, определяемый характеристиками судна (формой, размерами, параметрами движения), T_i ($i=1,2,3$) – постоянные времени [5]. Постоянная времени T в уравнении (4) вычисляется по формуле:

$$T = T_1 + T_2 - T_3. \quad (6)$$

Уравнение (5) применяется для более точного описания угловой скорости вращения и наличии высокопроизводительных средств вычислений. Уравнение (4) используется при жестких ограничениях на время вычисления, а также для предсказания значений угловой скорости судна.

При выполнении судном «сильных» маневров условие (2) не выполняется и результаты вычислений параметров движения по формулам

(3)÷(6) являются приближенными. Один из способов получения точных результатов измерений заключается в уточнении данных на основе информации, поступающей от бортовых датчиков. Другой способ – это применение более точной математической модели описания параметров движения судна.

Из анализа формулы (3) видно, что для судов оборудованных одной силовой установкой, скорость можно рассчитать при любых режимах работы двигателя на переднем ходу. Для судов с двухвальной силовой установкой, скорость по уравнению (3) рассчитывается при условии одинаковых режимов работы обоих винтов.

При использовании следующей модели [3] можно описать все возможные маневры судна в горизонтальной плоскости:

$$\left. \begin{aligned} (m + \lambda_{11}) \frac{dv_x}{dt} - (m + \lambda_{22}) v_y \omega_z - \lambda_{26} \omega_z^2 &= N_x; \\ (m + \lambda_{22}) \frac{dv_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) v_x \omega_z + \lambda_{26} \frac{d\omega_z}{dt} &= N_y; \\ (J_z + \lambda_{66}) \frac{d\omega_z}{dt} + \lambda_{26} \frac{dv_y}{dt} - (\lambda_{22} - \lambda_{11}) v_x v_y + \lambda_{26} v_x \omega_z &= M_z. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где λ_{ij} – обобщенные присоединенные массы корпуса судна, образуемые водной средой, в которой осуществляется движение; m – масса судна; J_z – присоединенный момент инерции массы судна; v_x, v_y – проекции вектора скорости судна (рис. 1); ω_z – проекция вектора угловой скорости движения судна; N_x, N_y – проекции вектора внешних сил; M_z – проекция вектора главного момента.

В системе уравнений (7) в явном виде не показано влияние режимов работы двигателей на параметры движения. Для явного указания влияния режимов работы двигателей распишем формулы для проекций сил и момента [3]:

$$\left. \begin{aligned} N_x &= -R - X_A + \sum_{i=1}^{Z_p} T_{Ei}; \\ N_y &= Y_K - Y_A - \sum_{i=1}^{Z_p} Y_{Ri}; \\ M_z &= M_K - M_A + l_R \sum_{i=1}^{Z_p} Y_{Ri}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где R – сопротивление воды движению судна; Y_K – боковая гидродинамическая сила; M_K – момент гидродинамических сил относительно вертикальной оси; X_A, Y_A – проекции аэродинамической силы на ось x и y соответственно; M_A – момент аэродинамических сил; T_{Ei}, Y_{Ri} – полезная тяга и боковая сила i -го движительно-рулевого комплекса (ДРК); Z_p – число ДРК; l_R – расстояние от ДРК до центра тяжести судна.

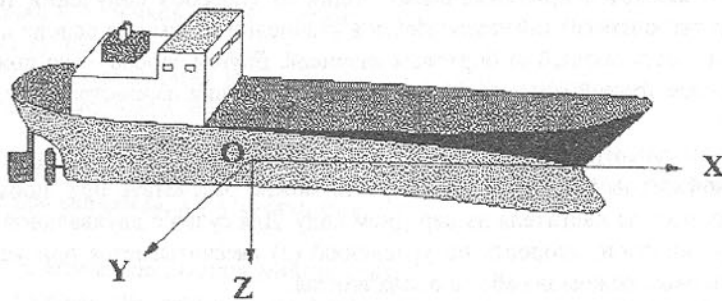


Рис. 1. Система координат судна

Сила тяги пропорциональна плотности воды ρ , частоте вращения винта n и диаметру винта D [3]:

$$T_E = k_T \rho n^2 D^4, \quad (9)$$

где k_T – коэффициент упора винта.

При установленном прямолинейном движении судна скорость можно рассчитать по следующей формуле [3]:

$$(m + \lambda_{11}) \frac{dv_x}{dt} = \sum_{i=1}^{z_s} T_{E_i} - R - X_A. \quad (10)$$

Структура формулы для сопротивления воды движению судна, вытекающая из теории подобия движущей жидкости, имеет следующий вид:

$$R = C \frac{\rho}{2} \Omega v^2, \quad (11)$$

где Ω – площадь, погруженного в среду, тела; C – коэффициент полного сопротивления, ρ – плотность воды.

3. Реализация модели судна

Согласно требованиям национальных нормативных документов Украины (РШС-89) на судне в виде таблиц и графиков имеются 16 характеристик поворотливости, которые описывают его поведение при маневрировании. Однако, такое количество характеристик недостаточно для управления судном в стесненных условиях, характерных для речной навигации. Согласно ряду исследований [6], для эффективного управления судном в таких условиях требуется порядка 100 характеристик поворотливости. Но непосредственное использование такого количества данных судоводителем представляет серьезные трудности.

Выходом из данной ситуации является использование соответствующей модели. Одним из способов уменьшения объема информации, об-

рабатываемой судоводителем, является разработка математических моделей судна, которые адекватно (с заданной точностью) отражали бы характеристики поворотливости судна.

Для изучения влияния режимов работы ДПК на параметры движения была создана модель в среде моделирования SIMULINK [7], которая позволяет создавать иерархические структуры моделей с неограниченной вложенностью и собственные библиотеки блоков.

По уравнениям (1), (3)+(5), (7)+(11) была составлена блок-схема модели в среде SIMULINK, фрагменты которой представлены на рис. 2 и 3. Блок-схема модели имеет 4 уровня. Самый верхний (первый) уровень представлен на рис. 2. На рис. 3 представлена блок-схема для расчета сопротивления воды R движению судна, которая является третьим уровнем.

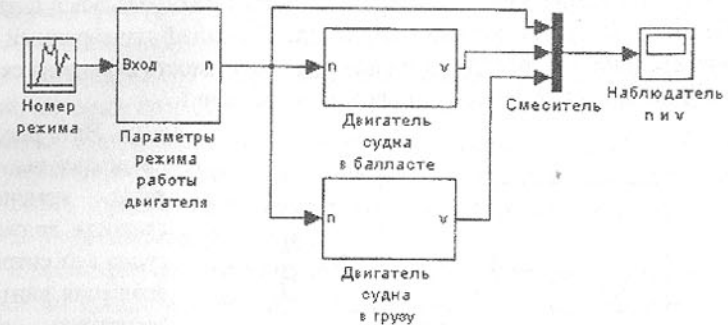


Рис. 2. Схема для скорости движения судна

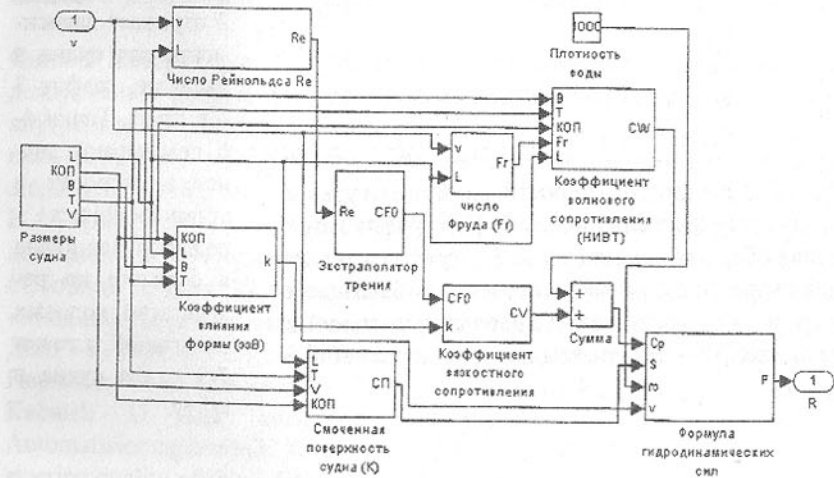


Рис. 3. Схема для расчета сопротивления воды движению судна

Разработанная модель может быть использована для исследования прямолинейного движения судна при изменении скорости вращения винтов.

Приведенная математическая модель является частью модели, используемой для планирования траектории движения судна и управления движением судна по ней.

Для исследования зависимости скорости судна от водоизмещения и режимов работы двигателя были проведены модельные эксперименты. При этом в качестве прототипа для идентификации модели были взяты суда смешанного плавания серии «Славутич», типичные для бассейна реки Днепр.

Исследования модели проводились для прямолинейного движения судна в следующих конфигурациях: в балласте (водоизмещение 3029 т) и в грузу (водоизмещение 3460 т). Работа двигателя имитировалась в следующих режимах: передний полный ход, передний полный маневренный ход, передний средний ход, передний малый ход. Зависимость величины скорости вращения винтов от режима приведена в таблице 1.

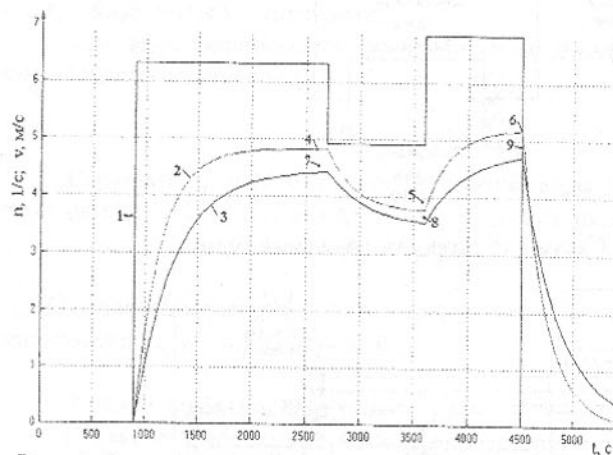


Рис. 4. Зависимость скорости движения судна v от скорости вращения винтов n (1 – график изменения оборотов двигателя; 2, 3 – график изменения скорости судна соответственно в балласте и в грузу; 4-6 – результаты ходовых испытаний в балласте; 7-9 – результаты ходовых испытаний в грузу)

На рис. 3 представлены графики изменения скорости движения судна v от скорости вращения винтов n (двигатели работают в одинаковых режимах). График 2 отражает зависимость для судна в балласте, график 3 – в грузу. Точки 4-6 показывают значения скорости в установившихся режимах для судна в балласте по результатам ходовых испытаний, а точки 7-9 – для судна в грузу.

Таблица 1. Скорость вращения винтов

Режим	Скорость вращения винтов, об/мин
Стоп	0
Передний полный ход	410
Передний полный маневренный ход	380
Передний средний ход	295
Передний малый ход	185

При анализе результатов исследований математической модели максимальное значение относительной погрешности составило 4,3%, что показывает адекватность разработанных моделей реальной динамики судна.

Заключение

Разработанная система обеспечивает возможность гибкого изменения параметров моделирования динамического объекта и позволяет всесторонне исследовать поведение судна при различных режимах работы силовой установки. Результаты решения системы дифференциальных уравнений, которые составляют математическую модель силовой установки и динамики судна, позволяют эффективно планировать траекторию движения управляемого объекта. Дальнейшее уточнение моделей возможно за счет более точного учета нелинейного характера динамики судна и его элементов (двигателя, руля и пр.).

Рассмотренная математическая модель и ее реализация являются элементом среды моделирования интегрированной навигационной системы судов внутреннего и смешанного плавания. Данная работа выполняется в рамках научного сотрудничества ДонГТУ с Институтом системной динамики и управления (ISR) Штуттгартского университета (Германия).

Список литературы: 1. Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Подходы к моделированию работы интегрированных навигационных систем для судов внутреннего и смешанного плавания // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка, вип. 6. – Донецьк: ДонДТУ, 1999. С.115-120. 2. Святный В.А., Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В., Потапенко В.А. Имитация радиолокационной информации в интегрированной навигационной системе // Сборник трудов VI международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века». – Том 3. – Донецьк: ДонДТУ, 1999. С.12-15. 3. Ходкость и управляемость судов. // Под ред. В.Г. Павленко. – М.: Транспорт, 1991. – 396 с. 4. Gilles E.D., Neul R., Plocher T., Kabatek U. Ein integriertes Navigationssystem für Binnenschiffe. Automatisierungstechnik 38 (1990), S.202-209, 247-257. 5. Nomoto K. On steering quality of ships. International Shipbuilding Progr. 4 (35) (1957) pp.354-

370. 6. Мальцев А.С. Информационно-управляющая система учета динамики судна при маневрировании: Автореф. дис... д-ра техн. наук. - Одесса: ОГМА, 1997 - 48с. 7. Гуляев А.К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows. - СПб.: КОРОНА принт, 1999.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ АКТИВИРОВАННЫМ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ ПРОВОЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Белоцерковский М.А., Сухоцкий П.Г.
(ИНДМАШ НАН Б, г. Минск, Беларусь)

A new flame spraying installation are presented. The flame spray unit is designed for coating of machine parts by spraying of wires with ultrasonic activation.

Упрочнение и восстановление быстроизнашивающихся деталей машин и элементов конструкций методами газотермического напыления (ГТН) покрытий из порошковых, проволочных и прутковых материалов является одним из самых интенсивно развивающихся направлений в ремонтном производстве, при создании ресурсосберегающих технологий, защите от износа и коррозии.

Для процессов газотермического напыления разработаны и выпускаются специальные композиционные материалы в виде порошков проволок, шнуров, стержней, обладающие комплексом определенных заданных свойств, зависящих от их состава. Стоимость порошковых материалов или гибких шнуров весьма высока, поскольку процессы их получения энергоемки, включают большое количество операций. Высокая стоимость порошковых материалов и энергоемкость оборудования для плазменного и детонационного напыления обуславливают экономические преимущества проволочных методов - газопламенного и электрометаллизационного. Особенно эффективны эти методы при восстановлении деталей машин и механизмов общемашиностроительного профиля, то есть там, где не требуется наносить слои из керамики, жаропрочных композитов, а реставрации подлежат детали из сталей, чугунов, цветных металлов и их сплавов.

Важнейшим показателем, влияющим на выбор области рационального использования покрытия, является сохранение исходного химического состава материала проволоки. В публикациях, посвященных исследованию состава газотермических покрытий, отмечается, что при плазменном напылении и электродуговой металлизации происходит значительное

уменьшение содержания легирующих элементов. Имея явные преимущества перед другими способами по производительности и удельной себестоимости, электродуговая металлизация обладает существенным недостатком, а именно: наблюдается выгорание легирующих элементов и термодеструкция твердых включений (карбидов, карбонитридов) в электрической дуге при нанесении покрытий из стальных проволок. Таким образом, можно утверждать, что наиболее целесообразным и экономически эффективным методом восстановления рабочих поверхностей деталей узлов трения скольжения, выполненных из сталей, чугунов и цветных сплавов является метод газопламенного распыления проволочных материалов (ГПН).

Эффективность процесса ГПН и свойства покрытий обусловлены динамическими параметрами двухфазного потока, сформированного продуктами сгорания рабочих газов, распыляющим воздухом и частицами распыленной проволоки. Управляя скоростью частиц путем изменения рабочих режимов термораспылителя или дистанции напыления, можно наносить покрытия с различной пористостью, проницаемостью, прочностью сцепления и т. д. Кроме того, адгезия и плотность покрытия в значительной степени определяется размером частиц напыляемого материала. Для получения мелкодисперсного распыла, кроме точного соблюдения режимов напыления, необходимо строгое соответствие глубины камеры под воздушной головкой (обжимным соплом) распыляемому материалу и применяемому горючему газу, т.е. определенная длина зоны воздействия газовых потоков на проволоку. Это объясняется тем, что при напылении проволочных материалов, имеющих различную температуру плавления и диаметр, а также при применении различных горючих газов плавление проволоки происходит на различном расстоянии от торца соплового наконечника.

В установках МГИ (Барнаулский аппаратно-механический завод, Россия) используется одна воздушная головка, в аппаратуре с торговой маркой «METCO» (США, Италия, Великобритания) используется набор сменных воздушных головок. Необходимость частой их замены в процессе работы вызывает определенные неудобства, снижает производительность труда. Кроме того, каждая из сменных воздушных головок предназначена для работы с материалами, температуры плавления которых лежат в довольно широком диапазоне.

Исходя из требований не только технического, но и экономического характера, в ИНДМАШ НАН Беларуси разработана установка для активированного напыления проволочных материалов «ТЕРКО». В комплект установки (рис.1) входят термораспылительный пистолет, малогабаритный блок управления подачей рабочих газов, блок управления электроприво-

дом подачи проволоки, распылительные головки для работы на различных горючих газах (ацетилене или пропан-бутане). Устройство распылительной головки таково, что позволяет изменять объем воздушной камеры без замены воздушной головки. Таким образом, расстояние от переднего торца соплового наконечника до выходного отверстия воздушной головки регулируют и выбирают в зависимости от температуры плавления напыляемого материала.

Исследования, проведенные на установке «ТЕРКО», показали, что максимальное увеличение значений скорости полета частиц наблюдается с повышением расхода распыляющего воздуха Q от 0,20 до 0,36 м³/мин, при этом увеличивается и количество мелких фракций, обуславливающее плотность наносимых покрытий (рис.2). Однако с ростом количества ультрамелких (менее 5 мкм) частиц наблюдается уменьшение коэффициента использования напыляемого материала и снижаются физико-механические характеристики покрытий. Последнее обусловлено тем, что ультрамелкие частицы сильнее окисляются и резко возрастает количество окислов в наносимом слое. Таким образом, наиболее оптимальные значения расхода воздуха находятся в пределах 0,32-0,40 м³/мин. При этом распыление стальных проволок обеспечивает следующий гранулометрический состав: от 5 до 10 мкм – 40%, от 10 до 15 мкм – 33%, от 15 до 40 мкм – 20%, от 40 до 50 мкм – 5%, от 50 до 100 мкм – 2%.

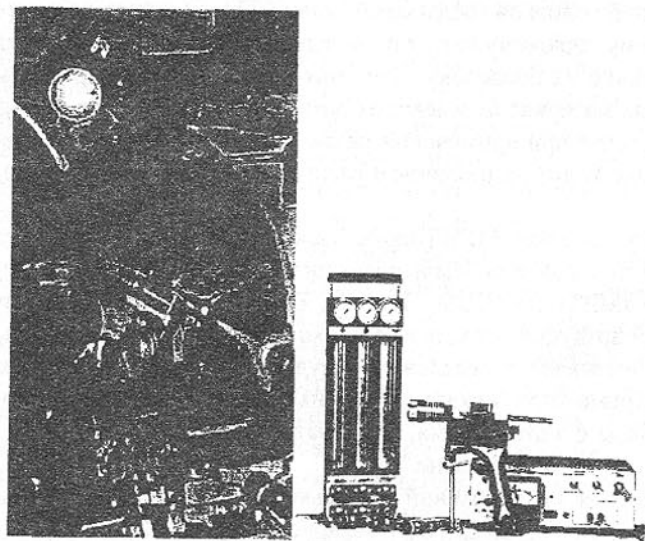


Рис. 1. Внешний вид установки проволочной термораспылительной «ТЕРКО»

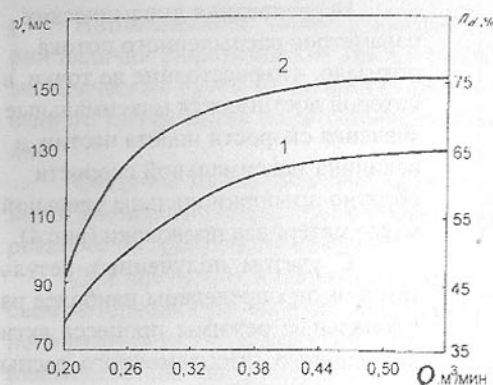


Рис. 2. Влияние расхода распыляющего воздуха на скорость полета (1) и количество частиц размером менее 15 мкм (2) распыленной стальной проволоки диаметром 2 мм

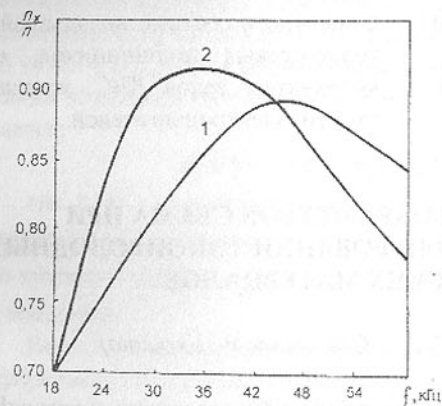


Рис. 3. Влияние частоты колебаний, генерируемых в распыляющем потоке, на количество частиц размером 5...15 мкм (уровень звукового давления: 1 – 160 дБ; 2 – 180 дБ)

Для обеспечения получения более равномерного по грануляции мелкодисперсного распыла проволок из тугоплавких металлов и сплавов было предложено генерировать в обжимающем газовом (воздушном) потоке высокочастотные акустические колебания с высоким уровнем звукового давления.

Акустическое воздействие распыляющего потока препятствует вытягиванию расплавленного металла в нить и вызывает отрыв капель металла с поверхности и вершины конуса плавящегося участка проволоки. Оторвавшиеся капли разрушаются турбулентными пульсациями давления, вызванными мощным звуковым полем.

Исследование влияния акустического воздействия на воздушный поток при распылении стальной проволоки и на механизм образования распыляемых частиц показало (рис. 3), что для получения частиц размером 5...15 мкм в количестве (n_x) 85...90% от их общего количества (n)

необходимо генерировать колебания с частотой 24...48 кГц. Повышение уровня звукового давления позволяет увеличить n_x , причем максимальные значения n_x достигаются при меньших частотах генерируемых колебаний.

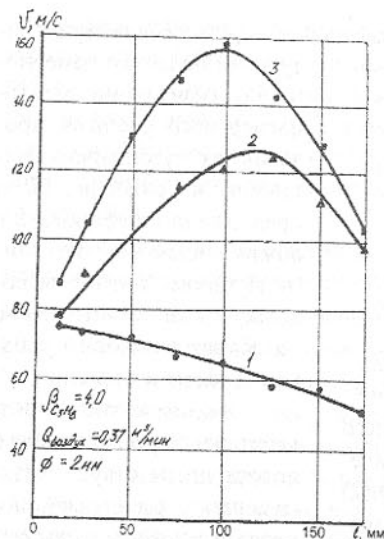


Рис. 4. Изменение скорости движения продуктов сгорания газов (1) и распыленных частиц из стальной (2) и алюминиевой (3) проволоки

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ШЛИФОВАНИИ ТОКОПРОВОДНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Братан С.М. (СевГУ, г. Севастополь, Украина)

The models of operation of combination grinding for processing electrocable of ceramic materials permitting to calculate of pick up are considered to optimize processing and to reduce time of calculation of a cycles of control operation by activity on the automated equipment.

При финишной обработке токопроводных хрупких материалов, например специализированной керамики и токопроводных керамических покрытий применяются комбинированные методы шлифования, при которых съем материала осуществляется за счет комбинации процессов микро-резания-скалывания, хрупкого объемного разрушения и эрозионного удаления материала.

Исследования динамических параметров распыленного потока показало, что расстояние до точки, в которой достигаются максимальные значения скорости полета частиц, и величина максимальной скорости обратно пропорциональны удельной массе материала проволоки (рис.4).

С учетом полученных результатов были определены наиболее рациональные режимы процесса активированного газопламенного распыления проволочных материалов при его реализации в технологиях восстановления изношенных поверхностей валов главных масляных насосов, вентиляторов, водяных насосов, главных и входных валов тягового подвижного состава, вкладышей моторно-осевых подшипников, шестеренчатых валов ДВС, крышек и якорей электродвигателей.

Автоматизация таких процессов в современных условиях возможна при наличии рациональных циклов управления операцией. Их разработка эмпирическим путем не позволяет широко внедрить процессы комбинированного шлифования из-за большого объема предварительных исследований.

Создание математической модели процесса обработки дает возможность автоматизировать проектирование финишной операции и оптимизировать ее по требуемому критерию.

Для получения математической модели, позволяющей рассчитывать съем материала при наличии микро-резания-скалывания, хрупкого объемного разрушения и эрозионного удаления материала, рассмотрен процесс взаимодействия инструмента с заготовкой на микроуровне. Алмазные зерна расположены в объеме шлифовального круга хаотично, поэтому процесс их взаимодействия с обрабатываемым материалом носит случайный характер [1,2].

Удаление материала в результате работы эрозии и абразива является случайным процессом, охарактеризовать который можно полной вероятностью удаления материала. Для любой точки поверхности заготовки можно рассматривать случайное событие, состоящее в совместном не удалении этой точки эрозионным воздействием, микро-резанием-скалыванием и хрупким объемным разрушением, тогда общая вероятность удаления определяется:

$$P(\bar{M}) = P_1(\bar{M}) \cdot P_2(\bar{M}) \cdot P_3(\bar{M}), \quad (1)$$

где $P_1(\bar{M})$ - вероятность того, что материал не удален за счет микро-резания; $P_2(\bar{M})$ - вероятность того, что материал не удален за счет объемного хрупкого разрушения, $P_3(\bar{M})$ - вероятность эрозионного неразрушения материала.

Вероятность не удаления материала в момент времени τ за счет микро-резания определяется зависимостью [2]

$$P_1(\bar{M}) = \exp \left[-a_0 - \int_{t_0}^t a_{1i}(y, \tau) d\tau \right], \quad (2)$$

где y - расстояние от наружной поверхности заготовки до рассматриваемого уровня. Показатель a_i для каждого прохода определяется выражением

$$\Delta a_1(y, \tau) = \kappa_c b_s(y, \tau) \Delta \lambda,$$

где κ_c - коэффициент стружкообразования; $b_s(y)$ - ширина зерна на уровне y ; $\Delta \lambda$ - число алмазных зерен, прошедших через единичное сечение.

Для условий, когда шлифуются хрупкие материалы (различные виды керамики), $\kappa_c = 1$. В процессе шлифования определенное количество зерен

осуществляет микрорезание поверхности заготовки, а другая часть зерен непосредственно скалывает материал. Поэтому при расчете показателя a_1 , необходимо учитывать только те зерна, которые могут срезать материал, т.е. из общего числа зерен нужно вычесть зерна, производящие скалывание.

Тогда $\Delta a_1(y, \tau) = b_3(y, \tau) \Delta \lambda (1 - P_{ск})$, (3)
где $P_{ск}$ - вероятность объемного хрупкого разрушения материала заготовки при взаимодействии с зерном инструмента.

При аппроксимации профиля зерна степенной зависимостью (в простейшем случае - параболоидом вращения) получаем

$$b_3(y, \tau) = C_b (t_\phi - y - u)^m, \quad (4)$$

где C_b , m - коэффициенты формы зерна; t_ϕ - фактическая глубина микрорезания; u - расстояние от условной наружной поверхности инструмента до вершины зерна.

Через единичное сечение $l \cdot \Delta u$ за время $\Delta \tau$ проходит $\Delta \lambda$ зерен инструмента

$$\Delta \lambda = V_\kappa n_3 f(u) du d\tau, \quad (5)$$

где n_3 - количество зерен в единице объема рабочего слоя инструмента; V_κ - скорость подачи инструмента.

В свою очередь функция распределения количества рабочих зерен инструмента по координате u может быть аппроксимирована зависимостью [2]

$$f(u) = \frac{\chi}{H_u^\chi} u^{\chi-1},$$

где H_u - величина слоя рабочей поверхности круга, в пределах которой подсчитывается n_3 .

После подстановки (5) и (6) в (4) и интегрирования по u и τ , следует:

$$a_1(y, \tau) = n_3 V_\kappa \kappa_c \int_{t_0}^{t_\phi - y} \int_0^{t_\phi - y} b_3 f(u) (1 - P_{ск}) du d\tau. \quad (6)$$

Вероятность скалывания $P_{ск}$ определяется режимом шлифования и расположения зерна в объеме инструмента. Для ее расчета могут быть использованы зависимости А.В. Королева [1], полученные при анализе процесса правки абразивного инструмента и позволяющие определить вероятность объемного разрушения зерен шлифовального круга. Процесс правки абразивных кругов в определенном смысле подобен процессу алмазного шлифования. Однако данные зависимости сложны для практического использования. Поэтому желательно заменить их приближенными так, чтобы

стало возможным аналитическое вычисление интеграла (8). В этом качестве может быть использована зависимость

$$P_{ск} = P_0 \left[1 - \left(\frac{u}{t_\phi} \right)^\beta \right]. \quad (7)$$

Для уровня $u=0$ и $P_{ск}=P_0$, где P_0 определяется режимами шлифования и характеристикой инструмента. Для уровня $u=t_\phi$ (наружная поверхность заготовки) $P_{ск}=0$. Коэффициенты P_0 и β для конкретных условий шлифования могут быть рассчитаны по зависимостям [1]. Для этого достаточно рассчитать только два значения $P_{ск}$ и u . Подставив (9) в (8), получим

$$a_1(y, \tau) = n_3 V_\kappa \kappa_c \int_{t_0}^{t_\phi - y} \int_0^{t_\phi - y} C_b (t_\phi - y - u)^m \frac{\chi}{H_u^\chi} u^{\chi-1} \left[1 - P_0 + P_0 \left(\frac{u}{t_\phi} \right)^\beta \right] du d\tau. \quad (8)$$

Интеграл (8) вычислен при $\tau=t_0$:

$$\begin{aligned} a_1(y, \tau) &= n_3 V_\kappa \kappa_c \int_{t_0}^{t_\phi - y} \int_0^{t_\phi - y} \frac{C_b (t_\phi - y - u)^m \chi u^{\chi-1}}{H_u^\chi} (1 - P_0) du d\tau + \\ &+ n_3 V_\kappa \kappa_c \int_{t_0}^{t_\phi - y} \int_0^{t_\phi - y} \frac{C_b (t_\phi - y - u) \chi u^{\chi-1}}{H_u^\chi} P_0 \left(\frac{u}{t_\phi} \right)^\beta du d\tau = \\ &= \frac{C_b n_3 V_\kappa \kappa_c \Gamma(m+1) \Gamma(\chi) (t - t_0) (t_\phi - t_0)^{m+\chi}}{H_u^\chi \Gamma(m+\chi+1) (m+\chi+1)} (1 - P_0) + \\ &+ \frac{C_b n_3 V_\kappa \kappa_c \Gamma(m+1) \Gamma(\chi+\beta) (t - t_0) (t_\phi - t_0)^{m+\chi+\beta}}{t_\phi^\beta H_u^\chi \Gamma(m+\chi+\beta) (m+\chi+\beta+1)} P_0. \end{aligned} \quad (9)$$

С учетом обозначений

$$\begin{aligned} A &= \frac{\Gamma(m+1) \Gamma(\chi)}{\Gamma(m+\chi+1) (m+\chi+1)} (1 - P_0); B = \frac{\Gamma(m+1) \Gamma(\chi+\beta)}{\Gamma(m+\chi+\beta+1) (m+\chi+\beta+1)} P_0; \\ C &= \frac{C_b n_3 V_\kappa \kappa_c}{H_u^\chi}; \quad (9) \text{ примет вид:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a(y, \tau) &= CA(t-t_0)(t_\phi - y)^{m+\chi} (1 - P_0) + \frac{CB}{t_\phi^\beta} (t-t_0)(t_\phi - y)^{m+\chi+\beta} P_0 = \\ &= C(t-t_0)(t_\phi - y)^{m+\chi} \left[A + \frac{B}{t_\phi^\beta} (t_\phi - y)^\beta \right] \end{aligned} \quad (10)$$

Через каждый промежуток времени $\Delta \tau$ значение y изменяется на величину съема Δh

$$\begin{aligned} y(\tau_1) &= y + \Delta h \\ y(\tau_2) &= y + 2 \Delta h \\ y(\tau_3) &= y + 3 \Delta h \end{aligned} \quad \text{и т.д.}$$

Отсюда с учетом (2) получено

$$P_1(\bar{M}) = \exp \left[- \int_{t_0}^t C(t-t_0)(t_\phi - y - \tau \Delta h)^{m+\chi} \left(A + \frac{B}{t_\phi^\beta} (t_\phi - y - \tau \Delta h)^\beta \right) d\tau \right], \quad (11)$$

где τ - текущее время.

После интегрирования по τ , выражение (11) примет вид

$$P_1(\bar{M}) = \exp \left[- G_1 \frac{(t_\phi - y - t \Delta h)^{m_1} - (t_\phi - y - t_0 \Delta h)^{m_1}}{(t_\phi - y) m_1} + \right. \\ \left. + L_1 \frac{(t_\phi - y - t \Delta h)^{m_2} - (t_\phi - y - t_0 \Delta h)^{m_2}}{(t_\phi - y) m_2} \right], \quad (12)$$

где $G_1 = CA$; $L_1 = CB$, $m_1 = m + \chi + 1$, $m_2 = m + \chi + \beta + 1$.

Вероятность не удаления материала за счет объемного хрупкого разрушения запишется как

$$P_2(\bar{M}) = \exp \left(- a_0 - \int_{t_0}^t a_2(y, \tau) d\tau \right).$$

Для рассматриваемого случая ширина единичной риски b_x , как результат взаимодействия зерна инструмента с деталью из керамики, больше его фактической ширины b_f .

Для аппроксимации b_x используется степенная зависимость

$$b_x(y, \tau) = C_{bx} (t_\phi - y - u + \Delta h_x)^{m_x},$$

где Δh_x - величина приращения съема материала в процессе хрупкого разрушения керамики.

В данном случае показатель степени a_2 равен

$$\Delta a_2(y, \tau) = b_x(y, \tau) \Delta \lambda P_{ск}.$$

Преобразования аналогичные выводу зависимости для $a_1(y)$, приведут к зависимости

$$P_2(\bar{M}) = \exp \left[- a_0 - \int_{t_0}^t C(t-t_0)(t_\phi + \Delta h_x - y - \tau \Delta h)^{m+\chi} \left(A_2 + \frac{B}{t_\phi^\beta} (t_\phi + \Delta h_x - y - \tau \Delta h)^\beta \right) d\tau \right], \quad (13)$$

$$\text{где } A_2 = \frac{\Gamma(m+1)\Gamma(\chi)}{\Gamma(m+\chi+1)(m+\chi+1)} P_0.$$

После интегрирования по τ , выражение (13) примет вид

$$P_2(\bar{M}) = \exp \left[- G_2 \frac{(t_\phi - y + \Delta h_x - t \Delta h)^{m_1} - (t_\phi - y + \Delta h_x - t_0 \Delta h)^{m_1}}{(t_\phi - y) m_1} + \right. \\ \left. + L_1 \frac{(t_\phi - y + \Delta h_x - t \Delta h)^{m_2} - (t_\phi - y + \Delta h_x - t_0 \Delta h)^{m_2}}{t_\phi^\beta (t_\phi - y) m_2} \right], \quad (14)$$

где $G_2 = CA_2$.

Для описания вероятности эрозионного разрушения рассмотрим процессы, протекающие при наличии эрозионных разрядов в зоне обработки.

На поверхности заготовки могут образовываться следы от эрозионных разрядов (Рис.1).

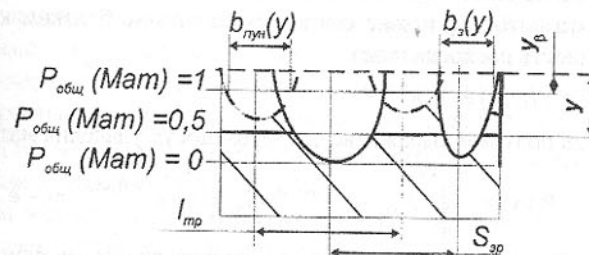


Рис.1 Расчетная схема

Если две соседние лунки перекрывают друг друга, то материал между ними будет удален полностью. Это условие для любого уровня y можно записать:

$$0 < S_{эп} \leq 0.5 [b_{эп1}(y) + b_{эп2}(y)], \quad (15)$$

где $S_{эп}$ - расстояние между двумя соседними лунками на поверхности в рассматриваемом сечении, $b_{эп1}(y), b_{эп2}(y)$ - ширина двух соседних лунок на уровне y .

Если ширина лунок на уровне y равна, то условие удаления материала можно переписать следующим образом: $0 < S_{эп} \leq b_{эп}(y)$.

Очевидно, что вероятность эрозионного удаления заготовки $P_3(y)$ на уровне y будет равна вероятности попадания случайной величины $S_{эп}$ на отрезок от 0 до $b_{эп}(y)$. Если плотность распределения вероятности непре-

рывной величины $S_{эп}$ обозначить через $f(S_{эп})$, то вероятность удаления материала $P_3(y)$:

$$P_3(y) = P(0 < S_{эп} \leq b_{эп}(y)) = \int_0^{b_{эп}(y)} f(S_{эп}) dS_{эп}. \quad (16)$$

Рассматривая возникновение разрядов в одном сечении заготовки при прохождении единичного участка круга, можно отметить, что вероятность возникновения того или иного количества разрядов зависит только от длины участка сечения. Лунки не могут попасть одна в другую и не могут находиться сколь угодно близко одна к другой, т. к. имеют определенный диаметр канала разряда. Поэтому появление на поверхности заготовки лунок с расстоянием $S_{эп}$ после прохождения единичного участка круга можно рассматривать, как стационарный ординарный поток с ограниченным последствием. Поскольку через каждое сечение заготовки проходит большое количество единичных поверхностей инструмента, то результирующий за проход инструмента поток событий $S_{эп}$ в рассматриваемом сечении, является суммой большого числа стационарных, ординарных потоков с ограниченным последствием. Из теории массового обслуживания следует, что поток $S_{эп}$ можно считать сколь угодно близким к простейшему, а плотность распределения

$$f(S_{эп}) = \lambda \cdot e^{-\lambda S_{эп}}$$

Тогда получим выражение для вероятности удаления материала:

$$P_3(y) = \int_0^{b_{эп}(y)} \lambda_{лун} \cdot e^{-\lambda_{лун} S_{эп}} dS_{эп} = 1 - e^{-\lambda_{лун} b_{эп}(y)} = 1 - e^{-a_3(y)}, \quad (17)$$

где $\lambda_{лун}$ - среднее количество лунок на единицу длины сечения заготовки.

Таким образом, вероятность эрозионного удаления материала на любом из рассматриваемых уровней y определяется шириной образующих лунок и их количеством на единицу длины сечения.

$$a_3(y) = \lambda_{лун} b_{эп}(y). \quad (18)$$

Форму лунки обычно моделируют шарообразным сегментом с диаметром на поверхности - d , и глубиной - h_n [3]. Поверхность, на которой возникают лунки постоянно смещается вглубь заготовки, потому что материал заготовки удаляется. Ширину лунки $b_{эп}$ на уровне $y - y_{\beta}$ от поверхности возникновения разряда (рис. 1) определим из геометрического анализа шарового сегмента:

$$\left. \begin{aligned} b_{эп}(y) &= 0, & \text{при } y_{\beta} > y > y_{\beta} + h_n \\ b_{эп}(y) &= R \sqrt{h_n - y_{эп}}, & \text{при } y_{\beta} \leq y \leq y_{\beta} + h_n \end{aligned} \right\}, \quad (19)$$

где R - показатель, определяющий величину диаметра лунки.

Так как эрозионные разряды возникают в местах формирования сколотых частиц материала (стружек) [3], а доля случайно возникающих разрядов в общем объеме незначительна и ей можно пренебречь, то количество возникающих лунок напрямую зависит от числа режущих зерен и от строения инструмента.

Для определения вероятности эрозионного разрушения заготовки при шлифовании периферией круга рассмотрим сечение детали в зоне контакта.

За время Δt сечение заготовки смещается на расстояние Δz и через него проходит участок круга с длиной дуги $(V_{\kappa} \pm V_u) \Delta t$, где V_{κ} - окружная скорость круга, V_u - скорость заготовки. Из общего числа режущих элементов на поверхности инструмента стружки могут образовывать зерна, вершины которых расположены в слое круга по высоте $u \leq t_{\phi} - y_{\beta}$, где t_{ϕ} - фактическая глубина резания.

Число стружек $\Delta \lambda$, сформированных элементарным слоем инструмента, вычисляется по плотности распределения зерен $f_3(u)$, возникшие стружки создают высокую местную напряженность электрического поля и тем самым вызывают появление эрозионного разряда. Однако исследования показывают, что не все стружки способны вызвать пробой межэлектродного промежутка. Это связано с тем, что между двумя разрядами в одной точке пространства необходимо наличие паузы длительностью τ_n для деионизации промежутка [3]. Длительность необходимой паузы определяется средой, заполняющей МЭП.

Таким образом, количество разрядов, возникающих в зоне контакта от действия элементарной поверхности инструмента, определим:

$$\Delta N_{эп} = K_{эп} \Delta \lambda \quad (20)$$

где $K_{эп}$ - коэффициент, учитывающий количество стружек, не вызывающих разряд.

Изменение параметра $a_3(y, \tau)$ определим, как приращение суммы поперечных размеров лунок (18) и вычислим:

$$\Delta a_3(y, \tau) = k_c b_{эп}(y) \Delta N_{эп} = k_c b_{эп}(y) n_{\beta} f_3(u) \Delta u (V_{\kappa} \pm V_u) \Delta \tau. \quad (21)$$

Заменив τ на $\frac{z}{V_u}$ вычислим значение показателя $a_{эп}(y, \tau)$ в точке z зоны контакта.

$$a_3(y, \tau) = R k_c \frac{(V_{\kappa} \pm V_u)}{V_u} n_{\beta} \int_0^{t_{\phi} - y_{\beta}} \int_{-L}^z f_3(u) \sqrt{(h_n - y + y_{\beta})} du dz \quad (22)$$

где L - половина длины зоны контакта, z - координата по длине зоны контакта.

Выражение (22) представляет обобщенную зависимость для определения вероятности эрозионного удаления материала заготовки.

Подставляя значения для глубины эрозионной лунки h_z и функцию распределения зерен по высоте $fz(u)$ получим возможность рассчитать полную вероятность удаления материала $P_z(y, z)$ последовательно на всех уровнях заготовки:

$$P_z(y, z) = 1 - \bar{P}_1(y, z) \bar{P}_2(y, z) \bar{P}_3(y, z) = 1 - \exp[-a_0(y, z) - a_1(y, z) - a_2(y, z) - a_3(y, z)]. \quad (23)$$

Общий слой удаленного материала $y_{\bar{p}}$ можно формально записать:

$$y_{\bar{p}} = \int_0^{l_{\bar{p}}} l(P_z(y, z) - \beta_m) dy, \quad (24)$$

где $l(P_z(y, z) - \beta_m)$ - единичная функция, которая при достижении $P_z(y, z)$

величины β_m принимает значение, равное единице; β_m - принятый уровень доверительной вероятности, обычно равен 0,95.

Рассмотренный подход к моделированию процесса комбинированного шлифования позволяет оптимизировать обработку и сокращать время подготовки эффективных циклов обработки на автоматизированном оборудовании.

Список литературы: 1. Королев А.В., Новоселов Ю.К. Теоретико-вероятностные основы абразивной обработки. Часть 1. Состояние рабочей поверхности абразивного инструмента. - Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1987. - 160 с. 2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. - Саратов: Изд-во Саратовск. ун-та, 1979. - 232 с. 3. Артамонов Б.А., Вишинский А.А., Волков Ю.С., Глазков А.В. Размерная электрическая обработка металлов - М.: Высшая школа, 1978. - 336с.

НЕПРЕРЫВНОЕ СМЕШИВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Васин В.М., Ширинкин А.И.
(ТулГУ, ОАО ТМК, г. Тула, Россия)

The process of continuous mixing of loose materials is offered. The quality of mixture does not depend on physical-mechanical properties of loose materials and from a relation of masses of components. Essence of an process : the particles each a component feed particle after particle, the mixture is formed as a result of superposition one on another of flows of particles all components. The mixer consist of proportioners of components and conveyor. The mathematical

model of process of mixing is constructed on the basis of the theory of time series.

Непрерывный способ смешивания предполагает одновременное проведение операций дозирования компонентов в смеситель проходного типа, собственно смешения и выгрузки смеси. Дозирование осуществляется таким образом, что на входе в смеситель потоки компонентов имеют соотношение, в среднем соответствующее требуемому их содержанию в смеси. В смесителе происходит перераспределение частиц компонентов между потоками: частицы каждого из компонентов должны быть размещены среди частиц других компонентов. Качество смеси является функцией времени, физико-механических свойств частиц компонентов и конструктивных особенностей смесителя. На практике встречается ряд случаев, когда получить смесь высокого уровня однородности крайне сложно или невозможно. К таким случаям относятся: резко выраженные различия в физико-механических свойствах (гранулометрический состав, насыпная плотность, влажность, текучесть и др.) частиц компонентов, большая разница содержания компонентов в смеси, смешение компонентов, подверженных агломерированию, смешение компонентов, частицы которых имеют ограниченную подвижность и др. [1].

С целью повышения эффективности непрерывного способа смешивания ранее высказывались предложения о дозировании компонентов потоками, имеющими минимальное сечение [2], о дозировании компонентов микрообъемами [3]. В последнем случае необходимость в смесителе отпадает, если только смешивание не должно в соответствии с требованиями, предъявляемыми к готовой смеси, сопровождаться дополнительными технологическими операциями втирания, проведения реакций и т.п..

В развитии этого подхода предлагается формировать потоки компонентов в смесителе непрерывного действия следующим образом: частицы в каждом потоке следуют одна за другой с некоторым интервалом; средняя величина интервала определяется долей компонента в смеси и общим количеством потоков компонентов. Практически создать поток частиц компонента с постоянными интервалами между частицами по ряду причин невозможно, поэтому допускается некоторая вариация величины интервала при соблюдении двух условий: постоянство средней величины и вариация величины интервала относительно средней величины в пределах, определяемых требованиями к качеству готовой смеси. Поток смеси в этом случае представляет собой поток следующих одна за другой и чередующихся в соответствии с долями компонентов частиц всех компонентов. Из-за вероятностного характера потоков компонентов чередование частиц также имеет вероятностный характер. Пробы, взятые из различных участков по-

тока смеси, содержат различные количества всех компонентов, но вследствие условий, предъявляемых к потокам компонентов, среднее содержание каждого компонента соответствует его доли в объеме смеси, а вариация содержания зависит от вариации величины интервала между частицами в потоке компонента. Смеситель состоит из дозирующих устройств и транспортирующего органа, например, в виде ленточного транспортера.

Предлагаемым способом рекомендуется смешивать сыпучие материалы средней и крупной дисперсности. Очевидно, что при его использовании на однородность смеси не влияют различия в физико-механических свойствах компонентов, их соотношения и другие факторы, затрудняющие получение высокого уровня однородности. Достоинством способа является отсутствие трения между частицами компонентов при смешении, что является важным показателем для некоторых видов производств.

Для обеспечения достаточно высокой производительности на практике следует выбирать необходимое число ручьев всех потоков компонентов.

Если принять в качестве аргумента порядковый номер интервала между двумя смежными частицами, то поток сыпучего материала можно рассматривать как временной ряд и привлечь для его описания и анализа соответствующий математический аппарат теории временных рядов [4].

В общем случае структура потока сыпучего материала, рассматриваемого как временной ряд, может складываться из четырех составляющих: а) тренд, б) колебания относительно тренда с большей или меньшей регулярностью, в) циклические изменения, г) случайная компонента. В связи с этим поток сыпучего материала можно рассматривать как одну из таких составляющих или сумму нескольких из них.

Если предварительный анализ опытных данных позволяет сделать вывод о наличии тренда, то для его математического описания удобно использовать модель в виде полинома. Метод наименьших квадратов дает возможность подобрать его оптимальную степень.

Циклические изменения рекомендуется описывать линейными комбинациями тригонометрических функций порядкового номера интервала, причем коэффициенты линейных комбинаций рассматриваются как параметры.

Для выявления случайности потока сыпучего материала можно использовать один из критериев.

Наиболее простым для применения является критерий, который состоит в подсчете экстремумов: «пиков» и «ям» в последовательности величин интервалов потока. Пик - значение, которое больше обоих соседних. Если есть два и более значения, которые больше предыдущих и предшествующих, то их следует рассматривать как один пик. Аналогично яма - зна-

чение, которое меньше двух соседних. Если поток случаен, то распределение экстремумов быстро стремится при увеличении n к нормальному с математическим ожиданием и дисперсией

$$M\{p\} = \frac{2}{3}(n-2), \quad D\{p\} = \frac{1}{90}(16n-29),$$

где n - количество интервалов между частицами сыпучего материала изучаемого потока.

Свойством случайного ряда является также равенство математического ожидания числа фаз длиной d величине

$$M\{N_d\} = \frac{2(n-d-2)(d^2+3d+1)}{(d+3)!}$$

где d - количество интервалов потока сыпучего материала между экстремальными точками.

Если в качестве альтернативы выступает наличие тренда, то характеристики критерия, основанного на экстремальных точках, могут быть довольно плохими, а в некоторых случаях этот критерий будет обладать сравнительно с другими критериями нулевой эффективностью. Если альтернативой является цикличность, то эффективность критерия лучше. В случайных рядах среднее количество интервалов между экстремальными значениями равно приблизительно 1,5 с дисперсией приблизительно 0,9 n .

Следующий критерий состоит в подсчете числа положительных разностей первого порядка в потоке сыпучего материала, иначе, числа точек роста - c . Распределение c случайного потока быстро сходится к нормальному с параметрами

$$M\{c\} = 0,5(n-1), \quad D\{c\} = \frac{1}{12}(n+1).$$

Этот критерий является совершенно не эффективным, если альтернативой являются симметричные колебания величины интервалов потока. В основном он считается полезным при такой альтернативе, как тренд, особенно линейный тренд. В этом случае он эффективнее критерия по экстремальным точкам, но значительно хуже критериев, основанных на ранговых соотношениях.

Третий критерий обязывает сравнивать все пары, а не только соседние, как в предыдущем критерии. Для этого следует рассмотреть последовательность интервалов между частицами $l_1, l_2, \dots, l_n$ и подсчитать число пар P , для которых $l_j > l_i, j > i$. Для случайного ряда математическое ожидание

$$M\{P\} = 0,25n(n-1).$$

Если наблюдаемое $P > M\{P\}$, то это указывает на тенденцию к положительному тренду, в противном случае - к отрицательному.

Если альтернативой является линейный тренд, то можно использовать весьма эффективную статистику

$$\tau = 1 - \frac{4Q}{n(n-1)},$$

где Q - дополнение к P , т.е. число пар, у которых $l_j < l_i$, $j > i$.

Её математическое ожидание и дисперсия

$$M\{\tau\} = 0, \quad D(\tau) = \frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}.$$

Распределение τ быстро сходится к нормальному с ростом n .

Той же эффективностью, что и τ , обладает коэффициент ранговой корреляции Спирмена

$$r_s = 1 - \frac{12V}{n(n^2-1)},$$

где $V = \sum_{i < j} (j-i)H_{ij}$, $H_{ij} = 1$ при $l_i > l_j$, $H_{ij} = 0$ при $l_i < l_j$, $H_{ii} = 1$.

Для случайных рядов

$$M\{r_s\} = 0, \quad D\{r_s\} = \frac{1}{n-1}.$$

В неслучайных потоках сыпучего материала должен существовать тот или иной тип зависимости между интервалами l_i и l_{i+k} , $k \geq 0$. Одной из полезных характеристик такой зависимости является выборочный коэффициент корреляции

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (l_i - \bar{l})(l_{i+k} - \bar{l})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (l_i - \bar{l})^2}, \quad r_{-k} = r_k, \quad r_0 = 1,$$

где $\bar{l}$ - выборочное среднее величины интервала между частицами в потоке сыпучего материала, который можно использовать в качестве критерия случайности потока.

Для случайных потоков с точностью до выборочных ошибок все коэффициенты, кроме r_0 , равны нулю.

Поток частиц сыпучего материала будет являться стационарным, если функция распределения любых n последовательных $l_{i+1}, l_{i+2}, \dots, l_{i+n}$ $F(l_{i+1}, l_{i+2}, \dots, l_{i+n})$ не зависит от i для всех целых $n > 0$. В этом случае любые n последовательных величин интервалов имеют одно и то же распределение независимо от места, которое они занимают в ряде.

В общей теории случайных процессов, частным случаем которых являются временные ряды, принято определять стационарность в широком смысле. Поток сыпучего материала будет являться стационарным по среднему, если все величины l имеют одно и то же математическое ожидание, и стационарным по дисперсии, если все l имеют одну и ту же дисперсию:

$$\mu = M\{l\} = \int_{-\infty}^{\infty} l_n \cdot dF(l_n), \quad \sigma^2 = D\{l\} = \int_{-\infty}^{\infty} (l_n - \mu)^2 \cdot dF(l_n).$$

В общем случае для любой пары l_i и l_{i+j} существует теоретические автоковариация и автокорреляция

$$\gamma_j = M\{(l_i - \mu)(l_{i+j} - \mu)\}, \quad \gamma_j = \gamma_{-j}, \quad \rho_j = \frac{\gamma_j}{\sigma^2}, \quad \rho_j = \rho_{-j}, \quad \rho_0 = 1.$$

Зависимость $\rho(j)$ называется коррелограммой потока.

В соответствии с теоремой Биркгофа-Хинчина, если l_i - стационарный поток с конечным средним μ , а $E\{l'\}$ - среднее одной реализации и

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \rho_j = 0, \quad (1)$$

то

$$e = E\{l'\} = M\{l\} = \mu.$$

Это означает, что на практике можно оценивать μ , вычисляя среднее величин интервалов потока по единственной его реализации.

Если $E\{l'\} = M\{l\}$ и второй момент $M\{(l - \mu)^2\}$ конечен, то поток является эргодическим. Для эргодического потока автокорреляцию можно оценивать по одной реализации потока.

Условие (1) не является жестким. Оно выполняется, если автокорреляция стремится к нулю по мере удаления друг от друга l_i и l_{i+j} , которым она соответствует.

Коррелограмма является полезным инструментом при изучении внутренней структуры потоков сыпучих материалов. Сходным целям служат спектральная функция

$$W(\alpha) = \alpha + 2 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\rho_j \sin(\alpha j)}{j}$$

и спектральная плотность

$$w(\alpha) = \frac{dW}{d\alpha} = 1 + 2 \sum_{j=1}^{\infty} \rho_j \cos(\alpha j) = \sum_{-\infty}^{\infty} \rho_j \cos(\alpha j)$$

Последнее выражение преобразуется к виду

$$\rho_j = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi w(\alpha) \cos(\alpha j) \cdot d\alpha.$$

График $w(\alpha)$ называется спектром.

Функция $w(\alpha)$ периодическая с периодом 2π

$$W(0)=0, W(\pi)=\pi, W(2\pi)=2\pi.$$

Можно использовать также интенсивность

$$I(\alpha) = \frac{\sigma^2}{\pi} w(\alpha).$$

В какой мере полезны коррелограмма или спектр при исследовании внутренней структуры потока сыпучего материала зависит от целей исследования и априорных знаний о порождающем поток механизме. Коррелограмма указывает на зависимость между интервалами потока, спектр указывает на то, в какой мере ряд подчиняется тому или иному ритму.

Аппарат теории временных рядов дает возможность привлечь для описания потоков сыпучего материала различные модели, в том числе уравнение авторегрессии

$$l_i = -\alpha_1 l_{i-1} - \alpha_2 l_{i-2} - \dots - \alpha_h l_{i-h} + \varepsilon_i,$$

которое можно записать в более удобной форме, если принять $\alpha_0 = 1$

$$\sum_{k=0}^h \alpha_k l_{i-k} = \varepsilon_i,$$

где ε_i - случайная величина.

Последовательные величины ε_i независимы и имеют одну и ту же дисперсию.

Последнее выражение часто преобразуют к виду

$$l_i = \frac{1}{\sum \alpha_k D^k} \varepsilon_i = \left(\sum \beta_k D^k \right) \varepsilon_i = \sum_{k=0}^{\infty} \beta_k \varepsilon_{i-k},$$

где D - такой оператор, что $D l_i = l_{i-1}$, $D^k l_i = l_{i-k}$.

Зависимость между постоянными β_k и α_k определяется из тождества

$$\frac{1}{\sum \alpha_k D^k} = \beta_k D^k.$$

Величины α_k определяются из уравнений Юла-Уокера

$$\rho_k + \alpha_1 \rho_{k-1} + \dots + \alpha_k \rho_{k-h} = 0, \quad k > 0.$$

В частности, поскольку $\rho_{-j} = \rho_j$, то

$$\rho_1 + \alpha_1 + \alpha_2 \rho_1 + \dots + \alpha_h \rho_{h-1} = 0$$

$$\rho_2 + \alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_{h-1} \rho_{h-2} = 0$$

и т.д.

На практике следует ожидать небольшой величины h .

Простейшим случаем авторегрессионного ряда является марковский ряд

$$l_i = -\alpha_1 l_{i-1} + \varepsilon_i.$$

Для него из уравнений Юла-Уокера $\alpha_1 = -\rho_1$.

Так как

$$\frac{1}{1 - \rho D} = 1 + \rho D + \rho^2 D^2 + \dots,$$

то $\beta_k = \rho^k$.

Отсюда дисперсия и спектральная плотность

$$D\{l\} = D\left\{ \sum_{k=0}^{\infty} \rho^k \varepsilon_{i-k} \right\} = D\left\{ \varepsilon \right\} \sum_{k=0}^{\infty} \rho^{2k} = \frac{D\{\varepsilon\}}{1 - \rho^2}, \quad w(\alpha) = \frac{1 - \rho^2}{1 - 2\rho \cos(\alpha) + \rho^2}.$$

Более сложный линейный авторегрессионный ряд называется рядом Юла, он определяется соотношением

$$l_i = -\alpha_1 l_{i-1} - \alpha_2 l_{i-2} + \varepsilon_i.$$

Из уравнений Юла-Уокера

$$\alpha_1 = -\frac{\rho_1(1 - \rho_2)}{1 - \rho_1^2}, \quad \alpha_2 = -\frac{\rho_2 - \rho_1^2}{1 - \rho_1^2}.$$

Корреляционная функция

$$\rho_k = \frac{p^k \sin(k\theta + \psi)}{\sin(\psi)},$$

$$\text{где } p = \sqrt{\alpha_2}, \quad \cos(\theta) = -\frac{\alpha_2}{2\sqrt{\alpha_2}}, \quad \operatorname{tg}(\psi) = \frac{1 + p^2}{1 - p^2} \operatorname{tg}(\theta).$$

Спектральная плотность

$$w(\alpha) = \frac{(1 - \alpha_2)(1 - \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + 2\alpha_2)}{(1 + \alpha_2)(1 + \alpha_1^2 + \alpha_2^2 - 2\alpha_2 + 2\alpha_1(1 + \alpha_2)\cos(\alpha) + 4\alpha_2 \cos^2(\alpha))}.$$

При обработке статистического материала может возникнуть потребность в оценке точности вычисленных величин коэффициентов корреляции.

Для больших выборок, когда $n \gg k$, $n - k \approx n$, $1/n \approx 0$, дисперсию величины коэффициента корреляции можно определять по формуле

$$D\{\rho_j\} = \frac{1}{n} \sum_{i=-\infty}^{\infty} (\rho_i^2 + \rho_{i-j} \rho_{i+j} + 4\rho_j \rho_i \rho_{i+j} + 2\rho_i^2 \rho_j^2).$$

При этом имеется в виду, что все члены потока $l_1, l_2, \dots, l_n$ центрированы относительно своего среднего значения и все они имеют совместное нормальное распределение.

Из последнего выражения следует, что для случайного потока

$$D\{r_j\} = \frac{1}{n}.$$

Если $\rho_j, \rho_{j+1}, \dots$ малы, то приближенно

$$D\{r_j\} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{j-1} \rho_i^2.$$

Если поток сыпучего материала описывается уравнением Маркова, то для больших j

$$D\{r_j\} = \frac{1}{n} \cdot \frac{1 + \rho^2}{1 - \rho^2},$$

а для малых j

$$D\{r_j\} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{(1 + \rho^2)(1 - \rho^2)}{1 - \rho^2} - 2j\rho^{2j} \right\}$$

Смещение в оценках автокорреляций потоков с центрированными интервалами

$$M\{r_j\} = -\frac{1}{n-1},$$

т. е. коэффициент r_j обладает отрицательным смещением даже для случайных потоков.

Для марковского потока сыпучего материала

$$M\{r_1\} = \rho - \frac{1+3\rho}{n-1}, \quad M\{r_j\} = \rho^j - \frac{1}{n-j} \left\{ \frac{1+\rho}{1-\rho} (1-\rho^j) + 2k\rho^j \right\}, \quad j > 1.$$

Используя упрощенный вариант метода Кенуя, можно устранить смещение, разбивая поток на два: если r - серийный коэффициент всего потока, а r_1 и r_2 - коэффициенты обших частей потока, то статистика

$$R = 2r - \frac{1}{2}(r_1 + r_2)$$

является несмещенной с точностью до порядка n^{-1} .

Обработка статистических данных часто показывает, что спектральная плотность содержит весьма резкие флуктуации. В связи с этим иногда удобно вычислять не само $w(\alpha)$, а $\log w(\alpha)$, так как при этом большие значения интенсивности выделяются не столь резко.

При больших выборках для недетерминированных стационарных потоков справедливо

$$M\{J\} = \frac{D\{l\}}{\pi}, \quad D\{J\} = \frac{D^2\{l\}}{\pi^2}, \quad M\{w\} = 1, \quad D\{w\} = 1.$$

При $\alpha = 0$ и π дисперсия удваивается.

Если поток состоит из n интервалов, то дисперсия наблюдаемого значения спектра имеет порядок не $1/n$, а w^2 , а значения спектра, соответствующие значениям $\alpha = 2\pi p/n$ не коррелированы в точности для нормального случая и приближенно для всех других. В связи с этим наблюдаемый спектр будет содержать резкие флуктуации и явится весьма ненадежной оценкой теоретического спектра.

Для преодоления этого недостатка предлагается сглаживать спектр путем замены $I(\alpha)$ взвешенной суммой соседних значений, которая будет иметь небольшую дисперсию, но и смещение.

Весовая функция $h(l)$, должна быть такой, чтобы

$$h(l) = h(l + 2\pi), \quad \int_{-\pi}^{\pi} h(l) \cdot dl = 1.$$

Такую функцию называют «ядром» или «спектральным окном». Сглаженная функция имеет вид

$$I_A(\alpha) = \int_{-\pi}^{\pi} h(l) I(\alpha - l) \cdot dl = \int_{-\pi}^{\pi} h(\alpha - l) I(\alpha) \cdot dl.$$

Для уменьшения смещения следует соответствующим образом выбрать $h(l)$. Так как значения I не коррелированы, то

$$D\{I_A\} = \frac{4\pi^2}{n^2} \sum h^2(l_j) D\{I(\alpha - l_j)\} \approx \frac{4\pi^2}{n^2} \sum h^2(l_j) I^2(\alpha - l_j) \approx \frac{2\pi}{n} \int_{-\pi}^{\pi} h^2(l) I^2(\alpha - l) \cdot dl.$$

Если интервалы между частицами в потоках сыпучего материала независимы, то для описания таких потоков следует привлечь математический аппарат теории рекуррентных потоков.

Экспериментальная проверка показала, что принятая модель адекватно описывает предлагаемый способ смешивания сыпучих материалов.

Рассмотренные выше некоторые основные аспекты статистического анализа потоков сыпучего материала являются основой для дальнейшего изучения, моделирования и предсказания характеристик потоков и, следовательно, качества смесей, полученных в смесителях непрерывного действия в соответствии с предлагаемым способом.

Список литературы: 1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов.-М.: Машиностроение, 1976. 2. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности.-М.: Пищ. Промышленность, 1973. 3. Чувпило А.В. Новое в теории и технике приготовления порошковых смесей.-М.: ВНИИЭМ, 1964. 4. Кедалл М., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды.-М.: Наука, 1976.

ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В МНОГОМАССОВОЙ РЯДНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Гладчук Е.А. (ДонГУЭТ, г. Донецк, Украина)

There is to examine multimass lane oscillatory technical system as the technical system description general case. There are the fundamental tenets for the transitional process description in the such system. A such competent graph contiguity matrix is to determinate. There is to receipt a activ diraction polinomial. A Markoff line assosiate orgraph is to constract by the Karnoop-Rosenberg transformation. There ara to constract a Markoff line assosiate orgraph realize tournament and a weighted hypergraph of the multimass lane oscillatory technical system transitional process. A multimass lane oscillatory technical system transitional process description general function is to determinate. There is to formulate a diraction of the receipt results use.

В общем виде, любая техническая система, например главная линия клетки прокатного стана, представляет собой многомассовую техническую систему [1]. В общем случае процесса эксплуатации, в нестационарном режиме, имеет место мгновенное образование технологического очага – источника динамического нагружения многомассовой технической системы, которое протекает в виде колебательного, переходного, процесса. Таким образом, многомассовая техническая система в общем случае процесса эксплуатации может быть рассмотрена как многомассовая рядная колебательная техническая система [2].

Многомассовая рядная колебательная техническая система может быть описана эквивалентной схемой приведенной на рис. 1, которая представляет собой совокупность i приведенных масс с моментами инерции I_i , соединенных между собой безинерционными связями с приведенным зазором $\Delta_{i-1,i}$, приведенным упруго-вязким демпфированием $H_{i-1,i}$ и приведенной жесткостью $C_{i-1,i}$ [3]. Вследствие малой амплитуды колебаний при-

веденных масс, все нелинейные элементы такой системы можно считать линеаризованными [4].



Рис. 1. Эквивалентная схема многомассовой рядной колебательной технической системы.

В общем случае процесса эксплуатации, в нестационарном режиме, имеет место мгновенное приложение внешнего возмущающего воздействия Φ_0 [2], которое, вследствие конечности физических параметров многомассовой рядной колебательной технической системы, претерпевает постоянное изменение по амплитуде и во времени:

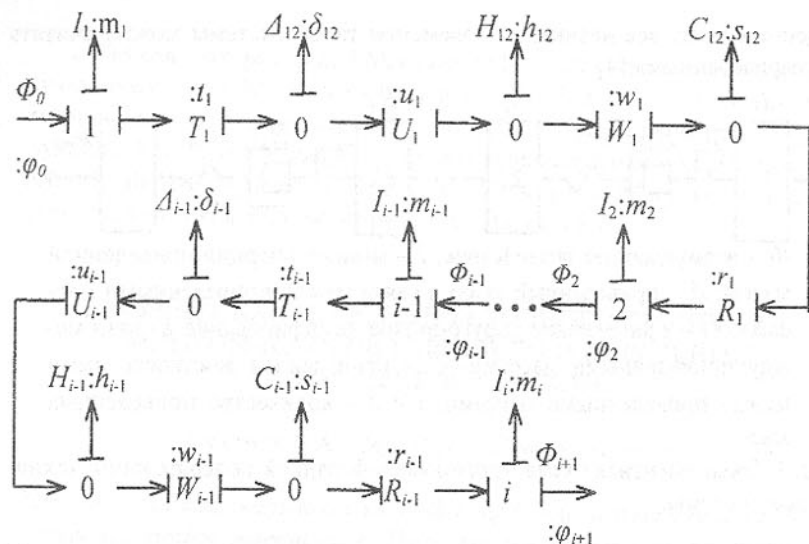
$$\Phi_0 = F(\varphi), \quad (1)$$

где $F(\varphi)$ – обобщенная функция описания переходного процесса;

φ – относительная координата обобщенной функции описания переходного процесса.

Тогда уравнение переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе в общем случае процесса эксплуатации имеет вид [5]:

$$I_i \varphi''^2 - \frac{\Delta_i}{\frac{H_{i-1,i} \varphi'}{C_{i-1,i}} - \frac{\Delta_{i-1}}{I_{i-1} \varphi''^2 - \frac{\Delta_{i-2}}{\frac{H_{i-2,i-1} \varphi'}{C_{i-2,i-1}} - \frac{\Delta_{i-3}}{\ddots \frac{H_{12} \varphi'}{C_{12}} - \frac{\Delta_0}{I_1 \varphi''^2}}}}}} = F(\varphi), \quad (2)$$



0 – внутренняя узловая точка; $i \geq 1$ – внешняя узловая точка; Φ, I, Δ, H, C – смотри выше; T – связь, накладываемая на внутреннюю точку со стороны внешней; R – связь, накладываемая на внешнюю точку со стороны внутренней; U, W – связь, накладываемая однородными точками друг на друга; m – приведенная масса узловой точки; δ – приведенный зазор в узловой точке; h – приведенное упруго-вязкое демпфирование узловой точки; s – приведенная жесткость узловой точки; I, U, W, R – внутренние силы возбуждаемые накладываемыми связями.

Рис. 2. Связной граф многомассовой рядной колебательной технической системы.

Полученное уравнение (2) требует решения относительно параметра ϕ . Его можно получить с помощью метода подстановки [5]. Однако, этот метод нельзя использовать в системе автоматического управления так, как метод подстановки дает случайное решение, которое не является оптимальным с точки зрения обеспечения требуемых параметров в нестационарном режиме процесса эксплуатации технической системы. Использование метода графов для решения уравнения (2) позволяет получить оптимальное значение параметра ϕ в соответствии с принятыми критериями оптимизации в кратчайший промежуток времени, что обеспечивает реальную возможность оперативного управления технической системой при конкретных условиях процесса эксплуатации [2]. В этих условиях целесообразно, для описания переходного процесса в многомассовой рядной ко-

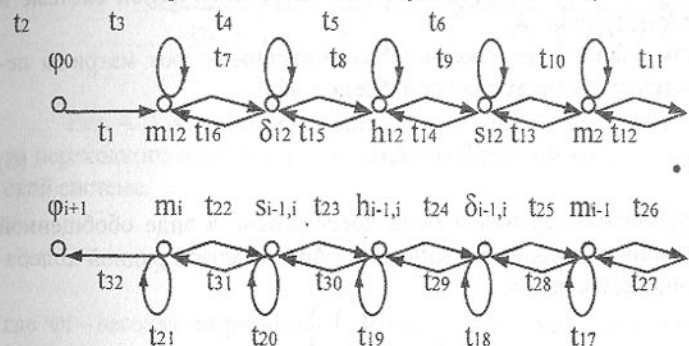
лебательной технической системе в общем случае процесса эксплуатации, использование ориентированного графа или орграфа [6]:

$$G = \{V(i), E(i)\}, \quad (3)$$

где G – условное обозначение орграфа;

$V(i)$ – непустое конечное множество вершин (множество моментов инерции приведенных масс, приведенных зазоров в связи между приведенными массами, приведенного упруго-вязкого демпфирования в связи между приведенными массами, приведенных жесткостей связей между приведенными массами и возмущающих внешних воздействий);

$E(i)$ – конечное семейство упорядоченных ребер из непустого множества $V(i)$ (множество связей между i приведенными массами с учетом относительной координаты колебаний приведенных масс).



t – ориентированное ребро.

Рис. 3. Ассоциированный орграф цепи Маркова переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе.

Для любого орграфа можно на основании матрицы смежности определить хроматический многочлен F_G [6] – формализованную функцию процесса, описанного с помощью орграфа [7]. Для определения матрицы смежности орграфа (3) переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе в общем случае процесса эксплуатации достаточно осуществить представление такой системы в виде связного графа [8] (смотри рис. 2), с дальнейшей трансформацией этого связного графа при помощи преобразования Розенберга – Карнопфа в орграф [9] (смотри рис. 3). Полученный таким образом орграф переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе в общем случае процесса эксплуатации представляет собою ассоциированный орграф цепи Маркова [10]. Для ассоциированного орграфа цепи Маркова можно определить матрицу перехода, в которой каждая строка является вектором вероятностей:

$$Q = (p, x), \quad (4)$$

где p – вероятность события вектора-строки;
 x – вектор-строка.

Хроматический многочлен имеет вид [11]:

$$F_G = F(n, k), \quad (5)$$

где k – число способов раскрасить орграф, используя n красок с равной вероятностью.

Раскрашивание осуществимо только в том случае, если любые две вершины орграфа соединены ровно одной дугой. Это условие выполняется в случае реализации ассоциированного орграфа цепи Маркова переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе в виде турнира (смотри рис. 4).

С учетом равной вероятности события векторов-строк матрицы перехода, хроматический многочлен приобретает вид:

$$F_G = F(\varphi), \quad (6)$$

Тогда уравнение (2) может быть представлено в виде обобщенной функции описания переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе:

$$F(\varphi_{i+1}) = \left[\frac{1}{JL} \right]_i \frac{\varepsilon}{\gamma\lambda} \frac{F(\varphi_i) - \left[\frac{1}{JL} \right]_i \frac{\varepsilon}{\gamma\lambda} \varphi_i}{\left[\frac{1}{JL} \right]_i \frac{\varepsilon}{\gamma\lambda} - F(\varphi_i) \varphi_i}, \quad (7)$$

где γ – весовой коэффициент приведенной массы;

J – модуль жесткости связи между приведенными массами.

λ – логарифмический декремент затухания колебаний в связи между приведенными массами;

ε – коэффициент раскрытия зазора в связи между приведенными массами.

Из (6) следует, что описание переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе в общем случае процесса эксплуатации может быть выполнено с помощью $i+1$ ($i = 0, 1, \dots, n$) относительной координаты [12]:

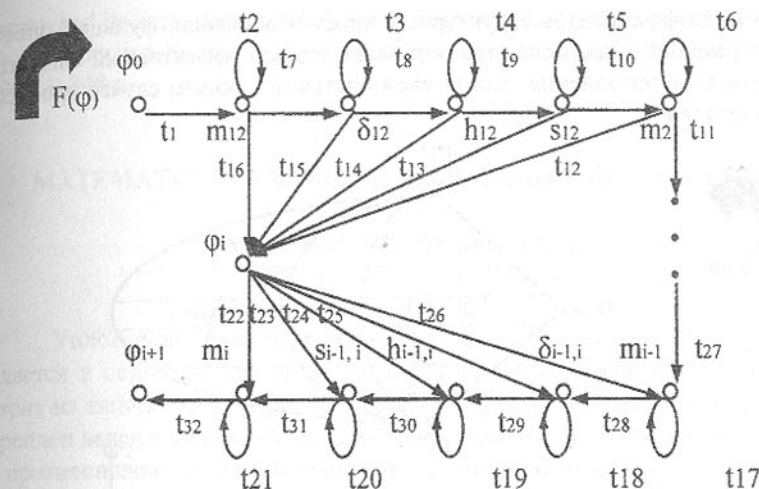


Рис. 4. Турнир, реализующий ассоциированный орграф цепи Маркова переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе.

$${}^3\varphi_i = \begin{Bmatrix} {}^2\varphi_i, {}^3\varphi_{i+1} \\ 1 \quad 1 \end{Bmatrix}, \quad (8)$$

где ${}^3\varphi_i$ – весовая граф-модель реактивного возмущающего действия

от $i-1$ приведенной массы;

${}^2\varphi_i$ – весовая граф-модель активного возмущающего действия от i

приведенной массы;

${}^3\varphi_{i+1}$ – весовая граф-модель реактивного возмущающего действия от i приведенной массы.

Тогда в соответствии с весовым гиперграфом переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе, обобщенная функция (7) с учетом весовых коэффициентов структурных чисел приобретает вид [13]:

$$F({}^n\varphi_{i+1}) = F(1) \frac{F({}^n\varphi_i) - nF(1)}{F(1) - nF({}^n\varphi_i)}, \quad (8)$$

Таким образом, графическое моделирование переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе в общем случае процесса эксплуатации сводится к формализованному определению

весовых коэффициентов структурных чисел обобщенной функции описания переходного процесса, что позволяет создать эффективный алгоритм оперативного управления технической системой в общем случае процесса эксплуатации.

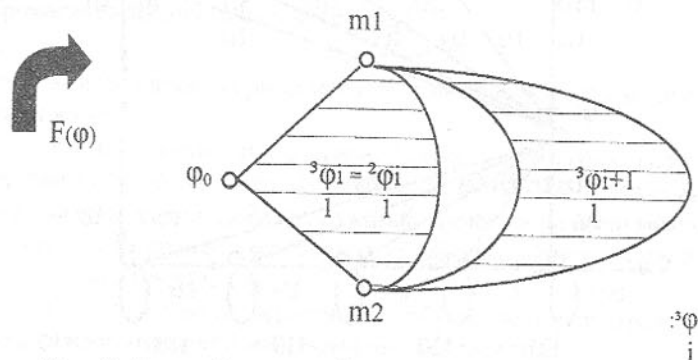


Рис. 5. Весовой гиперграф переходного процесса в многомассовой рядной колебательной технической системе.

Список литературы: 1. Хубка В. Теория технических систем. – М.: Мир, 1987. – 208. 2. Гладчук Е.А. Основы графического анализа электромеханической системы клетки прокатного стана с фрикционной связью через прокатываемый металл// Металлы и литье Украины. – 2000. – № 1-2. – С. 43-45. 3. Гладчук Е. Динаміка перехідних процесів багатомасових електромеханічних систем змінного складу// 2 міжнародний симпозіум українських інженерів – механіків у Львові: Львів, Львівська політехніка, 1995. – С. 66 – 67. 4. Гладчук Е.А. Графический анализ переходных процессов многомассовой электромеханической системы с индивидуальным приводом рабочих органов// Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1999. Вып. 7. – С. 31 – 35. 5. Маслов Г.С. Расчеты колебаний валов. М.: Машиностроение, 1980. – 151 с. 6. Зыков А.А. Основы теории графов. – М.: Наука, 1987. – 384 с. 7. Brown F. Direct Application of the Loop Rule to Bond Graphs// Bond Graphs Modeling for Engineering System. – New York, 1972. – P. 246 – 252. 8. Karnoop D., Rosenberg R. Analysis and simulation of multiport system. – Cambridge: M.I.T. Press, 1968. – 192 p. 9. Гладчук Е.О. Метод трансформації зв'язного графа у кінцевий оргграф// В сб. Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века. Т 1: Сб. трудов междунар. научн. – техн. конф. в г. Севастополе 13 – 18 сент. 1999 г. в 3 томах. – Донецк: ДонГТУ, 1999. – С. 177 – 180. 10. Harary F. Proof techniques in graph theory. – New York: Academic press, 1969. 228 p. 11. Ore O. The four-color problem. – New York: Academic Press, 1970. – 348 p. 12. Harris B. Graphs

theory and its application. – New York: Academic Press, 1970. – 412 p. 13. Liu C. Introduction to combinatorial mathematics. – New York: McGraw – Hill, 1968. – 348 p.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА

Дворников В.И., Манакин Е.А.
(ДГАСиА, г. Макеевка, Украина)

Уплотнение грунтов при строительстве земляных объектов осуществляется в основном самоходными вибрационными катками, которые состоят из тягача и шарнирно-соединенной с ним рамой внутри которой закреплен валец с вибровозбудителем, представляющим собой вращающиеся в противоположных направлениях неуровненные массы.

С целью исследования процесса уплотнения в зависимости от параметров вибрационного воздействия составлена расчетная схема одно-

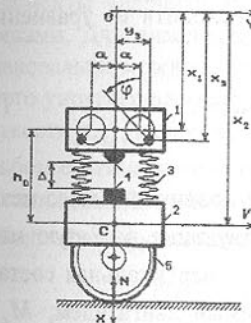


Рис. 1. Схема вибрационного катка

цового катка, которая представлена на рис.1. В соответствии с этим вибрационный каток рассматривается как двухмассовая нелинейная система, включающая массу вибровозбудителя вместе с дебалансами и приведенную массу корпуса катка с вальцом. Здесь обозначено: 1 – вибровозбудитель; 2 – корпус катка; 3 – упругие элементы; 4 – ударник вибратора; 5 – валец катка; x_1 – координата центра тяжести вибровозбудителя; x_2 – координата центра тяжести корпуса катка; x_3 – координата центра инерции вращающегося элемента вибровозбудителя; φ – угол поворота вращающейся массы вибровозбудителя; Δ – зазор между соударяющимися молотом и наковальной ударника; V – горизонтальная скорость перемещения катка; N – вертикальная составляющая реакции грунта, зависимость которой от перемещений катка и его параметров будет рассмотрена позже; h_0 – конструктивный параметр, равный расстоянию между центрами тяжести вибровозбудителя и корпуса катка при ненапряженных пружинах.

Функция Лагранжа в линейном приближении записывается в форме

$$L = (m_6 r^2 + J_6) \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} (m_1 + 2m_6) \dot{x}_1^2 - 2m_6 r \dot{x}_1 \dot{\varphi} \sin \varphi + \frac{1}{2} m_2 \dot{x}_2^2 + \\ + [(2m_6 + m_1)x_1 + 2m_6 r \cos \varphi + m_2 x_2] g - \frac{c}{2} (x_2 - x_1 - h_0)^2. \quad (1)$$

Диссипативная функция Рэлея, учитывающая силы сопротивления, пропорциональные первым степеням скорости перемещения подвижных масс (так называемые силы вязкого трения) представим в виде

$$R = \frac{b_1 + b_3}{2} \dot{x}_1^2 + \frac{b_2}{2} \dot{x}_2^2 + \frac{b_3 r^2}{2} \dot{\varphi}^2 - b_3 r \dot{x}_1 \dot{\varphi} \sin \varphi. \quad (2)$$

где $b_1; b_2; b_3$ - коэффициенты сопротивления, являющиеся экспериментально определяемыми параметрами. В рамках концепции Рэлея существуют несколько рабочих гипотез, одной из которых является так называемая гипотеза внешнего трения, которую примем для описания диссипативных свойств рассматриваемой механической системы.

Для получения уравнений движения будем исходить из уравнений Лагранжа в форме

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i} = Q_i \quad (i=1,2,3), \quad (3)$$

где q_i и $\dot{q}_i$ - обобщенные координаты и скорости подвижных масс механической системы, Q_i - обобщенные силы, действующие на i -тую массу, причем $Q_1 \equiv 0$; $Q_2 = -N$; $Q_3 = M_{\partial\phi} - M_c$, где N - вертикальная составляющая реакции грунта; $M_{\partial\phi}$ - момент, развиваемый двигателем; M_c - момент сил «вредных» сопротивлений при вращении дебалансов вибровозбудителя, возникающих за счет трения в подшипниках и редукторных парах. Для рассматриваемой системы имеем $q_1 = x_1$, $q_2 = x_2$, $q_3 = \varphi$, поэтому, благодаря (1) и (2) уравнения (3) для малых колебаний относительно положения равновесия системы примут вид:

$$\left. \begin{aligned} (m_1 + 2m_6) \ddot{x}_1 - 2m_6 r \ddot{\varphi} \sin \varphi - 2m_6 r \dot{\varphi}^2 \cos \varphi + (b_1 + b_3) \dot{x}_1 - b_3 r \dot{\varphi} \sin \varphi + \\ + c(x_1 - x_2) = 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2 \dot{x}_2 + c(x_2 - x_1) = N_{cm} - N, \\ 2(m_6 r^2 + J_6) \ddot{\varphi} - 2m_6 r \ddot{x}_1 \sin \varphi + b_3 r^2 \dot{\varphi} - b_3 r \dot{x}_1 \sin \varphi + 2m_6 r g \sin \varphi = \\ = M_{\partial\phi} - M_c. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

При достаточно мощном двигателе, приводящем во вращение дебалансы вибровозбудителя, можно считать, что $\dot{\varphi} = v = \text{const}$, $\ddot{\varphi} \equiv 0$, где v - частота вращения масс вибровозбудителя, и тогда $\varphi = vt$. В этом случае первые два уравнения системы (4) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} (m_1 + 2m_6) \ddot{x}_1 + (b_1 + b_3) \dot{x}_1 + c(x_1 - x_2) = 2m_6 r v^2 \cos vt + b_3 r v \sin vt, \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2 \dot{x}_2 + c(x_2 - x_1) = N_{cm} - N, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

а третье уравнение, записанное в форме

$$-2m_6 r \ddot{x}_1 \sin vt + b_3 r^2 v - b_3 r \dot{x}_1 \sin vt + 2m_6 r g \sin vt = M_{\partial\phi} - M_c,$$

представляет собой выражение, определяющее величину момента двигателя, необходимого для обеспечения условия $\dot{\varphi} = \text{const}$.

Одна из форм стационарного движения может быть и в том случае, когда амплитуда колебаний массы вибровозбудителя становится настолько большой, что вступают в контакт молот с наковальней в ударнике. Их взаимодействие в этот момент представляет собой довольно сложный физический процесс, имеющий волновой характер, так как соударяющиеся элементы ударника являются упругими пространственно протяженными телами. Для инженерных целей учет взаимно упругих свойств молота и наковальни можно осуществить путем введения некоторого безынерционного упругого элемента, обладающего эквивалентным коэффициентом жесткости $c_{экв}$, величину которого можно определить экспериментально способом статического нагружения элементов ударника. В рамках такой концепции линейная функция $c(x_1 - x_2)$ в уравнениях системы (5) заменяется нелинейной функцией вида

$$U(u_1, u_2) = \begin{cases} u_1 - u_2 & \text{при } u_1 - u_2 < 1, \\ 1 + \lambda(u_1 - u_2 - 1) & \text{при } u_1 - u_2 \geq 1, \end{cases} \quad (6)$$

где для удобства дальнейшего интегрирования уравнений движения введем следующие безразмерные переменные

$$u_1 = \frac{x_1}{\Delta}, u_2 = \frac{x_2}{\Delta}, \tau = vt, \quad (7)$$

безразмерные параметры

$$\left. \begin{aligned} \mu = \frac{\omega}{v}, \quad \gamma = \frac{g}{k_1 \omega^2 \Delta}, \quad \omega^2 = c \frac{m_1 + m_2 + 2m_6}{(m_1 + 2m_6)m_2}, \\ k_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2 + 2m_6}, \quad k_2 = \frac{2m_6}{m_1 + 2m_6}, \quad \beta = \frac{r}{\Delta}, \quad \lambda = 1 + \frac{c_{экв}}{c}, \\ \delta_1 = \frac{b_1}{2\omega(m_1 + 2m_6)}, \quad \delta_2 = \frac{b_2}{2\omega m_2}, \quad \delta_3 = \frac{b_3}{2vm_6}, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

и безразмерную функцию реакции грунта, зависящую от u_2 :

$$S(u_2) = \frac{N_{cm} - N}{N_{cm}}. \quad (9)$$

Тогда система уравнений (5) примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 u_1}{d\tau^2} + (2\mu\delta_1 + k_2\delta_3) \frac{du_1}{d\tau} + k_1\mu^2 U(u_1, u_2) &= k_2\beta(\cos\tau + \delta_3 \sin\tau), \\ \frac{d^2 u_2}{d\tau^2} + 2\mu\delta_2 \frac{du_2}{d\tau} + (1 - k_1)\mu^2 U(u_1, u_2) &= \gamma\mu^2 S(u_2). \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Деформация грунта под действием статических и динамических нагрузок носит довольно сложный характер как во времени, так и в пространстве. Некоторое упрощение описания этого процесса достигается путем применения концепции Прандтля, суть которой сводится к тому, что деформация грунта считается упруго-пластической и подчиняется известной диаграмме, носящей имя Прандтля. В области малых деформаций грунт ведет себя как упругая среда, подчиняющаяся закону Гука, а при достижении напряжения $\sigma = \sigma_T$, где σ_T — напряжение текучести материала, грунт начинает проявлять свойства текучести, и дальнейший рост напряжения не происходит, но грунт претерпевает пластическую деформацию, например, до величины $\Delta = \Delta_0$. Если после достижения этой величины деформации происходит разгрузка, то есть уменьшение σ , то некоторое время грунт снова ведет себя как упругая среда до тех пор, пока σ не станет равной нулю. В этом случае величина деформации грунта станет равной $\Delta_0 - \Delta_y$.

Учитывая то немаловажное обстоятельство, что грунт фактически находится в состоянии пластической текучести даже при действии только статических сил (от собственного веса катка), в диаграмме Прандтля пренебрежем участками упругой деформации и уподобим грунт некоторой «текучей» средой такой, что в зоне контакта его с поверхностью вальца катка напряжение грунта всюду равно σ_T . Эта своего рода «гидростатическая аналогия» является, так сказать, рабочей гипотезой, приемлемость которой в дальнейшем будет оценена соответствующим экспериментом. В связи с таким предположением было рассмотрено квазидинамическое (то есть без учета вибрационных нагрузок) состояние катка, валец которого, вращаясь с угловой скоростью ω , переходит из исходного положения в состояние статического равновесия в результате чего получено следующее соотношение

$$\sigma_T R b \sqrt{1 - \left(1 - \frac{x_0^*}{R}\right)^2} = mg \quad (11)$$

где x_0^* означает искомое стационарное решение, являющееся, по сути дела, величиной статического смятия грунта.

Полученные результаты решений уравнений квазидинамического состояния катка, в частности формула (11), позволяет определить функцию $S(u_2)$, обозначенной формулой (9) в виде

$$S(u_2) = \begin{cases} 1 - \frac{1}{\varepsilon} \sqrt{\varepsilon^2 + 2\beta u_2 \sqrt{1 - \varepsilon^2} - (\beta u_2)^2} & \text{при } u_2 > -x_0^* \Delta, \\ 1 & \text{при } u_2 \leq -x_0^* \Delta. \end{cases} \quad (12)$$

На рис. 2 полученные решения системы уравнений (10) представлены в виде двух графиков относительных перемещений вибровозбудителя u_1 и корпуса катка $u_2 + x_0^* \Delta$, причем для сокращения записи на рисунке эта функция обозначена по-прежнему как u_2 . Построение произведено при следующих величинах безразмерных параметров:

$$\gamma = 0.00875, \quad k_1 = 0.926, \quad k_2 = 0.5, \quad \varepsilon = 0.1,$$

$$\beta = 3.75, \quad \lambda = 45, \quad \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 0.1,$$

причем параметр, характеризующий частотные свойства в целом катка $\omega = 12.38 \text{ Гц}$, а частота внешнего возбуждения $\nu = 3 \text{ Гц}$. Из графиков видно, что колебания корпуса катка, а значит, и собственно вальца, происхо-

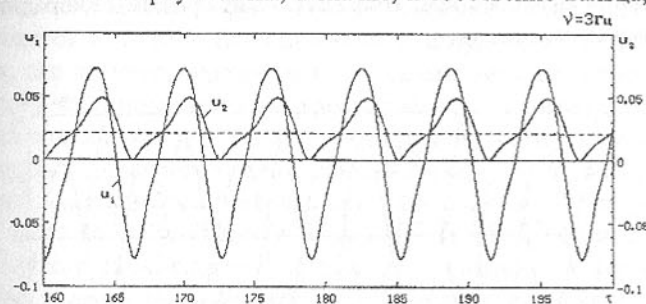


Рис. 2. Установившиеся колебаний вибровозбудителя (u_1) и корпуса катка (u_2) на частоте возбуждения 3 Гц

дит без его отрыва от почвы. Динамическое смятие грунта примерно составляет удвоенную величину квазидинамического смятия x_0^* (на рисунке его величина обозначена пунктирной линией). Колебания вибровозбудителя и корпуса катка в установившемся (стационарном) режиме являются строго периодическими с частотой внешнего возбуждения $\nu = 3 \text{ Гц}$. В данном случае виброударное устройство не принимает участие в колеба-

тельном процессе из-за сравнительно небольших относительных перемещений $u_1 - u_2$.

На рис. 3 для тех же параметров катка приведены графики относительных перемещений вибровозбудителя и корпуса катка, но при частоте внешнего возбуждения $\nu = 10 \text{ Гц}$. Из представленных графиков видно, что колебания корпуса катка происходит с его отрывом от грунта. Динамическое смятие грунта примерно составляет примерно пятикратную величину квазидинамического смятия x_0^* . В данном случае молот и наковальня активно взаимодействуют друг с другом. Колебания вибровозбудителя и корпуса катка в установившемся режиме являются строго периодическими с частотой, равной половине частоты внешнего возбуждения $\nu/2 = 5 \text{ Гц}$, так как в этом случае имеет место явление удвоения периода колебаний, что связано с проявлением особых бифуркационных свойств данной нелинейной механической системы. Удвоение периода вынужденных установившихся колебаний характерно суперпозицией двух гармонических составляющих с частотами ν и $\nu/2$, каждая из которых имеет различные амплитуды. На практике это приводит к возникновению неровностей на поверхности уплотняемого покрытия, и по этой причине необходимо достоверно знать, на каких частотах внешнего возбуждения возникают бифуркационные явления с тем, чтобы исключить режимы вибрации с двумя различными амплитудами.

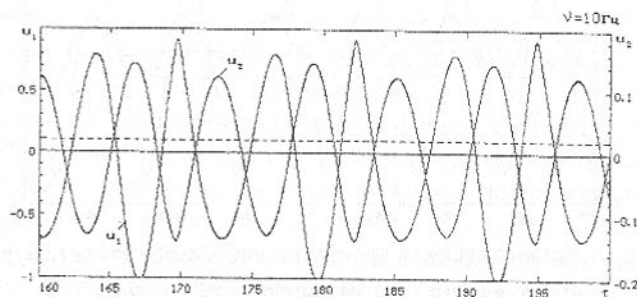


Рис. 3. Установившиеся колебания вибровозбудителя (u_1) и корпуса катка (u_2) на частоте возбуждения 10 Гц

Заключение.

Проведенные некоторые результаты решений уравнений движения вибрационного катка свидетельствует о том, что назначение рациональных параметров катка может быть выполнено лишь в результате всестороннего изучения его амплитудно-частотных характеристик, фазовых портретов и

разверток движения во времени в широком диапазоне частот внешнего возбуждения. Предпосылкой достоверных выводов на этом основании является тщательно выверенные исходные данные как по механической части катка, так и по физическим параметрам обрабатываемого грунта.

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Долгин В.П. (СевГТУ, г. Севастополь, Украина)

The synthesis of discrete model technique for calculation of dynamic characteristics of automatic control system on its transfer function on a basis of recursive representation of an output vector is stated. The results can be used at modelling dynamic systems for correction and synthesis of control signals for stationary and non-stationary, linear and non-linear, multivariate and multiply connected systems of any structure at any entrance influence.

Введение. Применение преобразования Лапласа возможно для исследования динамики устойчивых стационарных линейных систем при стандартных входных воздействиях (для которых возможно получить изображение в операторной форме). При исследовании динамических систем других классов возникают принципиальные затруднения, которые преодолеваются, как правило, переходом к численным методам. Способы сведения задачи к численным методам решения зависят от класса системы и основаны на использовании разложений в ряды Вольтерры, Неймана, применении методов Z-преобразования, линеаризации и других процедур получения приближенного решения, что приводит к погрешностям результата, которые часто не представляется возможным оценить. Решения, полученные для одного типа входного воздействия, оказываются непригодными при другом виде входного сигнала. Это приводит к необходимости выполнения структурных преобразований при получении решения для многоконтурных и многосвязных систем.

Предлагается единая методика численного решения задач для исследования систем произвольной структуры при произвольном входном воздействии, основанная на рекуррентном вычислении ее реакции по известным предыдущим состояниям вектора выхода (выходного сигнала и его производных), для вычисления реакции нелинейных, нестационарных, стохастических объектов и синтеза корректирующего сигнала неустойчивой системы, обеспечивающего требуемые динамические характеристики.

Постановка задачи. При построении цифровой модели наиболее важной является проблема оценки достоверности результата численного

решения. Известны рекомендации [1] выбора параметров и структуры процедур численного решения для типовых динамических звеньев. Рассмотрим возможность синтеза дискретной модели на основе рекуррентного вычисления вектора выхода для звена произвольной структуры по его операторной передаточной функции и оценку ее погрешности.

Решение. При получении решения удобно воспользоваться полиномиальной формой операторной передаточной функции [1]. Сохраняя в силе ограничения [1] на степень полиномиального представления числителя m и знаменателя n ($m \leq n$), представим выражение передаточной функции в виде

$$W(p) = \sum_{i=0}^m b_i p^i / \sum_{j=0}^n a_j p^j; \quad m \leq n, \quad (1)$$

где b_i и a_j — коэффициенты операторных полиномов числителя и знаменателя соответственно, p — оператор дифференцирования.

Найдем решение при максимальном значении $m = n$. Воспользовавшись определением $W(p) = Y(p)/X(p)$ передаточной функции, выражение (1) можно представить в одной из рекурсивных форм:

$$Y(p) = \frac{1}{a_0} \left[\sum_{i=0}^{n-1} p^i (b_i X(p) - a_i Y(p)) + b_n p^n X(p) \right],$$

$$Y(p) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{b_i X(p) - a_i Y(p)}{p^{n-i}} + b_n X(p) \right]. \quad (2)$$

Обозначив $Y^{(m)}(p) = p^m Y(p)$, где $Y^{(m)}(p)$ — изображение производной m -го порядка, на основании выражения (2) представим изображение m -й производной при $X(t) = \text{const}$ в виде

$$Y^{(m)}(p) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^{n-m} \frac{b_i X(p) - a_i Y(p)}{p^{n-m-i}} - \sum_{j=1}^{m-1} a_{n-m+j} Y^{(j)}(p) \right], \quad (3)$$

что позволяет получить возможное решение в одной из следующих форм

$$Y(t) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^{n-1} \frac{1}{p^{n-i}} [b_i X(t) - a_i Y(t)] + b_n p^0 X(t) \right],$$

$$Y^{(m)}(t) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^{n-m} \frac{1}{p^{n-m-i}} [b_i X(t) - a_i Y(t)] - \sum_{j=1}^{m-1} a_{n-m+j} Y^{(j)}(t) \right], \quad (4)$$

$$Y^{(n)}(t) = \frac{1}{a_n} \left[b_n p^0 X(t) - \sum_{j=1}^{n-1} a_j Y^{(j)}(t) \right],$$

где $1/p^{n-m-i}$ означает $(n-m-i)$ — кратное интегрирование. Нахождение аналитического решения приведенных выражений не представляется возможным. Для получения решения численными методами необходимо иметь описание процесса в удобном для анализа виде.

Описание процесса. Разложим первое из уравнений (4) по элементарным процедурам $Y(t) = \sum_{i=0}^{n-1} F_{n-i}(t) + F_0(t)$, где $F_0(t) = X b_n$,

$$b_{n-i} = b_{n-i}/a_n, \quad a_{n-i} = a_{n-i}/a_n,$$

$$F_1(t) = \int_0^t (X(t) b_{n-1} - Y(t) a_{n-1}) dt,$$

$$F_2(t) = \int_0^t \int_0^t (X(t) b_{n-2} - Y(t) a_{n-2}) dt^2,$$

$$F_i(t) = \int_0^t \dots \int_0^t (X(t) b_{n-i} - Y(t) a_{n-i}) dt^i$$

$$F_n(t) = \int_0^t \dots \int_0^t (X(t) b_0 - Y(t) a_0) dt^n.$$

При неизвестных описаниях функций $X(t)$ и $Y(t)$ получение аналитического решения для процедур $F_0(t), \dots, F_n(t)$ не представляется возможным. Сведем решение задачи к численному интегрированию. Представим функции $F_i(t)$ в виде

$$F_i(t) = b_{n-i} F_i^x(t) - a_{n-i} F_i^y(t); \quad i = [0, n]; \quad F_0^y(t) = 0,$$

$$\text{где } F_i^x(t) = \int_0^t \dots \int_0^t X(t) dt^i, \quad (5)$$

$$F_i^y(t) = \int_0^t \dots \int_0^t Y(t) dt^i. \quad (6)$$

В частном случае, при $X = \text{const}$, вычисление $F_i^x(t)$ сведем к форме

$$F_i^x(t) = X \times t^i / i!. \quad (7)$$

В общем случае вид функций $X(t)$ и $Y(t)$ обычно не известен. Рассмотрим возможность получения решения для (5) и (6) численными методами.

Для этого представим функцию $F_1^y(t) = \int_0^t Y(t)dt$ суммой ее значений на ин-

$$\text{тервале } [0, t] \quad F_1^y(t) = \int_0^{t_1} Y(t)dt + \int_{t_1}^{t_2} Y(t)dt + \dots + \int_{t_{z-1}}^{t_z} Y(t)dt,$$

$$F_1^y(t) = \sum_{k=0}^{z-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} Y(t)dt,$$

где $t_z = t$, z — количество шагов на интервале $[0, t]$.

Для произвольного шага $k = [1, z]$ имеем

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} Y(t)dt = F_1(t) \Big|_{t_k}^{t_{k+1}} = F_1(t_{k+1}) - F_1(t_k) = \Delta F_1(t_{k+1}).$$

По теореме Лагранжа о среднем дифференциального исчисления найдем

$$\Delta F_1^y(t_{k+1}) = \Delta t_k Y(\bar{t}_k),$$

где $\bar{t}_k$ лежит внутри промежутка $t_k \div t_{k+1}$, т.е. $\bar{t}_k \in [t_k, t_{k+1}]$, $Y(\bar{t}_k)$ — значение производной функции $F_1^y(t)$, лежащее внутри интервала

$$[Y(t_k), Y(t_{k+1})]. \quad \text{Тогда} \quad F_1^y(t_z) = \sum_{k=1}^z Y(\bar{t}_k) \Delta t_k.$$

Для постоянного шага дискретизации $\Delta t_k = h$ получим $F_1^y(t_z) = h \sum_{k=1}^z Y(\bar{t}_k)$.

Функцию $F_2^y(t) = \int_0^t Y(t)dt^2$ можно выразить через $F_1^y(t_z)$ $F_2^y(t) = \int_0^t F_1^y(t)dt$

Разбив интервал $[0, t]$ на z шагов, получим $F_2^y(t_z) = h \sum_{r=1}^z F_1^y(t_r)$,

$\Delta t_k = h$ ($k = [1, z]$). Подставив $F_1^y(t_k)$, найдем $F_2^y(t_z) = h^2 \sum_{r=1}^z \sum_{k=1}^r Y(\bar{t}_k)$.

Аналогично определим $F_3^y(t_z) = h^3 \sum_{l=1}^z \sum_{r=1}^l \sum_{k=1}^r Y(\bar{t}_k)$.

По индукции для любой m -й функции можем записать

$$F_m^y(t) = h^m \sum_{k_m=1}^z \sum_{k_{m-1}=1}^{k_m} \dots \sum_{k_1=1}^{k_{m-1}} Y(\bar{t}_k); \quad F_m^x(t) = h^m \sum_{k_m=1}^z \sum_{k_{m-1}=1}^{k_m} \dots \sum_{k_1=1}^{k_{m-1}} X(\bar{t}_k), \quad (8)$$

где $t = t_z$; $k_m, k_{m-1}, \dots, k_1$ — индексы суммирования.

По найденному алгоритму (8) можно вычислить значение функции $Y(t)$ в заданном интервале $[0, t]$, но при этом будет допущена погреш-

ность, связанная с дискретизацией интервала t . Найдем погрешность, обусловленную дискретным характером вычислительной процедуры.

Погрешность дискретизации. Рассмотрим выражение (8), приняв $X(t_k) = \text{const}$, что характерно при построении переходной характеристики (ПХ) звена. Выражение (8) упростим при значении $X = 1$ на основании представления [2]

$$C_{z+j}^{j+1} = \sum_{k_j=1}^z \sum_{k_{j-1}=1}^{k_j} \dots \sum_{k_1=1}^{k_2} \sum_{k_0=1}^{k_1} 1,$$

где C_{z+j}^{j+1} — биномиальный коэффициент. Тогда $F_m^x(t) = h^m X \times C_{z+m-1}^m$.

По определению

$$C_{z+i-1}^i = \frac{(z+i-1)!}{(z-1)! i!} = \frac{(z+1)(z+2) \dots (z+i-1)}{i!} = \prod_{j=0}^{i-1} (z+j-1),$$

$$(i = 0, 1, 2, \dots, m, \dots, n) \quad \text{или} \quad C_{z+i}^i = \frac{z^i}{i!} \left(1 + \frac{1}{z}\right) \left(1 + \frac{2}{z}\right) \dots \left(1 + \frac{i-1}{z}\right).$$

Найдем относительную погрешность численного решения, считая $t = z \times h$,

$$\delta_i = \left(1 + \frac{1}{z}\right) \left(1 + \frac{2}{z}\right) \dots \left(1 + \frac{i-1}{z}\right) - 1 = \prod_{j=0}^{i-1} (1 + j/z) - 1.$$

После линейаризации правой части выражения для δ_i ($i > 0$) определим нижнюю границу погрешности $\delta_i > i(i-1)/2z$. Заменяв выражение для δ_i неравенством

$$\delta_i < \left(1 + \frac{i-1}{2z}\right)^i - 1 = \sum_{j=1}^i C_i^j \left(\frac{i-1}{2z}\right)^j,$$

определим верхнюю границу погрешности.

Таким образом, с увеличением числа интервалов разбиения z ($z \gg i$) погрешность результата численного решения стремится к нулю. На основе проведенного анализа представляется возможным оценить величину погрешности результата численного решения δ_i , обусловленную дискретизацией интервала.

На рис.1 для иллюстрации характера изменения δ_i представлены графики погрешности при постоянных значениях z (рис. 1а) и i (рис.1б), указанных на графиках. Следует отметить, что $\delta_0 = \delta_1 = 0$ и соответствует полученной математической модели погрешности δ_i .

Анализ позволил оценить вклад погрешностей δ_i составляющих процесса $Y(t)$. Представляет интерес определение погрешности ε моделирования процесса $Y(t)$. Точное определение ε не представляется воз-

можным в силу рассмотренных причин. Можно получить корректные оценки погрешности вектора выхода модели.

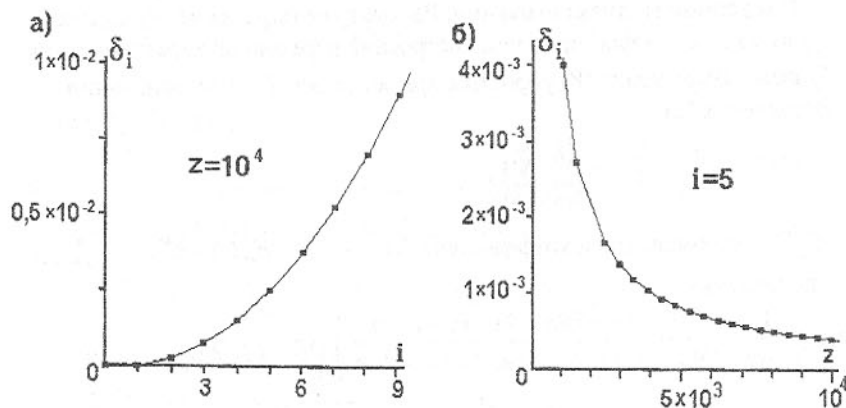


Рис. 1 Графики погрешности

Оценки погрешности. Рассмотрим оценку динамической погрешности ε_k , являющуюся следствием дискретного представления процесса через дискретные промежутки времени h . На очередном шаге k ($k = [1, z]$) процесс $Y(t)$ представляется в соответствии с рассматриваемым алгоритмом дискретным значением $Y(t_k)$ с некоторой погрешностью ε_k , значение которой необходимо оценить.

Теорема 1. На любом шаге k ($k = [1, z]$) динамическая погрешность ε_k , возникающая за время шага h , лежит в интервале

$$\varepsilon_k \in \left[\frac{h^2}{2} Y''(t_k), \frac{h^2}{2} Y''(t_k + \frac{h}{4}) \right], \quad (9)$$

где $Y''(t_k)$ – вторая производная приближаемой функции $Y(t)$ на k -м шаге, $z = t/h$.

Доказательство. Для элементарного шага по теореме о среднем интегрального исчисления на интервале $[t_k, t_{k+1}]$ имеем

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} Y'(t) dt = (t_{k+1} - t_k) Y'(\xi_k), \text{ где } \xi_k \in [t_k, t_{k+1}]. \text{ Учтя, что}$$

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} Y'(t) dt = Y(t_{k+1}) - Y(t_k), \text{ при } t_{k+1} - t_k = h \text{ перейдем к форме Лагранжа}$$

$$Y(t_{k+1}) - Y(t_k) = h Y'(\xi_k).$$

Отсюда точное значение функции $Y(t)$ на $(k+1)$ -м шаге можно представить как

$$Y(t_{k+1}) = h Y'(\xi_k) + Y(t_k).$$

Значение ξ_k не известно. Получим приближенное значение функции $Y(t)$ на $(k+1)$ -м шаге путем замены $Y'(\xi_k)$ значением $Y'(t_k)$

$$Y(t_{k+1}) + \varepsilon_k = h Y'(t_k) + Y(t_k),$$

что позволяет оценить погрешность такой замены

$$\varepsilon_k = h[Y'(\xi_k) - Y'(t_k)].$$

Применяя теоремы Лагранжа о среднем и о значении корня среднего

$$\bar{t}_k \in [t_k, t_k + h/4], \text{ окончательно получим}$$

$$\varepsilon_k = \frac{h^2}{2} Y''(\bar{t}_k), \quad (10)$$

что с учетом значений границ диапазона $\bar{t}_k$ доказывает теорему 1.

Следствие 1.1. Для устойчивой системы значения производных $Y'(t), Y''(t), \dots, Y^{(n)}(t)$ стремятся к нулю при $t \rightarrow \infty$, что ведет к уменьшению до нуля динамической погрешности ε_k по мере развития процесса ($k \rightarrow \infty$).

Следствие 1.2. По мере увеличения порядка производной i значение корня среднего ξ_k стремится к левой границе интервала

$$\xi_k \in [t_k, t_k + h/2^{i+1}].$$

Полученные представления (9) и (10) динамической погрешности дают возможность оценить погрешность аппроксимации переходной характеристики $Y(t)$.

Теорема 2. Погрешность приближения ε переходной характеристики $Y(t)$ сходится к значению

$$\varepsilon = \frac{h}{2} [Y'(t) - Y'(0)], \quad (11)$$

где $Y'(0)$ и $Y'(t)$ – начальное и текущее значения производной $Y(t)$ соответственно.

Доказательство. Погрешность приближения ε переходной характеристики может быть определена на основании выражения (10) как сумма

$$\text{погрешностей } \varepsilon_k \text{ за } k \text{ шагов} \quad \varepsilon = \sum_{k=1}^z \varepsilon_k = \sum_{k=1}^z \frac{h^2}{2} Y''(\bar{t}_k).$$

Для малых значений $h \ll t$ можно суммирование по k заменить интегрированием

$$\varepsilon = \frac{h'}{2} \int_0^t Y''(t) dt = \frac{h}{2} Y'(t) \Big|_0^t, \text{ что и доказывает теорему 2.}$$

Полученные при анализе рекомендации позволяют обеспечить заданные параметры качества модели. Основным параметром является точность реализации, которую можно оценить на основе теоремы 2. Используемый при анализе алгоритм не удобен для непосредственного синтеза модели. Рассмотрим возможную модификацию алгоритма реализации модели.

Полиномиальное представление ПХ, алгоритм Ψ -разложения. Структура формулы (4) с учетом представлений (8) позволяет получить выражение для m -й производной выходного сигнала в виде

$$Y^{(m)}(k) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^{n-m} \left(b_i h^{n-m-1} F_i^x(k) - a_i h^{n-m-1} F_i^y(k) \right) - \sum_{j=1}^{m-1} a_{n-m+j} Y^{(j)}(k) \right], \quad (12)$$

где k – номер шага, что дает возможность упростить представление переходного процесса при произвольном характере изменения входного сигнала.

Теорема 3. Переходная характеристика линейного стационарного объекта с передаточной функцией n -го порядка является полиномом n -й степени с регулярными – коэффициентами:

$$Y^{(0)}(k) = \sum_{i=0}^n \Psi_i h^{n-i}. \quad (13)$$

Доказательство. Преобразуем уравнение (2) с учетом результата (12)

$$\text{при } m=0 \text{ к виду } Y^{(0)}(k) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^n \left(b_i h^{n-i} F_i^x(k) - a_i h^{n-i} F_i^y(k) \right) \right]$$

$$\text{и затем получим } Y^{(0)}(k) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^n h^{n-i} \times \left(b_i F_i^x(k) - a_i F_i^y(k) \right) \right].$$

В силу следствия 1.2 заменим в выражениях (8) значения $Y(\bar{t}_k)$ и $X(\bar{t}_k)$ на $Y^{(0)}(k-1)$ и $X(k-1)$ соответственно. Обозначим $F_i^y(k)$ и $F_i^x(k)$ с учетом произведенной замены через $\gamma_i(k)$ и $\chi_i(k)$ соответственно, где

$$\gamma_i(k) = \sum_{j=0}^{n-i} \gamma_j(k-1), \quad \gamma_0(k-1) = Y^{(0)}(k-1),$$

$$\chi_i(k) = \sum_{j=0}^{n-i} \chi_j(k-1), \quad \chi_0(k-1) = X(k-1).$$

Подставив введенные значения $F_i^y(k)$ и $F_i^x(k)$, найдем

$$Y^{(0)}(k) = \frac{1}{a_n} \left[\sum_{i=0}^n h^{n-i} \times (b_i \chi_i(k) - a_i \gamma_i(k)) \right]. \quad (14)$$

Обозначив $i = b_i \chi_i(k) - a_i \gamma_i(k)$, где $a_i = a_i/a_n$, $b_i = b_i/a_n$, получим искомый результат.

Следствие 3.1. Описание процесса (13) может быть использовано для моделирования нестационарных объектов. В описание – коэффициенты входят, как параметры, коэффициенты передаточной функции, что позволяет рассматривать полученное решение (13) как функцию от коэффициентов передаточной функции.

Следствие 3.2. Применив теорему Лагранжа о среднем к описанию (4), получим разностную процедуру вычисления элементов вектора выхода в виде

$$Y_{k+1}^{(0)} = Y_k^{(0)} + h Y_k^{(1)},$$

$$Y_{k+1}^{(1)} = Y_k^{(1)} + h Y_k^{(2)},$$

$$\dots\dots\dots Y_{k+1}^{(n-1)} = Y_k^{(n-1)} + h Y_k^{(n-2)}$$

$$\text{и } Y_{k+1}^n = b_0 X_{k+1} - \sum_{i=0}^{n-1} a_i Y_{k+1}^{(i)}$$

при начальных значениях ($k=0$), найденных из остальных выражений (4)

$$Y_0^{(i)} = b_{n-i} X_0 - \sum_{j=0}^{i-1} a_{n-j} Y_0^{(j)}, \quad i = [0, n].$$

Следствие 3.3. Структура полученной модели позволяет предложить алгоритм вычисления реакции нелинейных объектов. Представим нелинейность системы зависимостью коэффициентов собственного оператора от вектора выхода

$$Y = \{Y^{(0)}, Y^{(1)}, Y^{(2)}, \dots, Y^{(i)}, \dots, Y^{(n)}\},$$

где $Y^{(i)}$ – производная i -го порядка выходного сигнала.

Тогда на произвольном k -м шаге значения коэффициентов будут функциями вектора выхода $a_0(Y_k)$, $a_1(Y_k)$, $a_2(Y_k)$, ..., $a_n(Y_k)$ вида:

$$a_0(Y_k) = a_0 + f_{00}(Y_k^{(0)}) + f_{01}(Y_k^{(1)}) + \dots + f_{0n}(Y_k^{(n)}),$$

$$a_1(Y_k) = a_1 + f_{10}(Y_k^{(0)}) + f_{11}(Y_k^{(1)}) + \dots + f_{1n}(Y_k^{(n)}),$$

$$\dots\dots\dots a_j(Y_k) = a_j + f_{j0}(Y_k^{(0)}) + f_{j1}(Y_k^{(1)}) + \dots + f_{jn}(Y_k^{(n)})$$

$$\dots\dots\dots a_n(Y_k) = a_n + f_{n0}(Y_k^{(0)}) + f_{n1}(Y_k^{(1)}) + \dots + f_{nn}(Y_k^{(n)}),$$

где $f_{00}(o), f_{01}(o), \dots, f_{ji}(o), \dots, f_{nn}(o)$ – произвольные функции i -й компоненты вектора выхода для j -го коэффициента.

При таком подходе к описанию нелинейной системы процедура синтеза модели практически не отличается от случая нестационарной, где коэффициенты передаточной функции представлены функциями времени, а здесь – функциями вектора выхода. При вычислении реакции нелинейной системы может быть использована одна из рассмотренных моделей, в которую, как и для нестационарного звена, необходимо ввести описание в данном случае нелинейности.

Следствие 3.4. При анализе модели не вводились ограничения на начальные значения компонентов вектора выхода, уровень и длительность единичной функции, что позволяет использовать модель для построения переходных процессов на входные воздействия произвольной формы.

Следствие 3.5. В процессе вывода соотношений (13) не предъявлялись требования к устойчивости звена, что позволяет производить его анализ в критических режимах, включая неустойчивые.

Решение задачи синтеза. Метод замещения. Рассмотрим задачу синтеза в общей постановке, которая сводится [1] к введению коррекции системы с целью обеспечения заданных статических и динамических характеристик. Возможность реализации предлагаемого подхода является следствием рассмотренной методики описания системы, основанной на линейной процедуре учета производных описания процесса. Это позволяет на основании выражения (1) по определению передаточной функции представить зависимость вход-выход звена в форме

$$\sum_{i=0}^m b_i p^i X(p) = \sum_{j=0}^n a_j p^j Y(p); \quad m \leq n,$$

которая реализована в виде рассмотренной рекуррентной модели (13).

Представим полученное выражение в тождественной форме, применив за-

$$\text{мену } a_j = c_j + \alpha_j \quad \sum_{i=0}^m b_i p^i X(p) = \sum_{j=0}^n (c_j + \alpha_j) p^j Y(p),$$

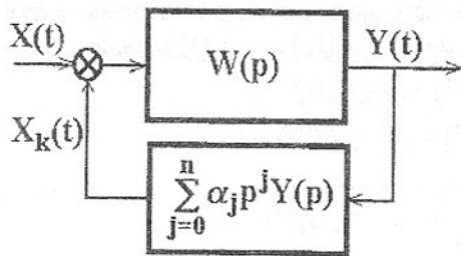


Рис. 2 Схема коррекции.

где c_j – коэффициенты собственного оператора желаемой передаточной функции, α_j – требуемая коррекция коэффициентов a_j ($j = [0, n]$).

Определим $\alpha_j = a_j - c_j$ и, считая известными $p^j Y(p)$, вве-

дем коррекцию (рис. 2), которую можно представить суммированием членов в левой части равенства $p^j Y(p)$, умноженных на соответствующие коэффициенты коррекции α_j

$$\sum_{i=0}^m b_i p^i X(p) + \sum_{j=0}^n \alpha_j p^j Y(p) = \sum_{j=0}^n a_j p^j Y(p).$$

При выполнении описанной процедуры приходим к желаемому результату, позволяющему осуществить замещение слагаемых правой части равенства на соответствующие, введенные в его левую часть:

$$\sum_{i=0}^m b_i p^i X(p) = \sum_{j=0}^n a_j p^j Y(p) - \sum_{j=0}^n \alpha_j p^j Y(p) = \sum_{j=0}^n c_j p^j Y(p). \quad (15)$$

Практически реализация метода предполагает суммирование с входным сигналом результата векторного произведения $\alpha \times Y$, где $\alpha = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$ – вектор коэффициентов коррекции, $Y = (Y^{(0)}, Y^{(1)}, \dots, Y^{(n)})^T$ – вектор выхода. Для реализации процедуры коррекции необходимо иметь представление производных выхода и критерий выбора коэффициентов собственного оператора желаемой передаточной функции c_i ($i = [0, n]$).

Версия выбора собственного оператора желаемой передаточной функции. Выражение (13) может быть использовано при построении процедуры вычисления производных, а правая часть уравнения (15) является, по сути, характеристическим уравнением, определяющим устойчивость системы. Можно представить правую часть равенства (15) произведением знаменателей инерционных звеньев

$$Q(p) = \prod_{j=0}^n (1 + p \times \tau_j). \quad \text{Если положить } \tau_0 = \tau_1 = \dots = \tau_n = \tau, \text{ то}$$

$$Q(p) = (1 + p \times \tau)^n = \sum_{j=0}^n p^j C_n^j \tau^j. \quad \text{В этом случае необходимо принять}$$

в качестве желаемых значения $c_j = \tau^j C_n^j$. Условие обеспечения заданного уровня установившегося значения выходного сигнала Y_u определяется значениями коэффициентов c_0 и b_0 : $Y_u = X \times b_0 / c_0$.

На рис. 2 приведена структура модели процесса коррекции звена по рассмотренной схеме. Входным сигналом X является сумма единичного сигнала и сигнала коррекции. В результате введенной коррекции неустойчивое звено может быть сведено к устойчивому с заданным уровнем выхода $Y_u = 1$ благодаря замещению изложенным методом коэффициентов характеристического полинома $a_0 + a_2$ коэффициентами желаемого полино-

ма $c_0 \div c_2$. Уровень выхода Y_u может изменяться в широких пределах заданием коэффициентов собственного оператора ($c_i = C_n^i \tau^2 b_0 / Y_u$, $i = [0, n]$, C_n^i — биномиальные коэффициенты) за счет выбора величины сигнала коррекции $X_k(t)$ без ущерба для формы переходной характеристики. Следует отметить, что рассмотренный метод введения коррекции не изменяет порядок системы.

Синтез передаточной функции по реализации процесса. Рассмотрим задачу синтеза передаточной функции как следствие теоремы 3. По дискретной реализации процесса при известных значениях $Y^{(0)}(k)$ и $X(k)$ ($k = [1, z]$) можно определить коэффициенты a_i и b_j , где $j = [0; m]$, $i = [0; n]$, $m \leq n$ (в предельном случае $m = n$), при возможных нулевых значениях некоторых из них. Возможность определения коэффициентов передаточной функции является следствием полиномиального представления переходной характеристики (13). По известной реализации функции (14), являющейся модификацией полинома (13), необходимо определить неизвестные a_i и b_j , входящие в ее выражение. При такой постановке задача сводится к тривиальной: необходимо составить $[(n+1) + (m+1)]$ уравнений по числу неизвестных a_i ($i = [0; n]$) и b_j ($j = [0; m]$) и решить их одним из методов. Число уравнений будет не более чем $2(n+1)$ при $m \leq n$. Среди возможных модификаций полиномиального представления остановимся на форме (2), в соответствии с которой значение выхода на k -м шаге на основании теоремы 3 определится как

$$Y_k = \sum_{i=0}^n b_i \chi_{n-i}^k h^{n-i} - \sum_{i=0}^{n-1} a_i \gamma_{n-i}^k h^{n-i},$$

где для общности принято $m = n$. Считая коэффициенты a_i и b_i неизвестными, нужно составить $2n+1$ уравнение и решить одним из методов.

Для повышения точности при зашумленных входном и выходном сигналах целесообразно применить методы снижения шумового эффекта (регрессионные, ортогональных полиномов, наименьших квадратов). Применяв метод наименьших квадратов (МНК) и считая коэффициенты полинома независимыми переменными, получим систему линейных уравнений

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n b_i h^{n-i} \sum_{k=1}^z \chi_{n-i}(k) \gamma_{n-j}(k) - \sum_{i=0}^{n-1} a_i h^{n-i} \sum_{k=1}^z \chi_{n-i}(k) \gamma_{n-j}(k) = \sum_{k=1}^z Y^{(0)}(k) \gamma_{n-j}(k) \\ \sum_{i=0}^n b_i h^{n-i} \sum_{k=1}^z \chi_{n-i}(k) \chi_{n-j}(k) - \sum_{i=0}^{n-1} a_i h^{n-i} \sum_{k=1}^z \chi_{n-i}(k) \chi_{n-j}(k) = \sum_{k=1}^z Y^{(0)}(k) \chi_{n-j}(k) \end{cases} \quad (16)$$

где $j = [0, n]$. Для удобства построения решения переменные разделены на две группы, относительно которых и получено решение (16). К первой

группе отнесены уравнения для определения коэффициентов собственного оператора ($j = [0, n-1]$), а ко второй — для определения коэффициентов оператора воздействия ($j = [0, m]$). В предельном случае порядок полинома оператора воздействия m может быть равен порядку полинома собственного оператора n . Поэтому максимальное число неизвестных, подлежащих определению, будет $2n+1$, т.к. в результате нормирования $a_n = 1$ и не подлежит определению. Полученное решение позволяет производить вычисления коэффициентов полинома в произвольные моменты процесса за произвольный временной промежуток для входного сигнала произвольной формы, что удобно при решении задач диагностики и контроля систем управления и может быть использовано при анализе нестационарных и нелинейных систем.

Замечание. При необходимости вычисления только коэффициентов собственного оператора можно воспользоваться выражением (4) для n -й производной в виде $X_k b_0 - \sum_{i=0}^n a_i Y_k^{(i)} = 0$, которое позволяет получить систему уравнений в форме наименьших квадратов для $k = [1, z]$

$$\sum_{k=1}^z X_k b_0 Y_k^j - \sum_{k=1}^z Y_k^j \sum_{i=0}^n a_i Y_k^{(i)} = 0, \text{ где } j = [0, n].$$

Считая неизвестными коэффициенты $a_0 \div a_n$, можно составить определитель и получить решение системы уравнений. BASIC- описание матрицы W решения для произвольного шага $k = [1, z]$ имеет вид

'Формирование матрицы

FOR I=0 TO N: W(I,N+1)=W(I,N+1)+X*Y(I)*B(0)

FOR J=0 TO N: W(I,J)=W(I,J)+Y(I)*Y(J): NEXT J, I: RETURN,

где X — значение входного сигнала, $Y(I)$ и $Y(J)$ — значения i -й и j -й производных на k -м шаге. Результат вычислений коэффициентов передаточной функции методом Гаусса по приведенным алгоритмам дают совпадающие

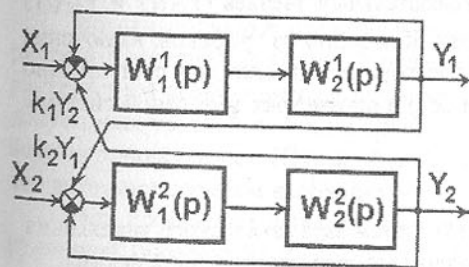


Рис. 3 Блок-схема системы

результаты с точностью вычислительной системы (до 10-12 значащего разряда) при входном сигнале любой формы (включая шумовую составляющую).

Пример. В качестве примера приведен результат вычисления реакции двухконтурной системы с перекрестными обратными связями, которая

является одной из версий антибло-кировочной системы (АБС) автомобиля. Тормозная система каждого борта представлена (рис. 3) инерционным (тормозной цилиндр) и колебательным (механизм торможения) звеньями с передаточными функциями

$$W_1^1(p) = 1/(T_{01}p + 1); \quad W_2^1 = 1/(T_{12}^2 p^2 + T_{11}p + 1) - \text{ для одного борта,}$$

$$W_1^2(p) = 1/(T_{02}p + 1); \quad W_2^2 = 1/(T_{22}^2 p^2 + T_{21}p + 1) - \text{ для другого борта.}$$

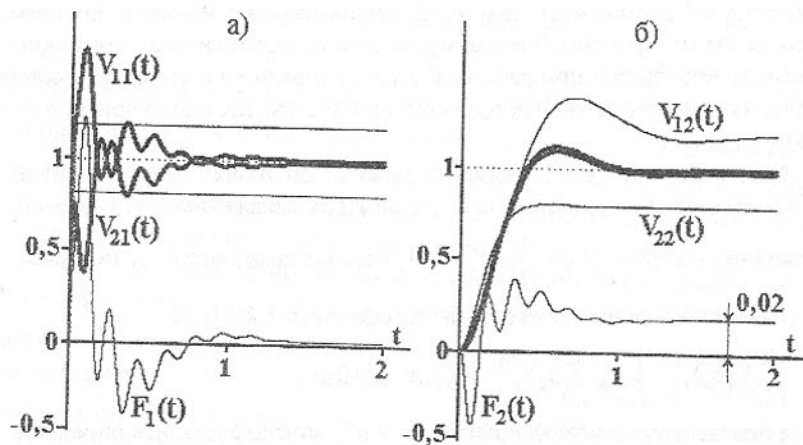


Рис. 4 Кривые переходного процесса.

Для иллюстрации работы системы введена асимметрия: $X_1 = 1,2$; $X_2 = 0,8$; $T_{01} = 0,005$; $T_{02} = 0,01$; $T_{11} = 0,2$; $T_{21} = 0,17$; $T_{12} = 0,2$; $T_{22} = 0,06$. Характер процессов показан на рис. 4, где тонкими линиями представлены процессы на выходе каждого из звеньев при отключенных перекрестных связях. Функции $F_1(t)$ и $F_2(t)$ представляют разность выходных сигналов инерционных ($V_{11}(t)$ и $V_{21}(t)$) и колебательных звеньев ($V_{12}(t)$ и $V_{22}(t)$) при включенных перекрестных связях. Как видно из графиков, включение перекрестных связей симметрирует выходные сигналы при существенно различных входных сигналах (X_1 и X_2) и параметрах тормозной системы по каждому борту.

Выводы.

1. Изложена теория анализа и синтеза систем автоматического управления произвольной структуры при входном сигнале произвольной формы.
2. Предложен метод анализа статических и динамических свойств системы.

3. Обоснован метод динамической коррекции.
4. Показана возможность анализа по единой методике линейных, нелинейных, стационарных, нестационарных, импульсных, стохастических многоконтурных и многосвязных систем при произвольном входном воздействии.
5. Обоснован метод динамической идентификации системы по ее реализации при входном сигнале произвольной формы в условиях действия аддитивной помехи.

Список литературы. 1. Теория автоматического управления /Под ред. А.В. Нетушила.- М.: Высш. шк., 1976.- 400 с. 2. Комбинаторный анализ. Задачи и упражнения: Учебное пособие / Под ред. К.А. Рыбникова.- М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1982.- 368 с. 3. Долгин В.П. Оптимальное управление технологическими объектами в условиях неопределенности. Подход адаптивной комбинаторной фильтрации. Монография. К.: Институт системных исследований образования, 1995.- 248 с.

РАСЧЕТ ГРАНИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИОПОМЕХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Заплетников И.Н., Алейкин В.Д.
(ДГУЭТ, СИЦ CETEST, Донецк, Украина)

In work the account of boundary parameters of radio interference for want of designing and issue of the process equipment is considered.

Цель расчёта - соответствие граничных показателей радиопомех требованиям стандартов и норм при проектировании, изготовлении и эксплуатации электрооборудования для торговли, общественного питания и бытовых электроприборов.

Исходные данные представляем в виде таблиц: частотные характеристики эффективных значений радиопомех от источника; частотные характеристики коэффициентов переноса помех; частотные характеристики допустимых уровней помех на зажимах; среднее относительное время работы источника помех. Шкалы f ; u ; K_n делят на разряды, величины разрядов выбирают с учетом необходимой точности расчетов.

При проведении испытаний на радиопомехи торгового электрооборудования, проводят измерения напряжения, напряжённости поля, мощности или силы тока радиопомех. Результаты измерений необходимо выражать соответственно в децибелах относительно 1 мкВ/м, 1 мкВ/м, 1 пВт,

1 мкА [1]. Полученные значения радиопомех не должны превышать граничных показателей радиопомех на всех исследуемых, для данного оборудования, частотах.

При измерениях радиопомех режим работы оборудования должен соответствовать таблице 1.

Таблица 1. Режимы работы электрооборудования с электродвигателем при измерениях радиопомех

Наименование оборудования	РЕЖИМЫ РАБОТЫ ОБОРУДОВАНИЯ
Электромиксер	Непрерывная работа без загрузки продукта
Электромельница	Непрерывная работа без засыпки продукта
Посудомоечная машина	Непрерывная работа без нагрузки
Электросоковыжималка	То же

Измерения производят в экранированной камере, при расстоянии от испытуемого оборудования до стен, металлических предметов и токопроводящих поверхностей не менее 0,8 м.

Экранированная камера должна быть с эффективностью экранирования и фильтрации по сети электропитания не менее 50 дБ, в полосе частот от 0,15 до 300 МГц.

Допускается также проводить измерения и вне экранированной камеры, т.е. на открытой измерительной площадке, но при условии, что величина посторонних радиопомех соответствует требованиям ГОСТ 16842-82. На открытой измерительной площадке не должно быть деревьев, проводов воздушной электросвязи, зданий или каких либо предметов, которые могут вызывать отражение электромагнитных волн. Размеры такой площадки должны быть не менее 2 R и 1,7 R, где R - расстояние, на котором измеряют напряжённость поля радиопомех. Расстояние от измеряемого электрооборудования и антенны измерителя радиопомех до посторонних отражающих предметов - не менее 2 м.

По табличным данным рассчитывают относительные уровни помех на входах элементов:

$$E_m^{nk} = u_{zm}^n / u_{dm}^k K_{nm}^{nk}$$

где E_m^{nk} - относительный уровень помех; u_{zm}^n - уровень помехи; K_{nm}^{nk} - коэффициент переноса помех; u_{dm}^k - допустимый уровень моногармонической помехи.

Максимальный уровень помехи, создаваемый n -м источником помех на входе, определяется суммированием по частотным разрядам:

$$E^{nk} = \sum_{m=1}^M E_m^{nk}$$

где M - число частотных разрядов.

Наиболее простым способом нахождения функции распределения вероятностей максимального уровня помехи, является суммирование относительных уровней в различных сочетаниях источников помех и отнесение результата суммирования к гистограмме распределения, с учетом вероятности каждого сочетания.

Вероятности сочетаний

$$P^k = \prod_{i=1}^i p_n \prod_{j=1}^{M-1} (1-p_j)$$

при $n = 1, \dots, N; j = 1, \dots, N; n \neq j$.

Величины P^k вычисляют для всех возможных сочетаний номеров источников помех из $N - B(k)$ по 1, по 2, по 3 и т.д. Одновременно вычисляют значения соответствующих сумм: $E^k = \sum E^{nk}$, суммируют все P^k , для которых E^k попадают в один ряд:

$$p_{\Sigma}^k(E^k) = \sum P^k(E^k = E^k)$$

Функция распределения вероятностей максимального значения суммарной помехи

$$p_{\Sigma}^k(E_d) = \sum p_{\Sigma}^k(E \leq E_d)$$

Вероятность нарушения нормальной работы элемента электрооборудования

$$P_{сб}^k = 1 - p_{\Sigma}^k(1).$$

Запас по уровню помехи по сравнению с допустимым, определяющий требования к системе помехоподавления,

$$\Delta_{дб}^k = E_{дб}^l(P_{сб}^k)$$

где $1 - P_{сб}^k$ - допустимая вероятность нарушения работы элемента оборудования; $E^l(p)$ - аргумент функции распределения, соответствующий значению p .

Значения $p_{\Sigma}^k(E)$, $P_{сб}^k$, Δ^k , вычисленные с помощью ПК, служат исходным материалом для разработки требований и норм к системе обеспечения электромагнитной совместимости.

Под нормой следует понимать максимально допустимое значение нормируемой величины, статистического параметра этой величины или нормируемой функции одного или нескольких параметров. Установление допускаемого значения непосредственно нормируемой и измеряемой величины носит название предельного нормирования [1]. Предельное нормирование необходимо применять при единичном выпуске продукции. Основным видом нормирования считается статистическое.

Норма L_x устанавливается для определённого квантиля в распределении вероятностей величины x :

$$L_x = M\{x\} + \gamma_p \sigma_x \quad (1)$$

где $M\{x\}$, σ_x - математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение нормируемой величины, γ_p - аргумент функции распределения x , соответствующий выбранному уровню вероятности p . Уровень вероятности в распределении нормируемой величины, как в национальной системе так и в МЭК, принято устанавливать $p = 0,8$, тогда $\gamma_p = 0,84$.

В соответствии с соотношением (1) видно, что нормой регламентируется совокупность двух статистических параметров - $M\{x\}$, σ_x . При изготовлении электрооборудования имеется возможность обеспечивать выполнение норм не только применением дополнительных помехоподавляющих средств, влияющих на $M\{x\}$, но и уменьшением σ_x : использование совершенной технологии изготовления, монтажа, использующей меньший разброс технических параметров изделий.

Для источников на локальных объектах Z - случайная величина с логарифмически нормальным распределением вероятностей и параметрами:

$$M\{Z\}_{(0)} = \mu_{с.э} + \mu_h + \mu_{KO} + \mu_{и.квп} \quad (2)$$

$$\sigma^2_{z(0)} = \sigma^2_{с.э} + \sigma^2_h + \sigma^2_{KO} + \sigma^2_{и.квп} \quad (3)$$

где $\mu_{с.э}$, μ_h , μ_{KO} , $\mu_{и.квп}$, $\sigma^2_{с.э}$, σ^2_h , σ^2_{KO} , $\sigma^2_{и.квп}$ - соответственно математические ожидания и дисперсии напряжённости поля сигнала.

Норма устанавливается с учетом определённого качества приёма $P(Z < Z_0)$ при работе одного источника помех не превышающего заданной величины $1 - \alpha_r$:

$$P(Z < Z_0) = \Phi[-(Z_0 - M\{Z\}) / \sigma\{Z\}] \geq \alpha_r$$

или

$$M\{Z\} \geq Z_0 + \Phi^{-1}(\alpha_r) \sigma\{Z\} \quad (4)$$

где $\Phi^{-1}(\alpha_r)$ - аргумент функции нормального распределения вероятностей равной установленному значению α_r .

Для математического ожидания квазипиковых значений радиопомех на зажимах источника допускаемое значение

$$\mu_{и.квп} \leq \mu_{с.э} + \mu_h + \mu_{KO} - Z_0 - \Phi^{-1}(\alpha_r) \sqrt{\sigma^2_{с.э} + \sigma^2_h + \sigma^2_{KO} + \sigma^2_{и.квп}}$$

Норма на допускаемый уровень радиопомех на зажимах источника определяется по (1):

$$L_{и.квп} \leq \mu_{с.э} + \mu_h + \mu_{KO} - Z_0 - \Phi^{-1}(\alpha_r) \sqrt{\sigma^2_{с.э} + \sigma^2_h + \sigma^2_{KO} + \sigma^2_{и.квп}} + \gamma_p \sigma_{и.квп} \quad (6)$$

Выражение (6) показывает, что увеличение дисперсий $\sigma^2_{с.э}$, σ^2_h , σ^2_{KO} приводит к ужесточению норм на допускаемые нормы радиопомех.

Уменьшение σ_{KO} в выражении (6) позволяет ослабить нормы $\mu_{и.квп}$ при заданном надёжности приёма. Поэтому нормы рассчитывают для оборудования размещённого в однотипных условиях. Например, для защиты приёмных устройств в жилых зданиях нормы необходимо рассчитывать

раздельно для электрооборудования размещённого в жилых зданиях и подключённого к их сетям, и электрооборудования находящегося вне зданий и не подключённого к их сетям. При этом σ_{KO} можно принять ≤ 12 дБ.

Учитывая вышеизложенное можно сделать расчет суммарного процесса радиопомех и вероятности искажения сигнала P_n .

Список литературы: 1. ГОСТ 16842-82. Радиопомехи промышленные. Методы испытаний источников промышленных радиопомех. 2. Певницкий В.П., Полозок Ю.В. Статистические характеристики промышленных радиопомех. - М.: Радио и связь, 1988. - 248 с.

НОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ

Засевский В.П., Яремчук М.А., Толкачев О.Э.
(НПО «Респиратор», ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

Одним из наиболее эффективных средств тушения подземных пожаров является воздушно-механическая пена. Для генерирования пены применяются устройства в основном двух типов: эжекционные - для генерирования пены средней кратности и вентиляторные - для генерирования высокочастотной пены [1].

Опыт дистанционной подачи низкочастотной пены под давлением в труднодоступные места горных выработок по трубопроводам и скважинам показывает, что использование такой пены становится неэффективным. Это связано с невозможностью подъема ее до кровли (в больших куполах или других пустотах закрепного пространства) и вероятностью размыва почвы углеспускных скатов на крутых пластах. Кроме того, использование мощной пеногенераторной техники, позволяющей получать высокочастотную пену, в аварийных условиях и в труднодоступных местах не всегда возможно [2,3].

В НПО «Респиратор» создана новая высоконапорная пеногенераторная установка, позволяющая генерировать и подавать пену под давлением по трубам с малой площадью сечения ($D_u=50..100$ мм) в труднодоступные места горных выработок.

Установка (рис.1) состоит из пеногенератора 1, снабженного специальным регулирующим устройством, обеспечивающим устойчивое пенообразование при изменении давления в пеноподающем трубопроводе или скважине, шестеренного насоса НШ-50 5, который приводится в действие пневмоприводом СРЗ-1м 4, регулирующими вентилями 3,

подводящих и отводящих патрубков. Давление на подводящих патрубках контролируется манометрами 2.

Одним из недостатков существующих пеногенераторов [4,5] является их неустойчивая работа. По мере роста длины пенного потока в трубопроводах или скважинах растет противодавление пеногенератору, т.е. перепад давления на оросительной форсунке снижается, что приводит к снижению расхода и уменьшению угла раскрытия факела распыла пенообразующего раствора. При этом поверхность пеногенирующей сетки не полностью покрывается пенообразующим раствором, в результате чего нарушается процесс пенообразования. При дальнейшем росте противодавления процесс пенообразования вообще прекращается. Все это приводит к тому, что эффективность пожаротушения снижается.

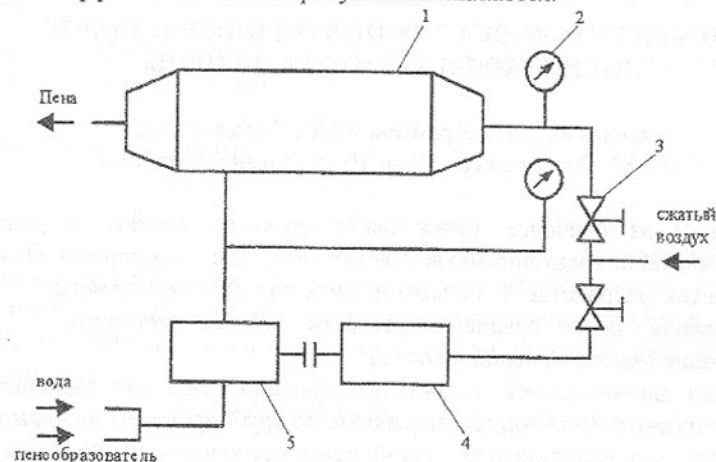


Рис.1. Принципиальная схема установки.

В данном пеногенераторе (рис.2) этот вопрос решается тем, что корпус между патрубком 8 и распылителем 4 выполнен в виде трубки Вентури 1, на выходе которой установлен подпружиненный 5 обтекатель 7. При этом пеногенераторная сетка 3 свободно установлена в корпусе 2 с возможностью продольного перемещения и жестко связана посредством тяг 6 с обтекателем 7.

Благодаря такому техническому решению при изменении противодавления пенного потока в трубопроводе обеспечивается регулирование количества подаваемого на сетку газа. Это происходит за счет перемещения обкателя и перекрытия им проходного сечения, что приводит к орошению всей поверхности пеногенераторной сетки при изменении угла раскрытия факела распыла пенообразующего раствора. Перемещение осуше-

вляется путем приближения или удаления пеногенераторной сетки от распылителя.

Такое конструктивное решение в пеногенераторе позволяет обеспечить непрерывное получение высокократной пены, что в конечном счете повышает эффективность тушения.

Работает пеногенератор следующим образом. Сжатый газ через патрубок поступает в пеногенератор и за счет скоростного напора газа обтекатель и пеногенераторные сетки смещаются вдоль оси, сжимая пружину. На сетки распылителем подается пенообразующий раствор. При этом обеспечивается орошение сеток по всей поверхности. Образуется высокократная воздушно-механическая пена, которая по трубам малого сечения или скважинам подается к очагу пожара.

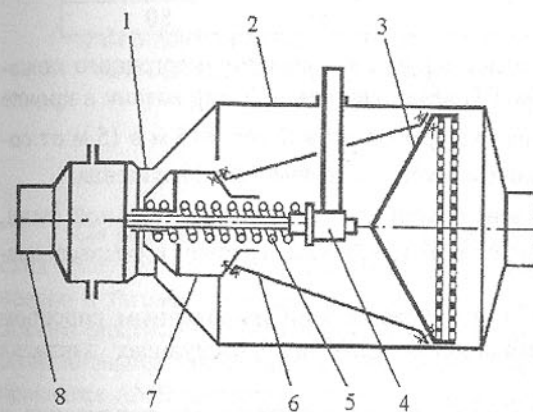


Рис.2. Схема пеногенератора

По мере роста длины пенного потока растет противодавление в трубопроводе, что приводит к снижению скоростного напора газа. Соответственно снижается перепад давления и расход на распылителе и, следовательно, уменьшается угол раскрытия факела распыла пенообразующего раствора. При этом уменьшается усилие, действующее на обтекатель и сетки, в результате чего под действием пружины обтекатель и сетки (жестко связанные между собой тягами) перемещаются в сторону распылителя. В табл.1 представлена техническая характеристика установки для получения и подачи воздушно-механической пены.

Таблица 1. Техническая характеристика

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
Производительность	м ³ /с	0,066
Кратность пены		150..175
Расход воды	м ³ /с	0,37·10 ⁻³ .. 0,4·10 ⁻³

Продолжение табл.1

Наименование параметра	Единица измерения	Величина
Расход сжатого воздуха на пеногенератор на пневмопривод	м ³ /с	0,066 0,02
Давление сжатого воздуха	МПа	0,2
Содержание пенообразователя в воде	%	5 ± 0,5
Давление водного раствора пенообразователя	МПа	0,3
Габариты	мм	1100×800×570
Масса	кг	80

Данная установка применялась при ликвидации эндогенного пожара на шахте им. 9-й пятилетки ПО «Макеевуголь». Пожар возник в кровле восточного полевого откаточного штрека пласта I₈¹ гор. 815 м в 15 м от сопряжения с конвейерным уклоном в зоне геологического нарушения.

Пласт I₈¹ в указанной зоне опасен по газу и взрыву угольной пыли, особо опасен по внезапным выбросам угля и газа, склонен к самовозгоранию.

Для изоляции пожара и его тушения комбинированным способом использовалась инертно-механическая пена и последующая закладка пожарного участка.

Пеногенераторная установка была использована для порлучения и подачи инертно-механической пены на основе азота. Газообразный азот подавался с поверхности от газификационной установки Г-7,4-0,5/20 по патрубкам длиной 3500..4000м, диаметром 4..6 дюймов. Давление газообразного азота у установки равнялось 0,2..0,4 МПа. Для привода насоса использовался сжатый воздух от шахтной пневмосети. Пятипроцентный раствор пенообразователя готовился заранее в шахтной вагонетке ВТ-2,5 и насосом подавался к пеногенератору. Полученная инертно-механическая пена поступала по рукаву диаметром 3 дюйма и длиной 180 м, проложенному по восточному полемому откаточному штреку, и далее по скважине диаметром 50 мм и длиной 11..14 м, пробуренной к очагу пожара.

Режим работы установки определялся длительностью бесперебойной подачи газообразного азота. Общее время работы составило 350 часов.

Применение пеногенераторной высоконапорной установки позволило обеспечить устойчивое получение пены кратностью 150..175 и подачу ее под давлением к очагу пожара.

Список литературы: 1. Иванов С.П., Курбатов Б.Е. Расчет средств пенного пожаротушения.- М.: Стройиздат, 1985.- 220с. 2. Пашковский П.С. Новая технология предотвращения эндогенных пожаров в выработанных пространствах КМЗ // Уголь Украины.- 1994.- №11.- С.36-38. 3. Условия охлаждения очагов самовозгорания угля в выработанном пространстве/ Засевский В.П., Пашковский П.С., Гусар Г.А., Бугаев А.Б.// Горноспасательное дело: Сб.науч.тр./ ВНИИГД.- Донецк, 1991.- С.44-50. 4. Режимы работы пенной автоматической установки УПАК/ Костенко В.К., Толкачев О.Э., Потапенко В.В.// Горноспасательное дело: Сб. науч. тр./ НИИГД./ ВНИИГД.- Донецк, 1995.- С.17-21. 5. Пашковский П.С., Яремчук М.А. Пеногенератор.- А.с. 1611348, МКИ А62С5/04 Опубл. 07.12.90 Бюлл. № 45.

РЕГУЛИРУЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЕМ АСИНХРОННЫЕ МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРЫ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В ОБМОТКЕ РОТОРА

Захарчук А.С. (ВУГУ, г. Луганск, Украина)

Для работы в охлаждающих устройствах локомотивов в автоматических системах плавного регулирования температурного режима теплосилового и тягового оборудования разработаны и экспериментально исследованы опытные образцы асинхронных мотор-вентиляторов (АМВ) с ферромагнитными элементами в короткозамкнутой обмотке ротора. Частота вращения АМВ регулируется изменением напряжения на трехфазной обмотке статора.

Асинхронный мотор-вентилятор АМВ с комбинированным ротором (рис. 1) [1] состоит из статора 1 с обмоткой и магнитопроводом, жестко соединенного с торцевым щитом 2 при помощи втулки 3, несущей опорные подшипники 4 вала 5, соединенного с массивным ферромагнитным корпусом ротора 6 из стали Ст3, к которому жестко прикреплены лопасти осевого вентилятора 7. В корпус ротора 6 запрессован шихтованный магнитопровод 8 ротора с короткозамкнутой обмоткой. Стержни 9 из меди на одном торце магнитопровода 8 соединены с короткозамыкающим кольцом 10 из стали Ст3, а на другом торце – с корпусом ротора 6, служащим вторым короткозамыкающим кольцом.

Соединение стержней 9 с корпусом ротора 6 выполнено через сегменты 11, изготовленные из стали Ст3. Каждый сегмент 11 соединен с двумя стержнями 9.

При питании АМВ от источника с регулируемым напряжением U_1 , с уменьшением U_1 происходит увеличение скольжения s , т.е. частота тока в

роторе растёт. При этом чем больше s , тем в большей степени проявляется поверхностный эффект в массивном ферромагнитном корпусе ротора 6, тем большее значение принимает активное сопротивление обмотки ротора. Последнее обстоятельство обуславливает хорошие регулировочные свойства (снижается жесткость механической характеристики) и устойчивую работу АМВ в широком диапазоне изменения скольжения от s_H до $s=1$. Объединение стержней 9 попарно сегментами 11 позволяет улучшить технологичность конструкции.

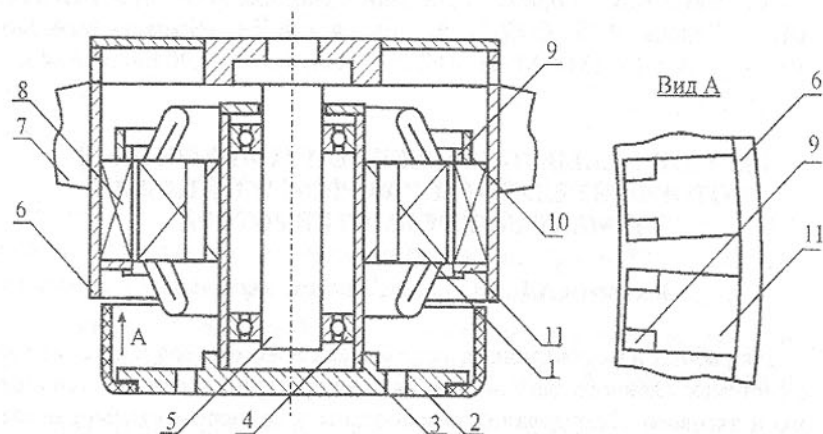


Рис. 1. Конструкция мотор-вентилятора с комбинированным ротором.

Выполнение обмотки ротора из двух частей, одна из которых (стержни 9 и кольцо 10, сегменты 11) расположена внутри машины, а другая (корпус ротора 6) на внешней поверхности, причем электрическое сопротивление второй возрастает с ростом скольжения, позволило получить благоприятное перераспределение потерь скольжения в обмотке ротора. Основная их часть выделяется в массивном ферромагнитном корпусе ротора 6 и интенсивно отводится воздушным потоком, создаваемым лопастями АМВ. Тепловой поток, идущий от ротора к статору 1 снижается, обмотка статора не перегревается. Благодаря этому повышается надежность работы АМВ в широком диапазоне скольжения.

Более технологичной является конструкция АМВ с двухпакетным ротором (рис. 2), имеющая несколько большие габариты в осевом направлении по сравнению с АМВ рис. 1.

Статор 1 (рис. 2) разделен на две одинаковые части в осевом направлении и имеет одну обмотку.

Ротор также разделен на две одинаковые части, на два пакета, запрессованные в корпус 2, но каждый пакет 3 имеет свою короткозамкну-

тую обмотку типа "беличья клетка" из алюминиевого сплава типа АК15Мц2, имеющего наибольшее активное сопротивление из алюминиевых сплавов. Цель разделения ротора – максимально увеличить активное сопротивление обмотки ротора за счет дополнительных короткозамыкающих колец. Для дальнейшего увеличения r_2 и получения мягкой механической характеристики внешние короткозамыкающие кольца 4 из алюминиевого сплава охвачены ферромагнитными элементами 5 из стали Ст 3.

Магнитное поле рассеяния короткозамыкающего кольца 4 "беличьей клетки" индуцирует вихревые токи в ферромагнитном экране 5 и создает дополнительные потери в экране, что, соответственно, увеличивает эквивалентное активное сопротивление ротора. При питании АМВ от источника с регулируемым напряжением U_1 , с уменьшением U_1 происходит увеличение скольжения s , т.е. частота тока в к.з. кольцах 4 обмотки ротора растёт. При этом чем больше s , тем в большей степени проявляется поверхностный эффект в массивном ферромагнитном экране 5, тем большее значение принимает активное сопротивление обмотки ротора, что обуславливает хорошие регулировочные свойства АМВ. Изменяя количество ферромагнитных экранов (от 1 до 4, рис. 2) возможно изменить жесткость механической характеристики АМВ в широких пределах.

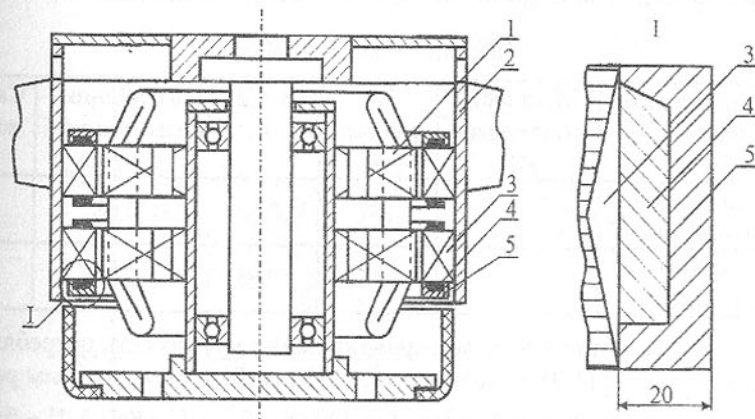


Рис. 2. Конструкция мотор-вентилятора с двухпакетным ротором.

К достоинствам двухпакетного ротора следует отнести хорошую технологичность изготовления при серийном производстве. К недостаткам – выделение теплоты потерь скольжения ротора внутри АМВ, уменьшение $\cos \phi$ из-за дополнительных короткозамыкающих колец ротора и некоторое увеличение габаритов в осевом направлении.

Статоры опытных АМВ имеют следующие данные: число витков в фазе 45, активная длина статора 0,13 м для однопакетных вариантов и

2×0,065 м для двухпакетного варианта, наружный диаметр – 0,525 м, число пазов 90. Паза статора для однопакетных вариантов изготавливались открытыми, для двухпакетного варианта – полузакрытыми. Полезная мощность АМВ в номинальном режиме $P_{2н}$ при частоте питания $f_n = 100 \text{ Гц}$ и фазном напряжении $U_{фн} = 230 \text{ В}$ устанавливалась углом установки лопастей. При вентиляторной нагрузке полезная мощность изменяется в кубе от частоты вращения АМВ.

На рис. 3 приведены для сравнения экспериментальные зависимости потребляемого фазного тока I_ϕ (1-3) и скольжения s (4-6) АМВ при частоте питания $f = 100 \text{ Гц}$ и изменении фазного синусоидального напряжения на обмотке статора для следующих конструкций ротора: 1, 4 – с однопакетным ротором и ферромагнитными экранами из стали Ст3 на короткозамкнутых кольцах обмотки из сплава АК15Мц2 ($P_{2н} = 60 \text{ кВт}$, $n_n = 1175 \text{ об/мин}$, число полюсов $2p = 10$); 2, 5 – с двухпакетным ротором и экранами, рис. 2 ($P_{2н} = 65 \text{ кВт}$, $n_n = 1430 \text{ об/мин}$, $2p = 8$); 3, 6 – с комбинированным ротором, рис. 1, верхнее короткозамыкающее кольцо – сталь Ст3 ($P_{2н} = 66 \text{ кВт}$, $n_n = 1425 \text{ об/мин}$, $2p = 8$). Параметры АМВ при $U_{фн} = 230 \text{ В}$, $f_n = 100 \text{ Гц}$, $2p = 8$ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры АМВ

Конструкция ротора	Мощность полезная, кВт	Ток фазный, А	К.п.д., о.е.	Коэффициент мощности, о.е.	Скольжение, %
Комбинированный, рис. 1	66	167	0,85	0,68	5,0
Двухпакетный, рис. 2	65	163	0,85	0,68	4,7

На рис. 4 приведены экспериментальные зависимости потребляемого фазного тока I_ϕ (1-3) и скольжения s (1'-3') АМВ с двухпакетным ротором от фазного напряжения U_ϕ при $f_n = 100 \text{ Гц}$, $P_{2н} = 75 \text{ кВт}$: 1-1' – без ферромагнитных экранов; 2-2' – с одним, 3-3' – с двумя экранами из стали Ст3 на внешних короткозамыкающих кольцах.

Штриховыми линиями показана область "опрокидывания" АМВ. Из рис. 3, 4 следует, что АМВ с комбинированным ротором (рис. 1) и с двухпакетным ротором с двумя ферромагнитными экранами на внешних короткозамыкающих кольцах обмотки ротора (рис. 2) имеют наиболее благоприятные регулировочные характеристики $s = f(U_\phi)$ и минимальный

потребляемый ток при глубоком регулировании, а, следовательно, более высокий КПД и $\cos \phi$.

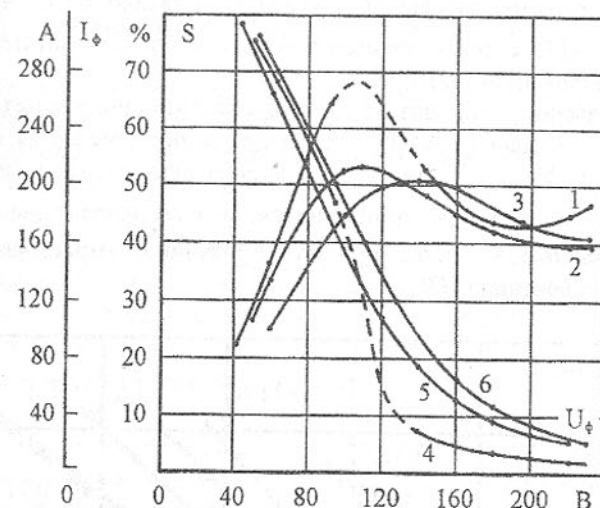


Рис. 3. Зависимость тока I_ϕ (1-3) и скольжения s (4-6) мотор-вентиляторов от напряжения питания U_ϕ .

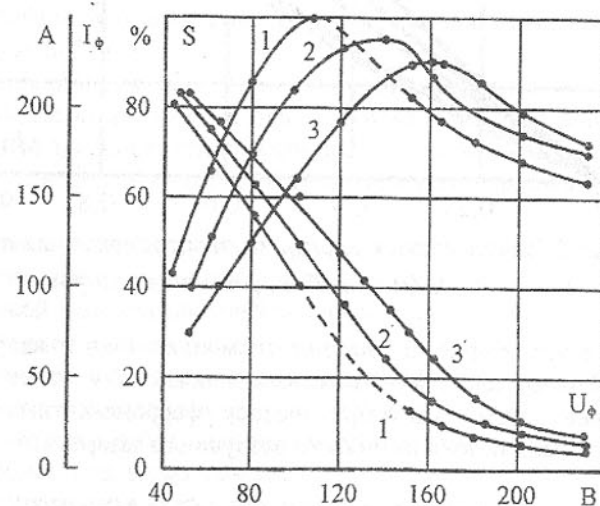


Рис. 4. Зависимость тока I_ϕ (1-3) и скольжения s (1'-3') мотор-вентиляторов с двухпакетным ротором от напряжения питания U_ϕ .

Тепловые испытания показали, что превышение температуры лобовых частей обмотки статора в АМВ с комбинированным ротором в наиболее тяжелом режиме работы ($U_{\phi} = 120 В$) составило $65^{\circ}С$, что на 30° меньше чем в АМВ с двухpaketным ротором, что доказывает целесообразность комбинированного ротора.

При движении тепловоза с составом частота синхронного генератора, от которого питаются АМВ, преимущественно изменяется в пределах $f = 60...100 Гц$. На рис. 5 представлены экспериментальные зависимости к.п.д. $\eta_{МВ}$ АМВ при регулировании синусоидальным напряжением. Штриховая кривая - зависимость к.п.д. при регулировании от тиристорного преобразователя напряжения (ТПН).

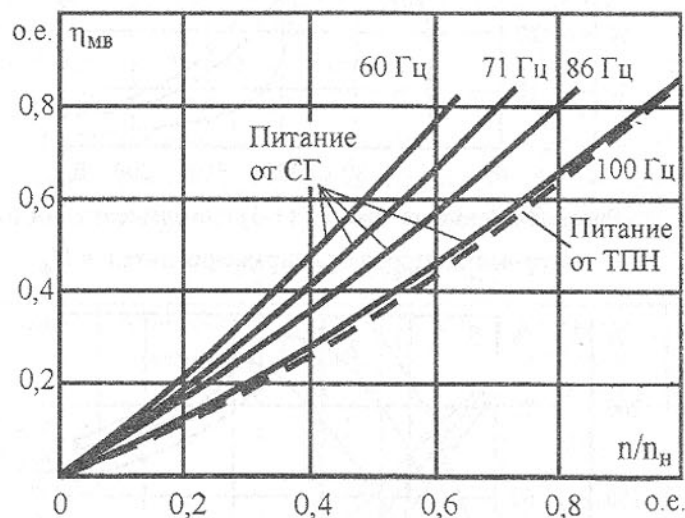


Рис. 5. Зависимость к.п.д. $\eta_{МВ}$ от частоты вращения n/n_n АМВ с комбинированным ротором.

Как следует из рис. 5, высшие гармоники тока и напряжения на выходе ТПН оказывают незначительное влияние (не более 1...2%) на характеристики к.п.д., благодаря выносу ферромагнитных элементов электрической цепи ротора из области воздушного зазора.

Список литературы: 1. А.с. 1700693 СССР, МКИ H02K 7/14. Асинхронный мотор-вентилятор / А.С. Захарчук, С.А. Прокопенко, И.Ю. Бухтияров (СССР). – №4755220/07; Заявлено 31.10.89; Опубл. 23.12.91. Бюл. №47. – 4 с.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОМФОРТА ОПЕРАТОРА

Кавун Ю.М. (ДонГУ, г. Донецк, Украина)

The article is devoted to the graphic modelling of the functioning zone from the operator's working place. A number of ergonomic problems, which arise in designing prospective model of means of transport, are solved on its basis. The article also includes the design process scheme.

Установлено, что до 50% всех отказов в системах связано с человеческим фактором. В соответствии с мировой статистикой 80% катастроф в авиации, 64% на морском флоте происходят в результате ошибок, допускаемых летчиками и моряками.

В системе человек – машина – среда важнейшую роль играет проблема обзорности с рабочего места оператора. Игнорирование требований обзорности при создании различных видов транспорта влечет за собой значительные потери экономического, технического и социального характера. Так, при создании мощных промышленных тракторов Т-300 Чебоксарского тракторного завода не было учтено требование по обзорности, что привело к необходимости изменения компоновки кабины и, соответственно перестройки ряда технологических линий и изготовления нового комплекса крупногабаритных штампов. Для этого дополнительно потребовалось более 10 млн. руб. (1983 г.).

В сельскохозяйственном машиностроении скорости современных тракторов увеличились на 30-40%, однако реализуются они далеко не полностью в связи с эргономическим несовершенством машин, что ограничивает возможность использования психофизиологических возможностей оператора.

Перед различными отраслями машиностроения стоит задача создания новых видов транспорта, отличающихся ростом производственных мощностей, резкой интенсификацией технологических процессов, быстродействием в процессе изменяющихся ситуаций производства, способностью агрегатироваться с большим рядом навесного оборудования, многоцелевых по своему технологическому значению и обеспечивающих безопасность производства работ, повышение производительности труда и конкурентоспособность на внешнем рынке.

Степень обзорности, под которым понимается определенный уровень визуального комфорта, значительно влияет на производительность труда оператора и достигает по данным "КАТЭКНИИуголь" 15% от общих показателей операторской деятельности.

Значительный интерес к проблеме обеспечения обзорности оператора как у нас в стране, так и за рубежом наблюдается в автомобилестроении, в области создания сельскохозяйственных машин, летательных аппаратов, строительной, дорожной, горнодобывающей техники, машиностроения и в других отраслях народного хозяйства. Возросшие требования обеспечения визуального комфорта оператора в системе "человек-машина-среда" вызывает необходимость более строгого анализа проблем оптимизации обзорности машин [1, 2].

Важное место в проектировании транспортных средств занимает конструирование средств обеспечения визуальной информацией (СОВИ), которые классифицируются на пропускающие (окно, люк, прозрачный колпак), отражающие (перископ, зеркало), отображающие (видео устройство, индикатор, экран ЭЛТ) и обслуживающие (стеклоочиститель, стеклоомыватель, дефростер). Именно через них оператор получает наибольшую по объему и разнообразию по виду зрительную информацию в ограниченное время, т. е. определяет пространственное положение и скорость машины, оценивает окружающую ситуацию, прогнозирует возможное создание аварийной ситуации и др. Много исследований отечественных и зарубежных специалистов посвящены вопросам нормирования параметров различных видов СОВИ, разработке национальных и международных требований к объектам наблюдения и организации дорожного движения [3-6].

Картины обзора, полученные известными способами, обладают низкой точностью, не полностью отражают степень обзора объектов наблюдения, не позволяют решать метрические задачи и осуществить преобразование элементов моделей обзорности в ортогональный чертеж, отражают ограниченные углы зрения, не универсальны относительно различных национальных требований обзорности и методов ее оценки, не дают возможности анализировать и прогнозировать состояние обзорности на любой стадии создания перспективной модели машины.

Прикладная теория оптимизации обзорности технических средств базирующаяся на принципах топологических отображений и методах начертательной геометрии на основе теоретических разработок в области топологических отображений центрально-проекторных сферических картин, дает возможность создать плоскую графическую модель обзорности функциональной зоны с рабочего места оператора без ограничения углов зрения и позволяет решить ряд инженерных задач [7-9]:

- Определение геометрии каркаса поста управления машины осуществляется на основе графической картины обзора, построенной с заданной точки зрения оператора для исходной визуальной ситуации. Данный процесс заключается в том, что на плоском отображении кругового обзора визуальной базы вычерчивают конструкции каркаса поста управления таким

образом, чтобы они не затемняли заданные объекты наблюдения и соответствовали задуманному геометрическому образу кабины. Полученное топологическое отображение реконструируют в ортогональный чертеж.

- Компоновка поста управления осуществляется на ортогональном чертеже машины относительно заданной точки зрения с учетом найденных на топологической картине параметров характерных точек каркаса кабины. Для этого на ортогональном чертеже визуальной базы машины в соответствии с ГОСТами, формируют объем и планировку поста управления.

- Определение оптимальных контуров остекления поста управления выполняют на ортогональном чертеже полученной кабины, вычерчивая минимальные контуры остекления на ограждающих конструкциях кабины в соответствии с формой объектов наблюдения. Параметры характерных точек контура объектов наблюдения получают по графической картине обзора заданной визуальной ситуации. Минимальные контуры остекления позволяют получить их оптимальную конфигурацию в результате дальнейших дизайнерских разработок.

При разработке оптимального варианта остекления следует учитывать возможность уменьшения материалоемкости поста управления, художественно-конструкторские достоинства кабины, психо-физиологические особенности оператора, но в то же время избежать «парникового эффекта», возникающего при большой поверхности остекления.

- Организация рабочего места оператора осуществляется на основе топологической картины обзора, где выявляют зоны размещения приборной панели, органов управления с таким расчетом, чтобы они не создавали визуальные помехи в поле зрения оператора, но в то же время находились бы в пределах (или за пределами) бинокулярного, монокулярного или хроматического поля зрения оператора. Контуры оборудования, размещенного рациональным образом на графической картине обзора, наносят на ортогональный чертеж, используя при этом методы преобразования плоских топологических отображений. Аналогичным образом осуществляют выбор оптимального расположения отражающих и отображающих средств визуальной информации.

- Построение рациональных зон очистки прозрачных поверхностей, образуемых стеклоочистителями, омывателями, дефростерами, осуществляют также на основе графической модели обзорности, используя методы метризации плоских изображений.

- Формообразование и компоновка конструктивных элементов машины, влияющих на её обзорность, таких как выхлопные трубы, тягово-прицепное устройство, технологическое оборудование, защитные и ограждающие конструкции, оперение и другое осуществляют также на основе графических картин обзора.

• Конструирование унифицированных кабин по критериям обзорности выполняют на основе нескольких совмещенных графических картин обзора, у которых главные лучи зрения совпадают.

• Организация наружного освещения собственными средствами машины также может быть осуществлена при помощи графической картины обзора. В данном случае проводят поиск области рационального расположения источников освещения аналогично определения объема расположения точки зрения.

• Учет бинокулярности зрительного аппарата осуществляется построением бимодели обзорности, исходя из психофизиологических особенностей человека, - полей зрения для левого и правого глаза, хроматического поля зрения, изменения поля зрения в зависимости от скорости движения.

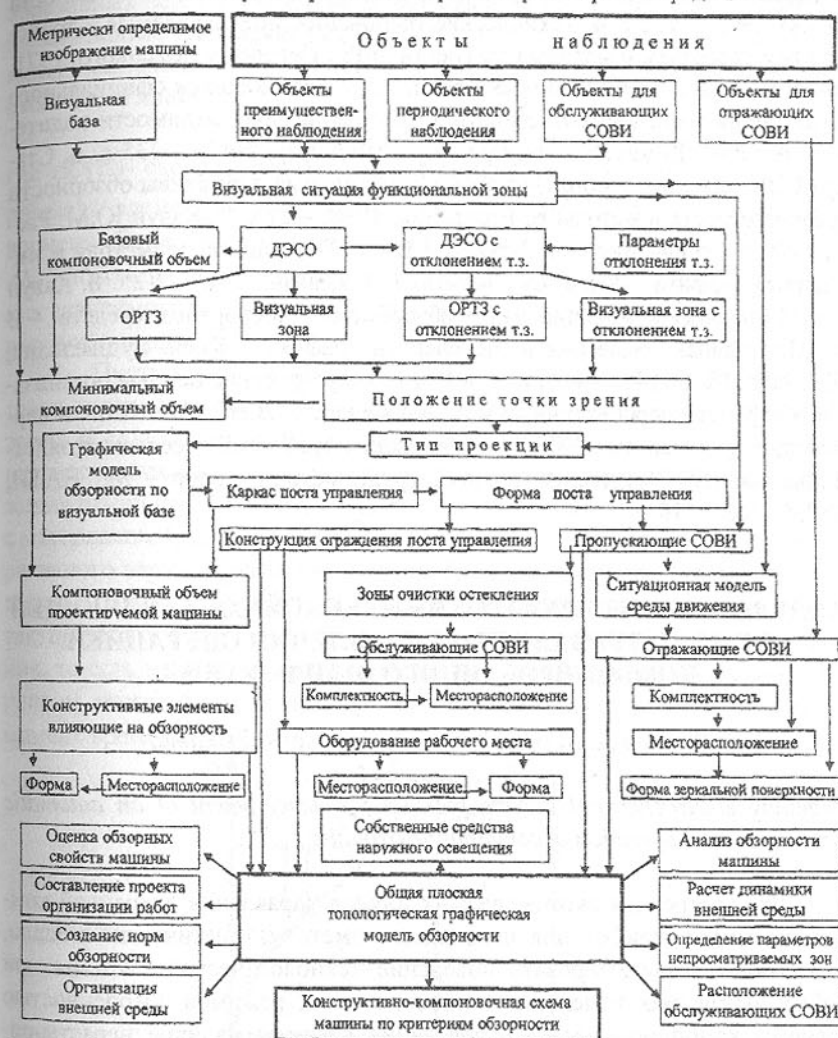
• Учет фактора времени динамической среды можно выполнить на основе графической модели обзорности, так как 3-тканевый транспарант определяет траекторию движения ориентиров окружающего предметного пространства, что позволяет вычислить время нахождения объекта зрительного внимания в закрытой и открытой зонах поля зрения оператора при заданной скорости движения.

При помощи круговой графической картины обзора также возможно:

- ♦ исследовать обзорные свойства машины относительно отечественных и зарубежных норм;
- ♦ осуществить организацию внешней среды;
- ♦ создавать нормативы, регламентирующие обзорность различных видов транспорта;
- ♦ учесть психофизиологические факторы, влияющие на оператора в процессе технологических операций;
- ♦ разработать проект организации работ с учетом обзорных требований;
- ♦ корректировать зоны размещения технических средств организации движения;
- ♦ оценить количественно и качественно степень обзорности относительно различных параметров, регламентирующих обзорность;
- ♦ осуществить подробный анализ обзорности машины на любой стадии её проектирования или эксплуатации.

Схема демонстрирует содержание и последовательность проектных работ по обеспечению визуального комфорта оператору при создании перспективных моделей средств транспорта.

Технология проектирования обзорности транспортных средств



Сокращения: СОВИ – средства обеспечения визуальной информацией;

ДЭСО – диаграмма экстремального состояния обзорности;

ОПТЗ – объем расположения точки зрения;

т.з. – точка зрения.

Список литературы: 1.Обливин В.Н. Комплексные исследования системы "человек-машина-среда". / Лесная промышленность, 1982, № 11. С. 29-30. 2. Семура Масао. Проблема увеличения обзорности в кабинах грузовых автомобилей. / Дзидоса Гидзюци, 1963, Т. 7, №2. С.129-133. 3.

Федеральные стандарты по безопасности автомобильного транспорта (США). 1969. – 172 с. 4. Технические требования, предъявляемые к транспортным средствам и методы испытаний. ФРГ. Перевод с немецкого. 1971. – 64 с. 5. Проект единообразных предписаний, касающихся официального утверждения транспортных средств в отношении поля видимости водителя. ЕЭК ООН. Комитет по внутреннему транспорту. 1968. – 135 с. 6. Стандарт СЭВ. Машины и оборудование. Строительные нормативы обзорности с рабочего места и методы её измерения, 1968. – 27 с. 7. Кавун Ю.М. Расчет плоской криволинейной 3-ткани // В сб.: Прикладная геометрия и инженерная графика – Киев: Будівельник, 1974, вып. 37. С. 23-25. 8. Кавун Ю.М. Графическое моделирование обзорности транспортных средств. – В сб.: Прикладная геометрия и инженерная графика – Киев: Будівельник, 1974, вып. 18. С. 141-144. 9. Кавун Ю.М. Теоретические основы организации обзорности перспективных моделей машин. // В сб.: Состояние и перспективы художественного конструирования тракторов и сельскохозяйственных машин. Улучшение условий труда механизаторов – М.: НАТИ, 1982. С. 108 – 110.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЪЕМА МАТЕРИАЛА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОПЕРАЦИЕЙ КОМБИНИРОВАННОГО ШЛИФОВАНИЯ

Каннов Д. А. (СевГТУ, г. Севастополь, Украина)

Modelling electrochemical making pick up for development of an automatic cycles of control operation of combination grinding.

Для построения автоматических циклов управления операцией комбинированного шлифования необходимо иметь математические модели, позволяющие прогнозировать поведение технологической системы при любых алгоритмах изменения технологических режимов. Особенностью процесса комбинированного шлифования является наличие нерастворимых, высокоомных пассивирующих пленок у значительной группы металлов и сплавов, возникающих при воздействии электрического поля на поверхности заготовки, что приводит к снижению скорости анодного растворения металла, и является весьма существенным при расчете параметров циклов управления операциями. Без учета вышеуказанных факторов расчетные циклы не могут обеспечить требуемого качества обработки поверхностей.

В процессе комбинированного шлифования при контактировании

абразивных зерен с материалом заготовки на ее поверхности образуются элементарные площадки. Если известно число площадок, возникающих в любой момент времени, то можно вычислить приращение электрохимической съема припуска:

$$\Delta Q_{\text{ЭХ}} = [\Delta Q(\tau') S_n \Delta N(\tau)] \Delta t \quad (1)$$

где $\Delta Q(\tau')$ – скорость растворения металла на элементарной площадке, S_n – площадь элементарной площадки, ΔN – число площадок, Δt – приращение времени. Единственной неизвестной величиной в уравнении (1) является ΔN – число площадок, возникающих в любой момент времени. Для получения зависимости, позволяющей рассчитывать количество таких площадок, рассмотрим рис.1.

Пусть в момент времени t_0 через рассматриваемый уровень заготовки начинают проходить вершины наиболее выступающих абразивных зерен. В случае контактирования абразивных зерен с металлом на его поверхности появляются элементарные площадки. Однако вследствие наложения единичных срезов друг на друга у значительной части зерен контакт с материалом будет неполным. Он распространится не на всю ширину абразивного зерна. Другая часть абразивных зерен вообще попадает в единичные риски. В этом случае площадки не образуются. Число зерен, контактирующих с материалом, пропорционально вероятности его не удаления, то есть на основе анализа вероятности контакта вершин зерен с материалом может быть вычислено количество площадок, образовавшихся в момент времени τ .

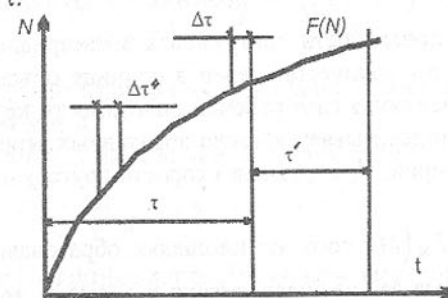


Рис.1 Схема к расчету электрохимического съема металла с учетом обновления поверхности в результате абразивного воздействия.

Вероятность появления площадки равна вероятности события, заключающегося в том, что точка профиля зерна пройдет через металл. Если, например, за время $\Delta \tau$ через уровень $u=0$ до $u=u$ пройдет $\Delta \lambda$ зерен, то число появляющихся площадок будет равно:

$$P_n = \Delta \lambda P(\overline{M}), \quad (2)$$

где $P(\overline{M})$ – вероятность не удаления материала в момент времени τ . Одна-

ко часть площадок, образовавшихся в момент времени τ , попадает с учетом перекрытия в зону действия одного из зерен и может быть срезана в любой момент времени $\tau' = t - \tau$, где t - данный момент времени, τ' - время существования площадки.

Очевидно, для того чтобы определить число площадок в любой момент времени t , нужно домножить вероятность появления площадки P_N на вероятность события, заключающегося в том, что площадка, образовавшаяся за время $\Delta\tau$, не будет срезана.

$$\Delta N(\tau') = \Delta\lambda P(\overline{M}) P_N(\overline{M}), \quad (3)$$

где $P_N(\overline{M})$ - вероятность того, что площадка, образовавшаяся за время $\Delta\tau$, не будет срезана, $\Delta\lambda$ - число зерен, прошедших через сечение за период $\Delta\tau$. Вероятность не удаления материала в момент времени τ , определяется зависимостью [1]:

$$P(\overline{M}) = \exp[-a(y; \tau)], \quad (4)$$

где $a(y; \tau)$ - сумма поперечных профилей зерен прошедших через сечение за время от t_0 до τ . После аппроксимации профиля зерна степенно зависимостью (в простейшем случае параболаидом вращения), не сложных преобразований и интегрирования по u и τ получим:

$$a(y; \tau) = \frac{xk_c c_b \Gamma(m+1) \Gamma(x) n_3 V_k [S_y (\tau - t_0)]^{x+m+1}}{H_u^x (m+x+1) \Gamma(x+m+1) S_y}, \quad (5)$$

где $\Gamma(m+1); \Gamma(x); \Gamma(x+m+1)$ - значения Γ -функций; S_y - скорость движения рабочей поверхности инструмента в материале заготовки в направлении подачи. n_3 - количество зерен в единице объема рабочего слоя инструмента, H_u - величина слоя рабочей поверхности круга по глубине, в пределах которой подсчитывается число абразивных зерен n_3 , c_b , m - коэффициенты формы зерна, V_k - окружная скорость круга. x - показатель степени.

Вероятность $P_N(\overline{M})$ того, что площадка, образовавшаяся на некотором уровне за время $\Delta\tau$, не будет срезана за время τ' , можно вычислить:

$$P_N(\overline{M}) = \exp[-a(\tau')] = \exp[-a(t) - a(\tau)]. \quad (6)$$

Выполнив аналогичные преобразования и обозначив через:

$$\Theta = \frac{xk_c c_b \Gamma(m+1) \Gamma(x) n_3 V_k S_y^{x+m+1}}{H_u^x (x+m+1) \Gamma(x+m+1) S_y}, \quad \text{получим уравнение для расчета показателя } a(\tau').$$

После подстановки (5) и (7) в выражения для расчета соответствующих вероятностей имеем:

$$P(\overline{M}) = \exp[-Q \tau^{x+m+1}], \quad (8)$$

$$P_N(\overline{M}) = \exp[-\Theta(t^{x+m+1} - \tau^{x+m+1})]. \quad (9)$$

Подставив (8), (9) в (3) получим:

$$\Delta N(\tau') = \frac{V_k n_3 (S_y \tau)^x}{H_u^x} \Delta\tau \exp[-\Theta \tau^{x+m+1}] \exp[-\Theta(t^{x+m+1} - \tau^{x+m+1})]. \quad (10)$$

$$\text{Обозначим: } \frac{V_k n_3 S_y^x}{H_u^x} = G, x+m+1 = K.$$

Тогда уравнение (10) с учетом обозначений, приведенных выше, запишется:

$$\Delta N(\tau') = G \tau^x \Delta\tau e^{-\Theta \tau^K} = G \tau^x \Delta\tau e^{-\Theta t^K}. \quad (11)$$

После подстановки (11) в (1) зависимость для расчета приращения электрохимического съема металла с учетом обновления поверхности за счет абразивного воздействия запишется:

$$\Delta Q_{\text{ЭХ}} = S_n \Delta t c e^{-\alpha(t-\tau)} G \tau^x \Delta\tau e^{-\Theta t^K} \quad (12)$$

где c - мгновенная линейная скорость анодного растворения; α - степень пассивации поверхности.

Обозначим $S_n \Delta t c G = L$, тогда после интегрирования по τ выражения (12) получим уравнение, описывающее электрохимический съем металла с учетом обновления поверхности за счет абразивного воздействия

$$Q_{\text{ЭХ}} = L \int_0^t \tau^x e^{\alpha\tau - \alpha t - \Theta t^K} d\tau. \quad (13)$$

Дальнейшее интегрирование возможно только при известных значениях показателей x и K .

При $x = 1.5, K = 3$ выражение (13) примет вид:

$$Q_{\text{ЭХ}} = L \int_0^t \tau^{1.5} e^{\alpha\tau - \alpha t - \Theta t^3} dt. \quad (14)$$

Уравнение (14) позволяет рассчитывать электрохимический съем материала с учетом обновления поверхности заготовки за счет абразивного воздействия в любой точке зоны контакта детали с кругом и проследить закономерности срезания площадок единичными абразивными зёрнами. Полученная зависимость может быть включена в общую оптимизационную модель [1,2] процесса комбинированного шлифования для расчета высокопроизводительных циклов управления операциями при обработке деталей на станках с ЧПУ.

Список литературы: 1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1979. – 232 с. 2. Братан С.М. Повышение эффективности анодно-механической обработки прецизионных деталей приборов на основе автоматического оптимального съема припуска: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук – Севастополь, 1990. – 22 с.

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА В МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ

Клягин Г.С., Зубенко Ю.Д. (ДонГТУ, Донецк, Украина)

Исследуется производственная система в макроэкономической среде национальной экономики без учета экономического роста.

А. МЕСТО ПРОИЗВОДСТВА В МАКРОЭКОНОМИКЕ

(а1) Макроэкономика – это отрасль экономической науки, изучающая поведение экономики как единого целого с точки зрения обеспечения условий устойчивого экономического роста, полной занятости ресурсов и минимизации уровня инфляции. Основные субъекты рыночной экономики (производители и потребители) рассматриваются как один совокупный производитель, выпускающий национальный продукт, и один совокупный потребитель, предъявляющий спрос на этот продукт. В числе основных проблем макроэкономики изучает: определение объема и структуры национального дохода; выявление факторов, регулирующих занятость в масштабах национальной экономики; анализ природы инфляции; рассмотрение причин циклических колебаний и конъюнктурных изменений в экономике; теоретическое обоснование целей, содержания и форм осуществления макроэкономической политики государства.

(а2) В основу макроэкономического анализа заложена простейшая модель круговых потоков, которая в своей элементарной форме включает в себя только две категории экономических агентов – домашние хозяйства и фирмы, связанные через рынок ресурсов и рынок продуктов (рис.1). Домашние хозяйства используют доходы, которые они получают от продаж своих ресурсов – труда, капитала и земли, для покупки товаров и услуг от фирм; фирмы используют деньги, которые они получают от продажи товаров и услуг, для покупки ресурсов у домашних хозяйств. Потоки «доходы-расходы» и «ресурсы-продукция» осуществляются одновременно в противоположных направлениях и бесконечно повторяются. В закрытой устойчивой экономике сумма продаж фирм равна сумме доходов домашних хозяйств и наоборот. На краткосрочном периоде экономика отклоняется от

равновесного состояния и возникают циклические колебания уровней занятости, производства и инфляции, такие же отклонения возможны и на долгосрочном периоде, поэтому организуется управление этими циклическими колебаниями. Управление экономическим циклом в целях обеспечения полной занятости ресурсов и неинфляционного экономического роста осуществляется с помощью инструментов макроэкономической политики: бюджетно-налоговой (или фискальной, осуществляемой правительством) и кредитно-денежной (или монетарной, осуществляемой центральным банком).

(а3) Государственное регулирование экономикой добавляет в модель кругооборота (на рис.1) дополнительные потоки: сбережений, налоговых платежей, инвестиций, государственных займов, субсидий, государственных расходов, трансфертов, денежных эмиссий и др. Наличие этих потоков усложняет как оценку, так и сохранение состояния устойчивого равновесия экономического цикла, для отображения которого макроэкономика

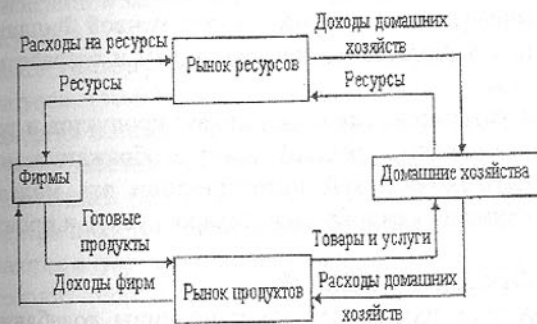


Рис. 1. Модель круговых потоков.

использует агрегированные показатели (валовой национальный продукт, средний уровень цен, рыночную ставку процента, уровень инфляции, занятости, безработицы и др.), а также основные макроэкономические показатели (темпы роста реального ВВП, темпы инфляции и уровень безработицы).

Считается, что устойчивое равновесие экономического цикла может быть достигнуто стабилизацией совокупного спроса. Эта задача считается основной у различных направлений макроэкономической теории (кейнсианского, монетаристского, некейнсианского, неоклассического).

(а4) Причинами цикличности в экономике могут быть: периодическое истощение автономных инвестиций; ослабление эффекта мультипликации; колебания объемов денежной массы; обновление «основных капитальных благ» и др.

В макроэкономике отсутствует интегральная теория экономического цикла и экономисты различных направлений концентрируют свое внимание на различных причинах цикличности. Модель AD-AS (совокупных спроса и предложения) является базовой для изучения колебаний объема

выпуска и уровня цен в экономике в целом, причин и последствий их изменений. Модель «Кейнсианский крест» показывает, как устанавливается равновесный объем производства при данном уровне планируемых инвестиций, государственных расходов и налоговых отчислений. Модели спроса и предложения денег позволяют анализировать инфляционные процессы, циклические колебания, механизм достижения равновесия в экономике, согласованности работы товарного и денежного рынков и др. Важное место в экономических циклах занимает банковская система со своей кредитно-денежной политикой. Модель IS-LM (инвестиции – сбережения, предпочтение ликвидности – деньги) – это модель товарно-денежного равновесия, позволяющая выявить экономические факторы, определяющие функцию совокупного спроса. Известны модели совокупного предложения в краткосрочном периоде, модификация которой в форме кривой Филлипса позволяют устанавливать зависимость между инфляцией и безработицей. Известны и другие модели.

Общее экономическое равновесие (на всех рынках: продуктов и услуг, факторов производства, денежных средств) может отображаться моделью Л.Вальраса. В микроэкономической интерпретации эта модель уравнивает спрос и предложение по каждому виду товаров, услуг и производственных ресурсов.

В. ТЕОРИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ

(в1) Теория экономических циклов исследует причины колебаний экономической активности во времени. Направленность и степень изменения совокупности показателей, характеризующих равновесное развитие экономики, образуют экономическую конъюнктуру. Среди экономистов, исследующих конъюнктурную динамику, есть те, кто не признает существование периодически повторяющихся циклов, и те, кто считает экономические циклы детерминированными. Первые считают, что всякое отклонение есть следствие случайных воздействий на экономическую систему, вторые считают цикл первоосновой реального мира. Марксистская экономическая наука выделяет четыре фазы в экономических циклах: I – фаза кризиса (перепроизводство товаров, сокращение кредита, повышение ссудного процента, понижение прибылей и падение производства, рост банковских задолженностей, банковские крахи, банкротства предприятий); II – фаза депрессии (производство на низком уровне, товарные избытки рассасываются, торговля идет вяло, норма процента минимальна); III – фаза оживления (приспособившиеся предприятия увеличивают выпуск товаров, растет новое промышленное строительство, повышаются прибыли, ссудный процент и заработная плата); IV – фаза подъема (рост превосходит высшую докризисную точку, производство продолжает увеличиваться, растет занятость, товарный спрос, цены, норма процента). Аналогичные 4

фазы в цикле выделяет и Национальное бюро экономических исследований США.

Экономическая конъюнктура может отражаться статистическими показателями, которые делятся на 3 типа: опережающие (изменение в запасах, в денежной массе и др.), запаздывающие (численность безработных, удельные расходы на зарплату и др.), совпадающие (ВНП, уровень инфляции, промышленная продукция и др.).

(в2) В настоящее время экономическая теория не способна дать точные прогнозы экономической конъюнктуры, но определяет общую тенденцию. Для этой цели используются различные известные типы цикличности (более 1380 типов): циклы Китчина (длительностью 2-4 года по отношению к запасам, ВНП, инфляции, занятости, товарному производству); Жуглара (7-12, инвестиции, ВНП, инфляция, занятость); Кузнеца (16-25, доход, иммиграция, жилищное строительство, совокупный спрос); Кондратьева (40-60, технический прогресс, реструктуризация); Форрестера (энергия и материалы); Тоффлера (1000-2000, развитие цивилизаций) и др.

(в3) Известны три подхода к объяснению экономической цикличности: экзогенный (внешние причины), эндогенный (внутренние причины), эклектический (внешние и внутренние причины). Некоторые подходы развиваются в форме различных теорий: теорий внешних факторов, монетарной теории, теории перенакопления, теории недопотребления, марксистской теории, неоклассического подхода, некейнсианского подхода, психологической теории и др.

С. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ЦИКЛИЧНОСТИ В ЭКОНОМИКЕ

(с1) Общая теория циклов гласит, что два взаимодействующих объекта с противодействующими силами (действия и противодействия) могут взаимодействовать циклически (действие увеличивается – противодействие уменьшается, затем наоборот). В управлении и в технике действие этого закона известно как проявление положительных и отрицательных обратных связей и колебательных процессов.

Таким образом, для установления закономерностей в экономических циклах необходимо выделить в экономике пары взаимодействующих объектов и указать в них характерные силы действия и противодействия.

(с2) Системный анализ дает нам следующую микроэкономическую модель фирмы (рис. 2).

Агрегирование микроэкономических моделей фирмы (рис. 2) позволяет перейти к макроэкономической модели экономики в составе модели круговых потоков (рис.1) с добавлением к ней финансовой системы и предположением, что государство воздействует на экономику только экономическими методами, т.е. с помощью бюджетно-налоговой политики в рамках финансовой системы (рис.3). При этом материально-вещественные

и стоимостные отношения в экономике взаимно отображаются с финансовой системой.



Рис.2. Системная модель фирмы.

Анализируя микроэкономическую и макроэкономическую модели экономики, видим, что в пределах одной фирмы нет четко выделенных пар объектов, объединенных прямыми и обратными связями с силами действия и противодействия. Соответственно, и их агрегированная модель не имеет таких условий, т.е. простое множество фирм в макроэкономике не может привести к экономическим циклам.

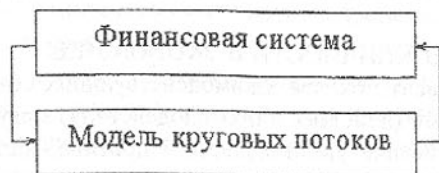


Рис.3. Макроэкономическая модель экономики.

В модели круговых потоков любая пара объектов связана между собой прямыми и обратными связями (непосредственно или опосредовано) с факторами действия и противодействия (выявлением и анализом этих факторов занимается теория экономических циклов). Включение финансовой системы в макроэкономическую модель вводит дополнительные круговые потоки между парами объектов. Другими словами, макроэкономика — это многоконтурная система, у которой циклические (колебательные) процессы могут наблюдаться в отдельных, в нескольких или во всех контурах, в зависимости от параметров этих контуров. Возникает вопрос: какими параметрами описать макроэкономическую систему как колебательную?

Д. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ КОЛЕБАНИЙ В МАКРОЭКОНОМИКЕ

(d1) В макроэкономике основные потоки и запасы носят характер

материи, энергии и информации. Поскольку в науке известны средства взаимного преобразования материи, энергии и информации, то мы далее будем рассматривать только энергию (Е), считая, что ее экономика потребляет, отдает, преобразует и накапливает.

Пусть фирма располагает средствами производства R, запасами С и финансами L. Преобразуемая фирмой энергия Е (материя, информация) в R расходуется, в С накапливается, а в I преобразуется в другую форму через оценку стоимости. На краткосрочном периоде поступающая на фирму энергия (сырье, комплектующие и т.п.) может быть отображена какой-то функцией от времени Е(т). Эта функция периодическая, ограничена и на протяжении одного периода Т своего изменения имеет конечное число максимумов, минимумов и разрывов, т.е. подчиняется условиям Дирихле. Из спектрального анализа известно, что всякая периодическая функция, удовлетворяющая условиям Дирихле, может быть представлена суммой простых гармонических процессов (рядом Фурье) в следующем виде:

$$E(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n\omega_0 t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t, \quad (1)$$

где $\omega_0 = 2\pi/T$ (круговая частота), n — целые числа, а коэффициенты a_n , b_n и a_0 определяются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} a_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} E(t) \cos n\omega_0 t dt, \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} E(t) \sin n\omega_0 t dt, \\ a_0 &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} E(t) dt \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

Таким образом, процесс производства на фирме может быть сведен к множеству процессов прохождения гармонических колебаний энергии типа $a_n \cos n\omega_0 t$ через производство (R), запасы (C) и финансы (L) фирмы.

(d2) Проведем аналогию между производственной системой фирмы и линейными радиотехническими цепями, для которых известны теория и математические методы расчета гармонических колебаний. Будем считать, что производство (R) соответствует активному сопротивлению, запасы (C) соответствуют емкости, финансы (L) соответствуют индуктивности, а перерабатываемая энергия (Е) соответствует току. Процесс производства соответствует реализации активной электрической энергии по производству благ. Финансы соответствуют реактивной магнитной энергии, которая не-

посредственно работу производить не может. Денежный капитал также непосредственно блага не производит.

Для того, чтобы охарактеризовать производственную систему как радиотехническую цепь, рассмотрим ее собственные и вынужденные колебания.

Собственными колебаниями являются движения, совершаемые колебательной системой, которая после кратковременного внешнего возмущения представлена самой себе. Для производственной системы таким внешним возмущением может быть разовая подготовка партии сырья. Собственная частота в колебательном контуре определяется по формуле:

$$\omega^2 = 1/(LC) \dots (3)$$

Вынужденные колебания производственной системы $S(x)$ осуществляются под воздействием постоянной, с заданной периодичностью, поставки сырья в форме $E(t)$. Поскольку $E(t)$ разлагается в ряд Фурье, то вынужденные колебания можно рассчитать для каждой из гармоник из (1). Тогда решение общего уравнения вынужденных колебаний

$$S(x) = E(t) \dots (4)$$

где x – параметры системы,

является суммой общего решения однородного уравнения

$$S(x) = 0 \dots (5)$$

которое определяет свободные колебания системы, и любого частного решения (4), например, для какой-то гармоники $a_n \cos \omega_n t$ (т.е. при внешних возмущениях на собственные колебания системы накладываются вынужденные колебания).

(d3) Отдельная фирма не имеет замкнутого контура (обратной связи) по L , эта связь опосредована через рынок и финансовую систему. Кроме того, фирма управляется собственной системой управления. Поэтому экономический кризис в отдельной фирме невозможен. Маловероятен также кризис в национальной экономике, централизованно управляемой государством. Предпринимательская среда, как объединение фирм, плюс национальная финансовая система и минус централизованное государственное управление располагают всеми необходимыми условиями для возникновения колебательных процессов.

Производственные мощности национальной экономики можем рассматривать как сумму мощностей фирм, запасы – как сумму запасов, финансы – как сумму финансов:

$$\Sigma R, \Sigma C, \Sigma L \dots (6)$$

Национальная экономика характеризуется собственными колебаниями. Ее вынужденные колебания могут инициироваться источниками сырья и международными поставками, международной финансовой системой и другими факторами.

Мировая экономика может быть представлена как многоконтурная колебательная система с самыми разнообразными внутренними связями: относительно автономные экономические системы (некоторые замкнутые национальные экономики, развитые транснациональные корпорации), связанные контуры (например, взаимозависимых экономик России и Белоруссии, США и Канады) и др.

Список литературы: 1. Курс экономической теории. Общие основы экономической теории, микроэкономика, макроэкономика, переходная экономика/Учебное пособие. Ред.- проф. А.В.Сидорович – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, Изд. «ДИС», 1997 – 736с. 2. Соколов Ю.Н. Общая теория цикла и ее эвристические возможности/Материалы III международной конференции «Циклы природы и общества» – Ставрополь: Ставропольский ун-т, 1995 – с. 5-67. 3. Зубенко Ю.Д., Носач А.К. Менеджмент на базе системного анализа/ Учебное пособие. Ред. – проф. Шарапов А.Д. – Донецк: ДонГТУ, 1998 – 415с. 4. Куракин Л.А., Несведов В.И. Радиотехника. Учебное пособие/ МИРЭА – М., 1988 – 112с. 4. Колебания. Р.Е.Бишоп. Перевод с англ. – Изд. Наука, М., 1968 – 161с. 5. Магнус К. Колебания: Введение в исследования колебательных систем. Пер.с нем. – М.: Мир – 1982 – 304с. 6. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1965 – 559с. 7. Курс электротехники и радиотехники./А.П.Молчанов, П.Н.Занадворов. – М: Наука, 1976 – 479с.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ

Клягин Г.С., Зубенко Ю.Д. (ДонГТУ, Донецк, Украина)

Production scheme is considered. The task is set to determine production scheme by means of economic theory, system analysis and to compare two obtained definitions.

А. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ учитывает следующее.

(a1) Предметом исследования экономической теории являются экономические отношения в обществе. Экономика рассматривается как особая сфера жизнедеятельности людей, направленная на удовлетворение материальных и духовных потребностей. Эта деятельность выражается в форме соединения производительных сил и трудовых ресурсов для производства товаров и услуг. Экономические отношения организуются в форме

экономических систем. Экономическая система есть совокупность взаимосвязанных и определенным путем упорядоченных элементов экономики. Экономические системы классифицируются по трем видам критериев: структурообразующие; социально-экономические; объемные и динамические. По социально-экономическим критериям выделяется: натуральное хозяйство, рыночная экономика, плановая и командная экономика. Одной из экономических систем является производственная система.

(а2) Экономическая теория использует для изучения своего предмета различные общие и локальные методы. Общие методы: позитивистский подход, структуралистский подход, диалектический подход, синтетические подходы. Локальные методы: анализа и синтеза, индукции и дедукции, абстракции, допущения и обобщения. Один из методов - моделирование предмета исследований (текстовое, графическое, математическое и компьютерное).

(а3) Производство-это процесс изготовления материальных благ. В производстве продукта человек воздействует на объекты природы, придает им форму, пригодную для удовлетворения материальных потребностей. Производство характеризуется наборами факторов. Такими факторами могут быть: личный фактор и вещественный фактор или рабочая сила и средства производства. Возможен другой набор факторов: земля, труд, капитал, предпринимательская деятельность. К перечисленным можно добавить информационный и экологический факторы. Факторы обладают свойством взаимозаменяемости.

(а4) Зависимость между производимым продуктом (Q) и факторами (A) может быть отображена производственной функцией (F):

$$Q=F(A) \dots (1).$$

Если в числе факторов учитываются: труд (L), капитал (K), и земля (N), то функцию можно записать как

$$Q=F(L,K,N) \dots (2).$$

Производственные функции различны для различных видов производств.

(а5) Категории товарного производства и рыночного хозяйства характеризуют один из типов экономических систем, к которому относится производственная система. Производство направлено, прежде всего, на удовлетворение различных потребностей людей и его продукты определяются вещественными характеристиками и потребительной ценностью. Это свойство характерно для всех типов производства: натурального хозяйства, товарного (рыночного) хозяйства и сознательно регулируемого хозяйства. Поскольку производимые продукты различаются потребительной ценностью, постольку производящий их труд различается конкретным набором операций (конкретный труд). Конкретный труд представляет собой расхо-

дование рабочей силы в физиологическом смысле. Кроме того, в результате специализации и общественного разделения труда, продукты производства характеризуются стоимостью. Стоимость характеризует затраты труда и выступает мерой абстрактного труда. Экономический учет и приравнивание физиологических затрат труда характеризуют абстрактный труд. Использование категории стоимости лежит в основе (товарного) рыночного хозяйства и в меньшей мере используется в натуральном и сознательно регулируемом хозяйствах.

В. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

(b1) Системный анализ будем понимать как науку о системах, охватывающую: традиционный системный анализ (как средство решения комплексных проблем); методологию системного подхода, общую теорию систем, а также средства исследования систем частных научных теорий (экономики, биологии, механики и т.д.), междисциплинарных теорий (линейных динамических систем, устойчивости и др.) и др.

(b2) Система (S) понимается как совокупность свойств (s_i) реального объекта (R), реализующих единую функцию (F). R обладает многими свойствами (s_R), часть из которых, или системообразующие свойства (s_i), образует систему, а другая часть (s_B) образует так называемую базу (B) системы. Все, за исключением R, образует внешнюю среду (V) системы.

(b3) Для идентификации производственной системы в системном анализе необходимо, исходя из определения, указать R, s_i и F.

(1) При производстве потребительной стоимости, реальный объект – это производственный персонал (R1) и средства производства (R2), организованные в технологическую систему (TC) с функцией F1 по преобразованию исходного сырья (X1) в продукт (Y1):

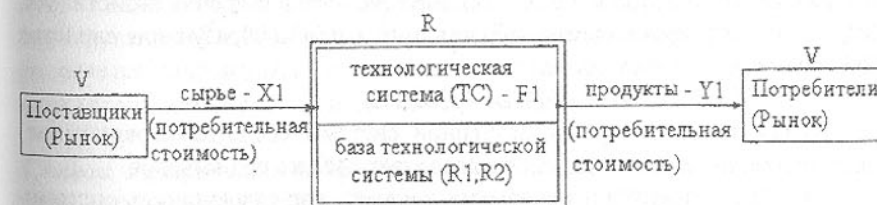


Рис.1

(2) При производстве стоимости, реальный объект – это R1,R2,TC, к которым добавляется экономический персонал (R3), средства оценки стоимости (R4). R1,R2,TC,R3,R4 организуются в экономическую систему (ЭС) с функцией F2 по преобразованию дохода X2 в расход (Y2):

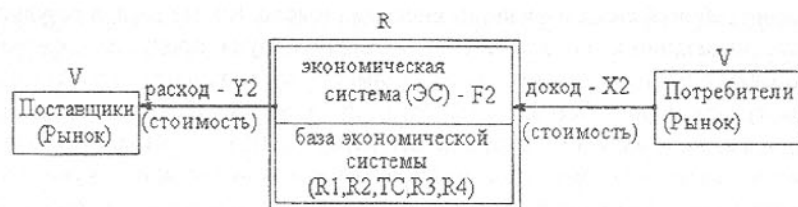


Рис.2

Таким образом, функция производственной системы или производственная функция (F) – это совокупность двух функций: F1 – по преобразованию потребительной стоимости и F2 – по преобразованию стоимости, т.е.

$$F = \langle F1, F2 \rangle, Y1 = F1(X1), Y2 = F2(X2) \dots \quad (3)$$

Внешняя среда у любой системы бесконечна. Практически она ограничивается наиболее существенными для данной системы частями. Для производственной системы внешней средой, в первом приближении, можно ограничить потребителей и поставщиками или рынком.

Системообразующие свойства ТС – это множество технологических операций, выполняемых R1 и R2. База ТС – это все прочие свойства R1 и R2, кроме системообразующих. Например, для R1 s_1 – это профессиональная деятельность персонала, а s_B – это физиологические, социальные свойства персонала, для R2 s_1 – это технологические свойства средств производства по преобразованию сырья в продукт, а s_B – это, например, энергопотребление, условия внешней среды, строительные конструкции и т.п.

Системообразующие свойства ЭС – это множество операций бухгалтерского, статистического и оперативно-технического учета, выполняемых R3 и R4 по отношению к R1, R2, ТС. База ЭС – это все прочие свойства R1, R2, ТС, R3, R4, кроме системообразующих. Системообразующие свойства ЭС – это свойства иметь стоимость.

С. СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Представление производственной системы средствами экономической теории и системного анализа позволяет сделать ряд выводов.

(с1) Системный анализ изучает системы, как совокупность системообразующих свойств. Экономическая теория изучает экономические свойства. Поэтому, когда системообразующие свойства – экономические, то такая экономическая система, например, производственная система, является одновременно предметом исследования и экономической теории и системного анализа. Следовательно, характеристики производственных систем и их отношения должны одновременно удовлетворять требованиям как системного анализа, так и экономической теории.

(с2) Системный анализ и экономическая теория располагают средствами и методами исследования, которые являются частично – общими, частично – специфическими. Следовательно, при исследовании производственных систем могут использоваться методы и средства как системного анализа, так и экономической теории.

(с3) Факторы производства определяются характеристиками базы и внешней среды производственной системы. Например, земля, труд, капитал и предпринимательская деятельность могут объединяться технологической системой и образовывать ее базу. Если к технологическим факторам добавить экономические факторы, то они могут быть объединены экономической системой и образовывать ее базу. Появление информационных факторов, как относительно самостоятельных, свидетельствует о внутреннем изменении базы как технологической, так и экономической систем. Усиление экологических факторов свидетельствует об усилении значимости отдельных характеристик природных ресурсов, как базы технологической или экономической систем. Но экологический фактор может воздействовать на производственную систему и из внешней среды.

(с4) Производственная функция и функция производственной системы – это одно и то же, но требуется уточнить формулы (1), (2), (3). В формуле $Y1 = F1(X1)$ сырье (X1) выделено из производственных факторов как аргумент функции F1, а структура F1 определяется базой ТС (R1, R2). Аналогично в формуле $Y2 = F2(X2)$ доход (X2) и расход (Y2) выделены из производственных факторов, а функциональная зависимость между ними (F2) определяется базой ЭС (R1, R2, ТС, R3, R4).

(с5) Естественно также выделение в ПС двух систем: технологической и экономической, – определяемых наличием у сырья и продуктов двух типов свойств: потребительной стоимости и стоимости, – и, соответственно двух функций (F1, F2). Общая функция (F) производственной системы определяется отношениями технологических (вещественных) и экономических (стоимостных) свойств, то есть $F = \langle F1, F2 \rangle$.

Список литературы: 1. Мостовая Е.Б. Основы экономической теории: Курс лекций. – М.: ИНФРА; Новосибирск: Изд-во НГАЭиУ, 1997. – 496с. 2. Курс экономической теории. Под ред. Чепурина М.Н., Киселевой Е.А., МГИМО МИД РФ. – Киров: Изд-во «АСА», 1995. – 624с. 3. Курс экономической теории. Общие основы экономической теории, микроэкономика, макроэкономика, переходная экономика: Учебное пособие/Руководитель авторского коллектива и научный редактор профессор А.В.Сидорович. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, Издательство «Дис», 1997. – 736с. 4. Зубенко Ю.Д., Носач А.К. Менеджмент: на базе системного анализа/Учебное пособие под ред. проф. А.Д.Шарапова – Донецк: ДонГТУ, 1998. – 410с.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ КАРАМЕЛЬНОЙ МАССЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОНДИТЕРСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Кузнецова О.Н., Зори А.А. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The mathematical model of spatial distribution of a non-stationary temperature field of caramel of weight for definition middlevolume of temperature of candy is developed during its cooling. The dependence between middlevolume in temperature of caramel of weight and indications of the gauge of temperature in the chosen point of measurement is established. The automatically information-measuring system and hardware for definition of temperature of caramel of weight is developed during its cooling.

Качество карамели существенно зависит от температурного режима ее обработки. В кондитерской промышленности среднееобъемная температура массы регулируется путем изменения ее толщины на охлаждающем столе длиной 1200мм. Температура стола с помощью холодильной установки поддерживается в пределах 5-7°C. Температура карамельной массы периодически измеряется обычным термометром путем отбора проб. Такая процедура измерения температуры не позволяет контролировать ее в реальном масштабе времени технологического процесса. Следовательно, автоматизация процесса измерения температуры карамельной массы является важным вопросом, требующим решения.

Определение среднееобъемной температуры массы путем измерения профиля температуры по вертикальному сечению, перпендикулярному длине охлаждающего стола, и дальнейшее его осреднение представляет собой в производстве сложную техническую задачу. Предложен способ измерения температуры карамельной массы в доступной для контактного метода точке (сверху или снизу слоя карамели) с пересчетом ее в среднееобъемную в соответствии с найденным между ними соотношением. Для удобства расположения первичного измерительного преобразователя температуры следует отдать предпочтение измерениям на нижней границе карамельной массы при расположении первичного измерительного преобразователя (ПИП) температуры "заподлицо" с охлаждающим столом в его конце, где заканчиваются переходные процессы охлаждения карамельной массы.

Для расчета модели распределения температуры карамельной массы по пространственной координате использовано основное уравнение теплопроводности [1]:

$$\left[\omega_x \frac{\partial t}{\partial x} + \omega_y \frac{\partial t}{\partial y} + \omega_z \frac{\partial t}{\partial z} + \frac{\partial t}{\partial \tau} \right] = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (1)$$

где $\omega_x \frac{\partial t}{\partial x}, \omega_y \frac{\partial t}{\partial y}, \omega_z \frac{\partial t}{\partial z}$ — скорости внутреннего тепловыделения по пространственным координатам;

$\frac{\partial t}{\partial \tau}$ — скорость изменения внутренней энергии материала на единицу объема соответственно;

$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}$ — результирующие скорости переноса тепла в контрольный объем вследствие теплопроводности (на единицу объема);
 a — коэффициент температуропроводности, зависящий от теплофизических свойств материала.

Определение распределения температуры в твердом теле путем решения общего уравнения теплопроводности требует большого количества вычислительных расчетов и на практике не часто применяется, так как для этого необходимо найти решение дифференциального уравнения в частных производных. В большинстве практических задач можно сделать упрощающие предположения, исключаящие тот или другой член из уравнения теплопроводности, что дает возможность упростить задачу и отыскать решения. Данная задача, относится к задачам нестационарной теплопроводности при отсутствии внутреннего тепловыделения. Задачу можно свести к двумерной, т.к. температура зависит только от координат X и Z (распределение по длине и толщине карамельной массы). После введения упрощений уравнение теплопроводности примет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right). \quad (2)$$

От распределения температуры по пространственной координате X перейдем к более удобному для решения задачи распределению температуры по времени, считая, что карамельная масса не движется, а каждый ее участок охлаждается некоторое время. С учетом выше сказанного уравнение распределения нестационарного температурного поля примет вид:

$$\left[\frac{\partial t}{\partial \tau} \right] = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] \quad \begin{matrix} 0 \leq z \leq b \\ \tau > 0 \end{matrix} \quad (3)$$

Задача решается при граничных условиях третьего рода (условия равенства потоков), представленных в виде:

$$\begin{aligned}
 z=0: & \quad -\lambda \frac{\partial t}{\partial z} = \lambda_{cm}(t_{z0} - t_{cm}) \\
 z=b: & \quad -\lambda \frac{\partial t}{\partial z} = \alpha_s(t_{zb} - t_{s03}) \\
 \tau=0 & \quad t_k = t_n(0) = 120^\circ\text{C},
 \end{aligned} \quad (4)$$

где t_{z0}, t_{zb} — температура массы на границе со столом и воздухом;
 t_{cm}, t_{s03} — температура стола и воздуха;
 λ, λ_{cm} — коэффициенты теплопроводности карамели, стола;
 α_{s03} — коэффициент теплоотдачи воздуха.

Разработана математическая модель распределения поля температур карамельной массы для определения среднеобъемной температуры карамели в процессе ее охлаждения. Выполнено моделирование распределения температуры по толщине карамельной массы и длине охлаждающего стола. Моделирование выполнялось на ЭВМ на основе упрощенного уравнения теплопроводности (3) с граничными условиями третьего рода (4) методом "прогонки" [2]. Расчеты для определения среднеобъемной температуры проводились по сечению, перпендикулярному длине охлаждающего стола, в его конце. При моделировании варьировали температурой карамельной массы на выходе вакуум-аппарата в ее технологических пределах 100-120°C, толщиной карамели от 3 до 7мм, температурой воздуха в цехе (свободная конвекция) 17-30°C (зимние и летние условия), температурой охлаждающего стола 5-7°C.

В результате моделирования установлено:

1) при неизменной средней толщине карамельной массы равной 5мм среднеобъемная температура T_{cp} и температура нижнего слоя T , измеряемая датчиком, связаны между собой зависимостью:

$$T_{cp} = k \cdot T, \quad (5)$$

где $k = 1.55 \pm 0.01$ — с учетом наихудшего случая влияния внешних дестабилизирующих факторов. При этом дополнительная средняя квадратическая погрешность измерения температуры, обусловленная изменением коэффициента k , оказывается равной 0.15°C.

2) с изменением толщины карамельной массы происходит изменение коэффициента k по экспоненциальному закону. При изменении толщины карамельной массы в соответствии с технологическими требованиями от 3 до 7мм коэффициент изменяется в пределах 1.39-1.58. Приняв гипотезу о линейной зависимости коэффициента k от толщины карамельной массы $h(m)$ в рабочем диапазоне изменения толщины массы получаем значение коэффициента k в виде:

$$k = 1.25 + 49 \cdot h. \quad (6)$$

Дополнительная средняя квадратическая погрешность измерения температуры, обусловленная линейной аппроксимацией изменения коэффициента k от толщины, не превышает 0.45°C. При этом среднеобъемная температура определяется выражением:

$$T_{cp} = [1.25 + 49 \cdot h] T. \quad (7)$$

На основании установленной зависимости между среднеобъемной температурой карамельной массы и показаниями датчика температуры в выбранной точке измерения предложена линейная коррекция коэффициента k в зависимости от толщины карамельной массы, в соответствии с выражением (7), которая может быть реализована аналоговым или цифровым методом. При аналоговом методе дополнительная погрешность измерения температуры массы не превышает 0.5°C. Используя цифровой метод коррекции на базе МП систем или ПЭВМ, можно принять гипотезу об экспоненциальной зависимости коэффициента k от толщины и уменьшить дополнительную погрешность измерений температуры в 2 раза. В результате предложенного способа среднеобъемная температура определяется по показаниям измерителя на нижней границе карамельной массы с коррекцией показаний по толщине массы аппаратным путем.

Для технологического процесса производства карамели на основе разработанного метода определения среднеобъемной температуры и коррекции измерений создана автоматизированная информационно-измерительная система. Ее основу составляет канал измерения температуры, выполненный по схеме термометра сопротивления. В качестве чувствительного элемента использован датчик температуры типа ТСМ, работающий в диапазоне до +180°C. Чувствительный элемент включен в одно из плеч резистивного моста, собранного на высокостабильных резисторах.

Сигнал разбаланса моста, обусловленный изменением температуры измеряемой карамельной массы, усиливается усилителем постоянного тока (УПТ). Для снижения дрейфа нуля и уменьшения аддитивной составляющей погрешности канала в измерительном усилителе применена структура УПТ с преобразованием (модулятор-демодулятор). С целью повышения стабильности коэффициента усиления УПТ и уменьшения мультипликативной погрешности измерения температуры последний охвачен глубокой отрицательной обратной связью по напряжению. Инструментальная погрешность измерения температуры, вносимая каналом, не превышает 0.5 °C.

Коррекция коэффициента k в зависимости от толщины карамельной массы аналоговым методом реализована на ОУПТ, в цепь отрицательной обратной связи которого включены прецизионные резисторы и потенциометрический датчик положения, определяющий расстояние между валками, задающими толщину массы. При этом его коэффициент передачи в за-

висимости от толщины карамельной массы изменяется в соответствии с выражением (6).

Выходной сигнал измерительного канала после усилительного и корректирующего ОУПТ, сформированный в соответствии с выражением (7), поступает на АЦП для преобразования его в цифровой код, ввода в ПЭВМ и параллельно — на трехразрядный цифровой вольтметр для визуальной индикации температуры. Суммарная средняя квадратическая погрешность измерения среднеобъемной температуры карамельной массы системой не превышает 0.7°C , что удовлетворяет требованиям кондитерского производства. Рабочие диапазоны измерений величин и суммарные погрешности измерения, обеспечиваемые системой, по среднеобъемной температуре карамельной массы — $85\ldots 90^{\circ}\text{C}$ и $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, что соответствует требованиям технологического процесса карамельного производства.

Среднеобъемная температура карамельной массы на стадии ее охлаждения для достижения необходимой по технологии регулируется вручную оператором с помощью валков путем изменения толщины слоя карамельной массы, движущейся вдоль охлаждающего стола. Для регулирования среднеобъемной температуры массы в процессе производства карамели на основе разработанного метода предложено использовать информационно-измерительную систему контроля с элементами регулирования.

Поскольку валки регулирующего органа расположены на одном конце охлаждающего стола, а измеритель температуры массы — на противоположном, то сигналы, поступающие с датчика положения и датчика температуры от одного и того же сечения карамельной массы сдвинуты между собой на время его перемещения по охлаждающему столу $\tau = \ell/V$, где ℓ — рабочая длина охлаждающего стола, V — скорость перемещения массы вдоль поверхности стола, то в системе следует учесть время транспортного запаздывания. Учет этого времени осуществляется с помощью звена транспортного запаздывания.

Предложенная информационно-измерительная система с автоматическим регулированием расстояния между валками позволяет автоматизировать процесс контроля среднеобъемной температуры карамельной массы, устанавливать с помощью датчика положения необходимое по технологии расстояние между валками с учетом транспортного запаздывания, что делает возможным автоматическое поддержание среднеобъемной температуры на выходе охлаждающего стола в технологических пределах.

ВЫВОДЫ

На основе разработанных математических моделей и с учетом корректирующего коэффициента разработана система контроля среднеобъемной температуры карамельной массы. Использование предложенного спо-

соба определения среднеобъемной температуры, математической модели распределения поля температур карамельной массы и коррекции коэффициента k позволило по измерениям температуры в выбранной точке в реальном времени определять среднеобъемную температуру и повысить качество технологического процесса кондитерского производства.

На основе разработанного устройства осуществлена автоматизация механического оборудования технологических процессов производства карамели, предложенная информационно-измерительная система с автоматическим регулированием расстояния между валками дает возможность автоматического поддержания среднеобъемной температуры на выходе охлаждающего стола в технологических пределах.

Список литературы: 1. Ф. Крейт, У. Блэк. Основы теплопередачи. / Пер. с англ. Под ред. Н.А.Анфимова. — М.: Мир, 1983. — 512с. 2. Волков Е.А. Численные методы. — М.: Наука, 1982. — 256с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕПЛОВЗОВ

Куликов Ю.А., Лахно В.А., Котнов А.С., Быкадоров В.В.,
Красношлык Ф.В. (ВУГУ, г. Луганск, Украина)

Проектирование теплоэнергетических установок (ТЭУ) тепловозов, оснащенных системами аккумулирования теплоты (САТ), включает выбор рациональных параметров и характеристик схем компоновок, конструкций, материалов и др. Здесь следует подчеркнуть, что все параметры ТЭУ с САТ взаимосвязаны и лишь совместный выбор их оптимальных значений, соответствующих минимуму расчетных затрат по установке в целом при учете полной совокупности технических и экономических ограничений, отвечает объективно полному и правильному решению задачи определения оптимальных параметров конструкции и режимов эксплуатации ТЭУ. Такое решение задачи должно базироваться на результатах комплексного термодинамического, технического и экономического расчета многоузловой ТЭУ с САТ.

Проведенный предварительный технико-экономический анализ различных вариантов утилизационных устройств, которые могут быть применены в ТЭУ тепловозов, позволил синтезировать структурные схемы систем аккумулирования и рационального использования теплоты, отводимой от системы электродинамического торможения и выхлопных газов ДВС (рис.1-2).

висимости от толщины карамельной массы изменяется в соответствии с выражением (6).

Выходной сигнал измерительного канала после усилительного и корректирующего ОУПТ, сформированный в соответствии с выражением (7), поступает на АЦП для преобразования его в цифровой код, ввода в ПЭВМ и параллельно — на трехразрядный цифровой вольтметр для визуальной индикации температуры. Суммарная средняя квадратическая погрешность измерения среднеобъемной температуры карамельной массы системой не превышает 0.7°C , что удовлетворяет требованиям кондитерского производства. Рабочие диапазоны измерений величин и суммарные погрешности измерения, обеспечиваемые системой, по среднеобъемной температуре карамельной массы — $85\ldots 90^{\circ}\text{C}$ и $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, что соответствует требованиям технологического процесса карамельного производства.

Среднеобъемная температура карамельной массы на стадии ее охлаждения для достижения необходимой по технологии регулируется вручную оператором с помощью валков путем изменения толщины слоя карамельной массы, движущейся вдоль охлаждающего стола. Для регулирования среднеобъемной температуры массы в процессе производства карамели на основе разработанного метода предложено использовать информационно-измерительную систему контроля с элементами регулирования.

Поскольку валки регулирующего органа расположены на одном конце охлаждающего стола, а измеритель температуры массы — на противоположном, то сигналы, поступающие с датчика положения и датчика температуры от одного и того же сечения карамельной массы сдвинуты между собой на время его перемещения по охлаждающему столу $\tau = \ell/V$, где ℓ — рабочая длина охлаждающего стола, V — скорость перемещения массы вдоль поверхности стола, то в системе следует учесть время транспортного запаздывания. Учет этого времени осуществляется с помощью звена транспортного запаздывания.

Предложенная информационно-измерительная система с автоматическим регулированием расстояния между валками позволяет автоматизировать процесс контроля среднеобъемной температуры карамельной массы, устанавливать с помощью датчика положения необходимое по технологии расстояние между валками с учетом транспортного запаздывания, что делает возможным автоматическое поддержание среднеобъемной температуры на выходе охлаждающего стола в технологических пределах.

ВЫВОДЫ

На основе разработанных математических моделей и с учетом корректирующего коэффициента разработана система контроля среднеобъемной температуры карамельной массы. Использование предложенного спо-

соба определения среднеобъемной температуры, математической модели распределения поля температур карамельной массы и коррекции коэффициента k позволило по измерениям температуры в выбранной точке в реальном времени определять среднеобъемную температуру и повысить качество технологического процесса кондитерского производства.

На основе разработанного устройства осуществлена автоматизация механического оборудования технологических процессов производства карамели, предложенная информационно-измерительная система с автоматическим регулированием расстояния между валками дает возможность автоматического поддержания среднеобъемной температуры на выходе охлаждающего стола в технологических пределах.

Список литературы: 1. Ф. Крейт, У. Блэк. Основы теплопередачи. / Пер. с англ. Под ред. Н.А.Анфимова. — М.: Мир, 1983. — 512с. 2. Волков Е.А. Численные методы. — М.: Наука, 1982. — 256с.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕПЛОВЗОВ

Куликов Ю.А., Лахно В.А., Котнов А.С., Быкадоров В.В.,
Красношлык Ф.В. (ВУГУ, г. Луганск, Украина)

Проектирование теплоэнергетических установок (ТЭУ) тепловозов, оснащенных системами аккумулирования теплоты (САТ), включает выбор рациональных параметров и характеристик схем компоновок, конструкций, материалов и др. Здесь следует подчеркнуть, что все параметры ТЭУ с САТ взаимосвязаны и лишь совместный выбор их оптимальных значений, соответствующих минимуму расчетных затрат по установке в целом при учете полной совокупности технических и экономических ограничений, отвечает объективно полному и правильному решению задачи определения оптимальных параметров конструкции и режимов эксплуатации ТЭУ. Такое решение задачи должно базироваться на результатах комплексного термодинамического, технического и экономического расчета многоузловой ТЭУ с САТ.

Проведенный предварительный технико-экономический анализ различных вариантов утилизационных устройств, которые могут быть применены в ТЭУ тепловозов, позволил синтезировать структурные схемы систем аккумулирования и рационального использования теплоты, отводимой от системы электродинамического торможения и выхлопных газов ДВС (рис.1-2).

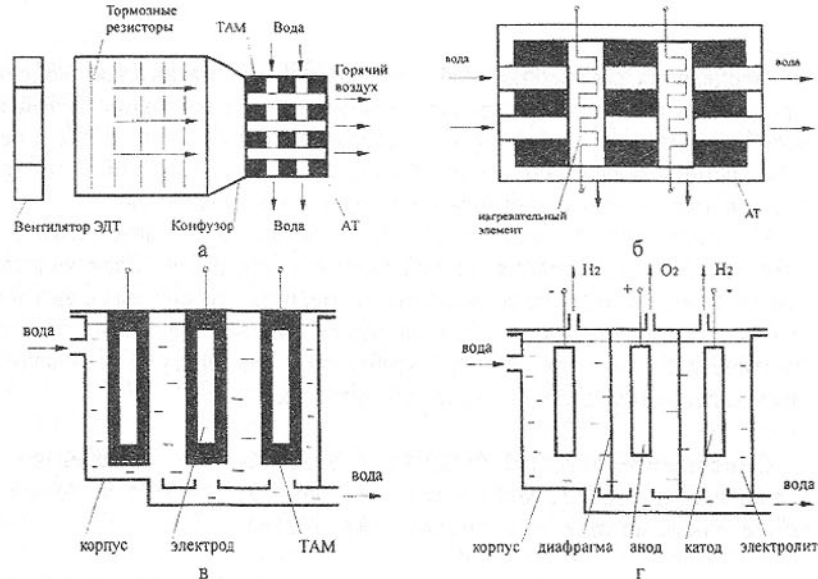


Рис. 1. Схемы систем аккумулирования тепловой энергии, выделяемой при реостатном торможении: а,б,в- использование высокотемпературных ТАМ; г- использование воды

Следует отметить, что существующие системы отвода теплоты в тормозные резисторы ЭДТ, размещенные в специальном отсеке, занимающем большое пространство, с их последующим воздушным охлаждением недостаточно эффективны, при этом теряется огромное количество тепловой энергии. Энергия, выделяемая при реостатном торможении тепловоза, может быть отведена в аккумулятор теплоты, выполненный в виде теплообменника с применением высокотемпературных теплоаккумулирующих материалов (см.рис.1,а,б,в) либо в водный электродный нагреватель (ВЭН) (рис.1 г), а затем использована для нужд тепловоза.

Тепловая энергия выхлопных газов (ВГ) в САТ не может быть использована полностью. За теоретический предел охлаждения ВГ после дизеля при наличии САТ принята температура воды, выходящая из ТУ ($T_1 = 368 \text{ K}$).

Однако охлаждение ВГ до указанной температуры не представляется возможным, так как при значительном охлаждении газов уменьшается температурный напор, что, в свою очередь, требует значительного развития поверхности нагрева ТУ, а, следовательно, и увеличения аэродинамического сопротивления выпускного тракта дизеля. В результате анализа различных компоновочных решений по размещению ТУ наиболее предпочтительной признана схема, при которой теплообменник включен в параллельный поток с глушителем и имеет возможность отключаться на летний период.

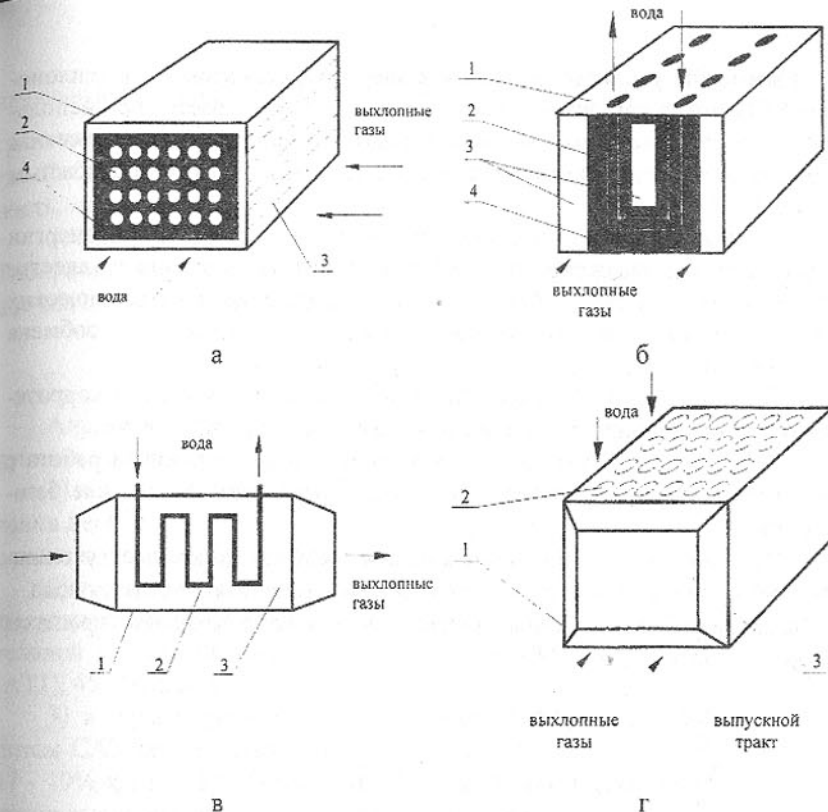


Рис. 2. Схемы систем аккумулирования тепловой энергии выхлопных газов дизеля: а, б - использование высокотемпературных ТАМ; в, г - использование воды

1-корпус; 2- трубки для циркуляции воды; 3-трубки (полости) для циркуляции выхлопных газов; 4- ТАМ

В результате анализа [1] установлено, что хотя варианты систем аккумулирования бросовой тепловой энергии с применением высокотемпературных теплоаккумулирующих материалов и позволяют создать достаточно компактные АТ, но при этом возникает проблема их компоновки на тепловозе (см. рис. 2, а, б, в), а, кроме того, стоимость подобных АТ на сегодняшний день высока.

При использовании в САТ ТЭУ тепловозов высокотемпературных теплоаккумулирующих материалов (ТАМ) возникают следующие проблемы:

1) остается нерешенной задача осушения секций водовоздушного радиатора системы охлаждения (СО) в холодное время года, а, следовательно, существует угроза их размораживания и разрушения тонкостенных трубок;

2) возможна утилизация тепловой энергии в основном ВГ и теплоносителей СО, тогда как огромное количество теплоты теряется при использовании реостатного торможения в тормозных резисторах, а разместить АТ рядом с существующим блоком ЭДГ не представляется возможным (см. рис. 1, а,б,в);

3) сложно конструктивно обеспечить отвод электрической энергии при реостатном торможении от ТЭД в АТ при использовании в качестве ТАМ соединений легких металлов и кристаллогидридов неорганических солей и, кроме того, необходимо иметь развитую поверхность теплообмена для охлаждения таких ТАМ;

4) большинство ТАМ в расплавленном состоянии являются коррозионно активными веществами, изменяют свой объем при плавлении;

5) большинство ТАМ являются токсичными веществами, и работа с ними требует соблюдения дополнительных требований по технике безопасности.

В [1,2] показано, что лучшим жидким ТАМ как по комплексу теплофизических свойств, так и по экономическим показателям, является вода.

Была разработана математическая модель, описывающая процессы переноса теплоты в ОУ с САТ:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_{1oy}}{d\tau} &= G_1 \cdot C_1 (T_1^H - T_1^K) \\ \frac{dQ_{2BG}}{d\tau} &= G_{2BG} \cdot C_{2BG} (T_{2BG}^H - T_{2BG}^K) \\ \frac{dQ_{2ЭДГ}}{d\tau} &= G_{2ЭДГ} \cdot C_{2ЭДГ} (T_{2ЭДГ}^H - T_{2ЭДГ}^K) \\ \frac{dQ_{ТАМi}^K}{d\tau} &= C_{ТАМi} \cdot \rho_{ТАМi} \cdot (T_{ТАМi}^K - T_{ТАМi}^H) \\ \frac{dQ_{АТi}}{d\tau} &= K_{АТi} \cdot F_{АТi} \cdot \Delta T_{АТi} \\ \frac{dQ_{ТАМi}}{d\tau} &= K_{ТАМi} \cdot F_{ТАМi} \cdot \Delta T_{ТАМi} \\ \frac{dQ_{2i}}{d\tau} &= (T_1^H - T_1^K + T_{2i}^K - T_{2i}^H) \cdot K_{АТi} \cdot F_{АТi} \\ \frac{dQ_{1oy}}{d\tau} &= (T_1^H - T_1^K + T_{2i}^K - T_{НВ}) \cdot K_1 \cdot F_2 \\ \frac{dM_{ТАМi}}{d\tau_i} &= (G_{2i} \cdot C_{2i} \cdot (T_{2i}^H - T_{ТАМi}^{\phi n}) \cdot \varepsilon) \cdot Q_{ТАМi}^{\phi n} \\ \frac{dl_{ТАМi}}{d\tau_{\phi ni}} &= w_{\phi ni} = G_{2i} \cdot C_{2i} \cdot (T_{2i}^H - T_{ТАМi}^{\phi n}) / (F_{ТАМi} \cdot \rho_{ТАМi} \cdot Q_{ТАМi}^{\phi n}) \\ \frac{dQ_{ТАМi}^K}{d\tau_i} &= (\lambda_{ТАМ} \cdot (T_{2i}^H - T_{ТАМi}^{\phi n}) \cdot F_{ТАМi}) / L_{ТАМi} \end{aligned}$$

начальные условия: $T_1|_{\tau=0} = T_1^H; T_{2i}|_{\tau=0} = T_{2i}^H; T_{ТАМ}|_{\tau=0} = T_{ТАМ}^H$

граничные условия: $\tau = \tau_k; T_{НВ} = \text{const}; l_{ТАМ}^H = 0; l_{ТАМi}^K = L$,

где $T, C, \rho, M, w, \tau, L$ - соответственно температура, теплоемкость, плотность, масса, скорость, время, длина;

«сат», «ат», «там», «1», «2», «фп», «н», «к», «i» - индексы САТ, АТ, ТАМ, воды, горячего теплоносителя, фазовый переход, начальное и конечное значения, номер контура;

$$\varepsilon = \frac{T_{2i}^K - T_{2i}^H}{T_{ТАМi}^{\phi n} - T_{2i}^H}$$

Анализ результатов моделирования ОУ с САТ позволяет сделать следующие выводы:

1) при использовании в САТ высокотемпературных ТАМ для обеспечения необходимой тепловой мощности, равной $Q_{сат}=150$ кВт, достаточно одного контура САТ - ЭДГ или ВГ;

2) при использовании в качестве ТАМ в САТ воды количество теплоты, утилизированное в каждом из рассматриваемых контуров предпочтительной схемы (см. рис. 1), составляет соответственно 90 кВт для ВЭН (АТ1), 45 кВт для АТ2, 15 кВт для ТУ;

3) в случае применения высокотемпературных ТАМ по массе и габаритам САТ превосходит параметры баков-АТ с водой соответственно на 17 - 19% и 12 - 15%. Однако при косвенном аккумулировании (использовании высокотемпературных ТАМ) повышение мощности САТ увеличивает градиент температур в ТАМ, что приводит либо к увеличению поверхности теплообмена, а следовательно, и массы ОУ с САТ, либо к неполному использованию тепловой энергии;

4) в САТ с высокотемпературными ТАМ возможна утилизация тепловой энергии, в основном, выхлопных газов и теплоносителей ОУ, поскольку разместить АТ рядом с существующим блоком ЭДГ не представляется возможным, в то же время, большое количество теплоты теряется при реостатном торможении в резисторах ЭДГ;

5) приведенные затраты на ОУ с САТ с применением высокотемпературных ТАМ в 2,5 - 3 раза выше затрат в случае использования в качестве ТАМ воды.

6) В результате анализа возможных конструктивных решений по аккумулированию тепловой энергии от различных источников на тепловозе выбрана схема ОУ с САТ ТЭУ, позволяющая утилизировать и рационально использовать бросовую тепловую энергию выхлопных газов, охлаждающей воды дизеля, тепловой энергии, выделяемой при реостатном торможении. Предпочтительный вариант схемы ТЭУ с САТ представлен на рис. 3.

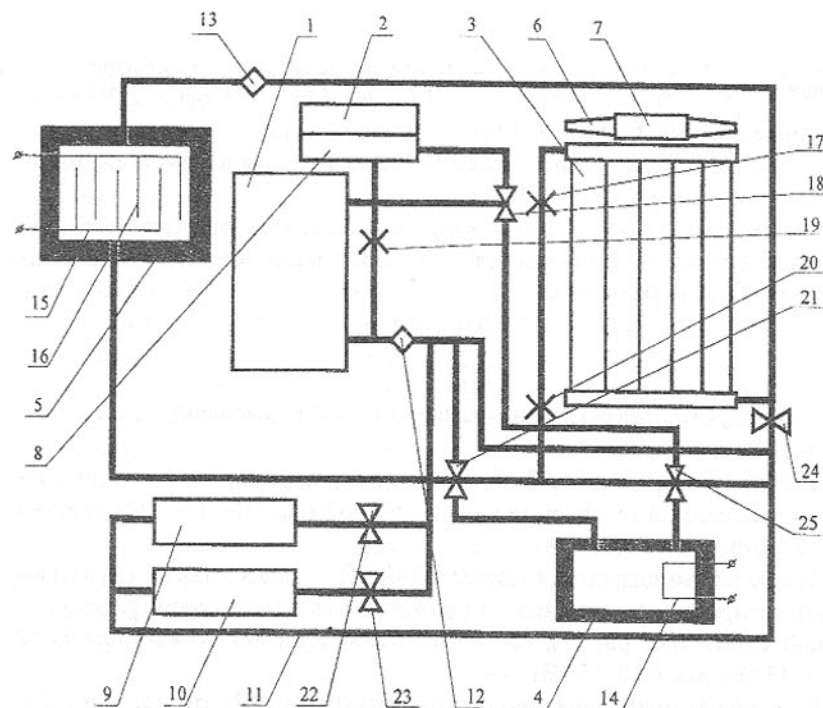


Рис. 3. Предпочтительная схема ТЭУ тепловоза с САТ: 1 - ДВС; 2 - глушитель; 3 - секции радиатора СО; 4 - бак-аккумулятор теплоты; 5 - водный электродный нагреватель; 6 - вентилятор СО; 7 - привод вентилятора СО; 8 - теплообменник-утилизатор выхлопных газов; 9 - топливоподогреватель; 10 - водомасляный теплообменник; 11 - трубопроводы; 12, 13 - насосы; 14 - ТЭН; 15 - катод; 16 - анод; 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 - клапан

Следует отметить, что рассматриваемая схема ТЭУ с САТ является принципиальной. Например, если на тепловозе отсутствует ЭДТ, то предложенная схема существенно упрощается.

Рост общественного материального производства постоянно увеличивает потребность в цветных металлах, запасы которых ограничены. Современные теплообменники систем охлаждения теплоэнергетических установок, являющихся основными источниками механической и электрической энергии, в частности, радиаторы охлаждающих устройств крупных транспортных средств (тепловозов, большегрузных автомобилей и др.) выполняются, в основном, из высокотеплопроводных дефицитных и дорогостоящих цветных металлов.

В последние годы ведутся разработки по использованию в ОУ теплообменных аппаратов (ТА) нового поколения на основе роторных пле-

ночно-воздушных теплообменников и компактных теплообменников с вращающимися поверхностями. Однако, на данном этапе разработок они не в полной мере удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к ОУ.

Указанные обстоятельства обуславливают необходимость разработки новых охлаждающих устройств, лишенных указанных недостатков и позволяющих лучше реализовать температурный напор между теплоносителями и, вследствие этого, выполненными более компактными, экономичными и без использования остродефицитных материалов.

Одним из вариантов теплообменника, который может быть использован для ОУ транспортных средств, является регенеративный. Важным достоинством такой конструкции является обеспечение непосредственного контактирования охлаждаемой и охлаждающей сред с теплообменными поверхностями насадки, которые при определенной частоте вращения позволяют более полно, в сравнении с рекуперативными теплообменниками, реализовать имеющийся температурный напор между теплоносителями. Наличие в регенеративном теплообменнике вращающейся насадки ставит вопрос о предотвращении уноса горячего теплоносителя в дисперсно-жидком и парообразном состоянии с границы раздела разнотемпературных теплоносителей. Данная проблема решается сочетанием различных способов, основными из которых являются: механический (уплотняющие устройства различных типов) и физико-химический (использование присадок, снижающих испарение и фрикционный унос жидкого теплоносителя).

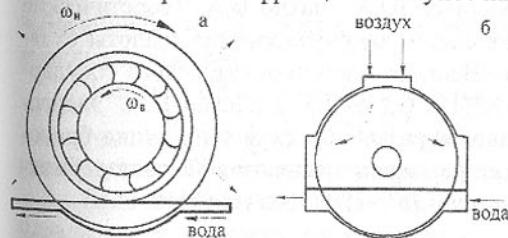


Рис.4. Схемы теплообменников: а- теплообменник 1; б- теплообменник 2.

плоских дисков, жестко установленных на горизонтальном валу и разделенных уплотнительными пластинами с сальниковыми набивками (Рис.4б).

Схемы компоновок теплообменных аппаратов в систем ОУ тепловоза приведены на Рис.5. Работа теплообменных аппаратов двух контуров охлаждения может осуществляться как с единым (Рис.5б), так и раздельным приводом насадок (Рис.5а). Наиболее приемлемым является вариант с

Анализ результатов математического моделирования параметров РТ позволил разработать два конструктивных решения ТА: теплообменник 1 с насадкой из плоских колец, имеющей периферийный привод и центрально расположенным вентилятором (Рис.4а); теплообменник 2 с насадкой в виде

единым приводом насадок, обеспечивающий минимизацию габаритов и веса ОУ тепловоза.

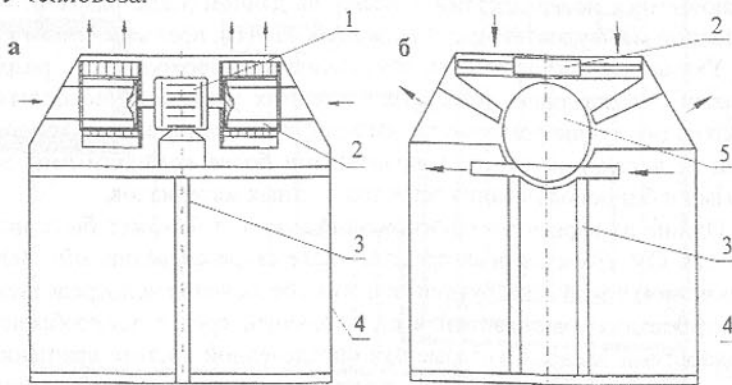


Рис. 5. Схемы компоновок охлаждающих устройств тепловозов
а - с теплообменником 1; б - с теплообменником 2;
1 - электродвигатель; 2 - вентилятор; 3 - стойка; 4 - кузов; 5 - насадка.

В работе освещены основные этапы развития систем теплоэнергетических установок тепловозов. Сформулированы актуальные задачи исследований на ближайшую перспективу.

Список литературы: 1. Куликов Ю.А., Лахно В.А. Теоретические основы расчета и проектирования систем аккумулирования теплоты охлаждающих устройств тепловозов //Вестник Восточноукраинского государственного университета. -1999.-N2(18) С.119-125. 2. Лахно В.А. Энерго-экономический анализ эффективности различных схем утилизации бросовой тепловой энергии для силовых установок тепловозов //Вісник державного університету "Львівська політехніка". -1999.-N2(16) С.115-117.

СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЕЙ ШЛИФОВАНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Новоселов Ю.К., Братан С.М., Крылов И.В.
(СЕВгту, г. Севастополь, Украина)

The strategy of control the equipment on operation of grinding in conditions of automated production is considered

Повышение эффективности операции шлифования возможно за счет

оптимального управления процессом обработки на автоматическом оборудовании. Методика построения оптимального управления требует наличия математической модели, которая позволяла бы с достаточной точностью описывать поведение технологической системы в реальном масштабе времени.

На процесс шлифования оказывает влияние большое количество изменяющихся входных, управляющих и возмущающих воздействий. Поэтому для построения математической модели необходимо провести оценку технологического процесса как системы.

Операция шлифования, являясь частью технологического процесса, включает совокупность элементарных целенаправленных действий, связанных между собой структурно.

Она может быть разбита по функциональным признакам на подсистемы. Одна из возможных схем операции как динамической системы рассматривается на рис.1. Каждая из подсистем имеет свой набор свойств, параметров состояния, историю развития, вектор входных и выходных переменных, их поведение может быть представлено в виде функционала, характеризующего состояние технологической системы:

$$Z(\tau) = F[Z(\tau - \Delta\tau), X^n(\tau)] = F[Z(\tau - \Delta\tau), x^n(\tau), w^n(\tau), u^n(\tau)], \quad (1)$$

где $X^n(\tau)$ - вектор входных сигналов системы; $Z(\tau)$ - вектор параметров состояния системы; F - закон отображения; $w^n(\tau)$ - вектор возмущающих воздействий; $u^n(\tau)$ - вектор управляющих воздействий; $x^n(\tau)$ - вектор входных параметров.

Запишем наблюдаемые параметры в виде преобразования:

$$Y(\tau) = \Phi[Z(\tau), X^n(\tau)] = \Phi[Z(\tau), x^n(\tau), w^n(\tau), u^n(\tau)], \quad (2)$$

где Y - вектор выходных параметров системы; Φ - закон отображения.

Большая часть исследований, выполненных в области шлифования, укладывается в рамки рассмотренных операторов преобразования. Все микропроцессы протекающие в технологической системе происходят одновременно, между ними существует ряд связей.

Вышеуказанные преобразования определены для непрерывной системы. В случае шлифования на проход все параметры системы, кроме $w(\tau)$, изменяются периодически от прохода к проходу для показателей состояния детали. При рассмотрении параметров абразивного круга можно учитывать изменения от оборота к обороту. Это позволяет представить зависимости (1, 2) в дискретной форме:

$$Z_{i(j)} = F[Z_{i-1(j-1)}, x^n_{i(j)}, w^n(\tau), u^n_{i(j)}], \quad (3)$$

$$Y_{i(j)} = \Phi[Z_{i(j)}, x^n_{i(j)}, w^n(\tau), u^n_{i(j)}], \quad (4)$$

Критическое значение вектора $Z_{kpi(j)}$ на любом обороте (проходе) определяют ограничения, которые состоят из технических требований к детали и инструменту, условиями протекания обработки и допустимыми режимами работы оборудования.

$$Z_{kpi(j)} = F[S_{i(j)}, Z_{don}, u_{don}^n] \quad (8)$$

Для характеристики критического значения вектора $Z_{kpi(j)}$ при круглом наружном шлифовании могут быть использованы например следующие ограничения:

$$\begin{aligned} h_{di} &\leq h_{d, don} + \Pi_i; \\ Ra_i &\leq Ra_{don} + \Pi_i; \\ R_{MAXi} &\leq R_{MAXdon} + \Pi_i; \\ 0 &\leq u^n \leq u_{don}^n \end{aligned} \quad (9)$$

где t_{fi} - фактическая глубина резания на проходе; u_{don}^n - максимально допустимые значения управляющих воздействий, генерируемых оборудованием.

Критерием эффективности при шлифовании абразивными кругами обычно принимают штучное время или приведенные затраты на шлифование изделия [3].

В общем случае, критерий эффективности J может быть выражен в виде функционала [2]:

$$J = f_1^0(y_0, u_1(t)) + f_2^0(y_1, u_2(t)) + \dots + f_n^0(y_{n-1}, u_n(t)) + G_J = \sum_{n=1}^n y_n^0(y_{i-1}, u_i(t)) + G_J, \quad (10)$$

где f_i^0 - функция критерия эффективности на i -ой операции; G_J - постоянные расходы, не зависящие от условий выполнения операции.

В целом задача оптимизации технологического процесса шлифования может быть сформулирована следующим образом: зная начальное Y_0 и конечное Y_n , состояния, выбрать такое допустимое управление U типа (6), которое придает функционалу (10) минимальное значение. Данная задача является задачей теории оптимального управления. Для её решения необходимо определить функционалы (5), (6) и (10) в виде зависимостей от технологических факторов, определяющих процесс формообразования поверхности при шлифовании.

Из известных систем автоматического управления, при обработке изделий на операциях шлифования используются: разомкнутые системы; системы с обратной связью; адаптивные системы. По первой схеме работает 70% оборудования. При этом считается, что в процессе обработки каждой отдельной детали все параметры технологического процесса неизменны и управление осуществляется по жестким циклам (номинальным траекториям в пространстве состояний технологической системы), однако в этом случае не учитывается влияние возмущающих факторов, которые

трансформируют связи между параметрами технологической системы, в результате чего система обрабатывает алгоритм управления с существенными погрешностями.

По второй схеме работают до 28-29% шлифовальных станков, при этом, как правило, контролируется один из параметров технологической системы или одна из выходных переменных. Наиболее часто за такие параметры или переменные принимается размер обрабатываемой поверхности, одна из составляющих сил резания и т.д. При применении таких систем стремятся скомпенсировать влияние возмущающих воздействий, стабилизируя систему относительно номинальной траектории. Однако, существующие системы управления не позволяют проводить обработку изделий по оптимальным траекториям, так как осуществляют формирование управляющего сигнала по неполным данным с шумами измерений. Устранение этого недостатка возможно за счет оптимального оценивания состояния технологической системы, на основе которого может быть сформировано управление. В этом случае, необходимо аналитическое представление функционалов, характеризующих отклонения состояния технологической системы, т.е. сами отклонения должны быть представлены конкретными математическими выражениями.

Таким образом, при изменении вектора параметров состояния технологической системы, могут изменяться численные значения выходных переменных, а в общем случае, может измениться оператор, отражающий закон преобразования параметров объекта. Это означает, что алгоритм изменения управляющих воздействий должен корректироваться для каждого j -го цикла работы системы или должны быть стабилизированы параметры технологической системы и алгоритм управления в наиболее благоприятной области.

Реализация такого управления возможна за счет применения систем с обратной связью, внедрение которых сдерживается отсутствием стратегии оптимального управления операцией, предусматривающей непрерывную оценку состояния системы, с использованием методов теории оценивания и фильтрации при управлении объектами, которые до настоящего времени не применялись в теории шлифования. При этом возможно несколько вариантов: состояние технологической системы известно, изменениями параметров системы можно пренебречь; состояние технологической системы известно, изменениями параметров системы пренебречь нельзя; состояние технологической системы неизвестно, изменениями параметров системы можно пренебречь; состояние технологической системы неизвестно, изменениями параметров системы пренебречь нельзя.

Для рассматриваемых случаев схема оптимального управления (рис.2) включает процедуру оценки состояния технологической системы

(до обработки), оценки состояния технологической системы (в процессе обработки), восстановления состояния технологической системы и этап стабилизации номинального цикла шлифования. Для таких процессов необходимо принимать решения и определять управление в реальном масштабе времени на основе измерений параметров объекта. В этом случае, управление операцией возможно за счет совместного решения задач оптимального оценивания состояния и регулирования, которые включаются в единый процесс.

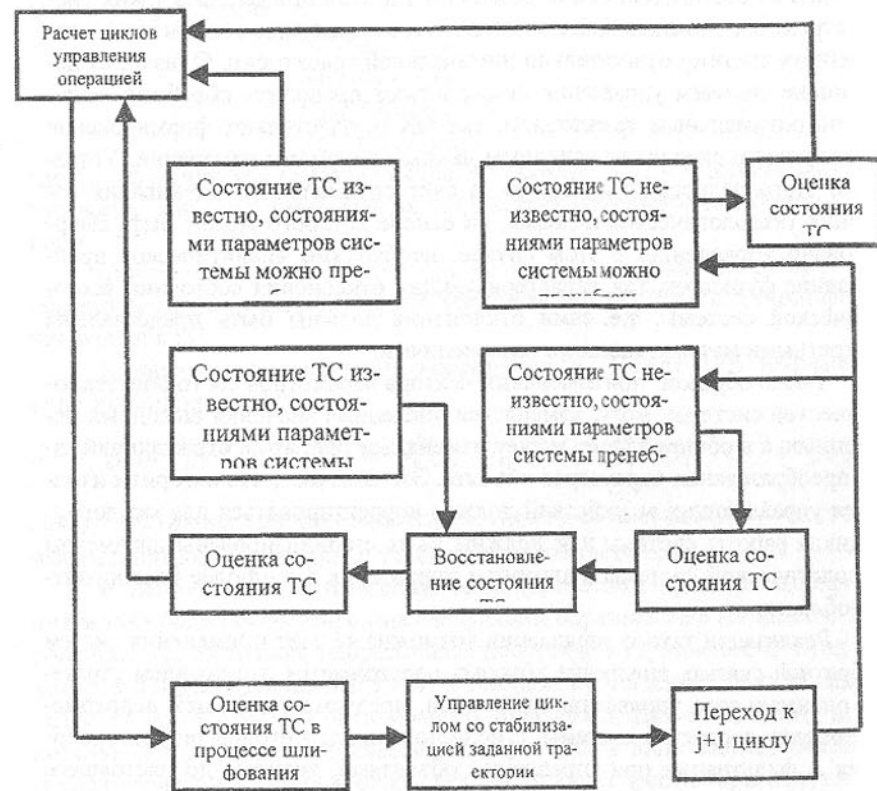


Рис. 2. Концептуальная схема оптимального управления операцией шлифования

При отсутствии вышеуказанных зависимостей в аналитической форме, решение задачи оптимизации технологического процесса возможно путем последовательного пошагового принятия решений по выбору управлений из состава допустимых, итерационным методом, с оценкой качества результата каждого шага (производства каждой отдельной детали) и пошаговым, целенаправленным изменением параметров процесса для получе-

ния деталей с наилучшим качеством.

Такая схема является схемой адаптивного управления, по ней работают только отдельные единицы шлифовальных станков, что связано с применением сложных алгоритмов обработки информации. Такие системы также не позволяют оптимально обрабатывать все изделия вследствие длительности этапа поиска оптимальных решений, процедура которого соизмерима с временем протекания процесса шлифования.

Таким образом, для операции шлифования появляется три задачи управления оборудованием.

1. Известен критерий эффективности и математические зависимости, описывающие поведение процесса. Задача управления сводится к расчету номинальных траекторий, вдоль которых осуществляется движение объекта.

2. Известен критерий эффективности, есть математические зависимости, описывающие номинальные траектории, есть аналитическое представление функционалов, характеризующих отклонение состояний технологической системы, тогда задача управления сводится к стабилизации поведения объекта около номинальной траектории.

3. Известен критерий эффективности, отсутствует математическое описание процесса, задача управления сводится к пошаговому поиску оптимальных решений

Список литературы: 1. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке.- Изд-во Саратов. ун-та, 1979.- 232 с. 2. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления.- М.: Наука, 1969.- 408 с. 3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования.- М.: Машиностроение, 1975.- 175

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ БХП "НОРД-428"

Осокин В.В. (ДонГУЭТ, г. Донецк, Украина),
Жидков В.В. (АО "НОРД", г. Донецк, Украина),
Селезнева Ю.А. (ДонГУЭТ, г. Донецк, Украина)

According to instrumental research data, surrounding air temperature of approximately $+32^{\circ}\text{C}$ is critical while operating a domestic refrigerating device (DRD) "Nord-428": its exceeding entails distinct deterioration of air and heat exchange processes in compressing and condensing section and, consequently,

increase of heat inflows and decrease of heat-and-power performance. Reserve for general improvement of the DRD heat-and-power performance is intensification of its machinery section ventilation.

Теплоэнергетические показатели работы БХП (коэффициент рабочего времени - КРВ, суточное потребление электроэнергии, температура в охлаждаемом объеме и др.) не могут не зависеть от температуры окружающего воздуха и обусловленных ею воздухо- и теплообменных процессов в его компрессорно-конденсаторном отделении. Исследований в этой области недостаточно.

В связи с этим была поставлена цель: установить степень влияния указанных факторов на теплоэнергетические характеристики БХП.

Для исследований был принят БХП "Норд-428", имеющий (наряду с "Норд-156" и "Норд-517") наименьшую высоту (850 мм) среди всех выпускаемых АО "Норд" холодильных приборов. Как известно, с уменьшением высоты БХП и, следовательно, высоты столба нагревающегося в компрессорно-конденсаторном отделении воздуха ухудшаются условия воздухо- и теплообменных процессов возле источников тепловыделения. Следовательно, для проведения исследований был принят БХП, имеющий в связи с небольшой высотой наихудшие условия для возникновения естественной тяги в компрессорно-конденсаторном отделении и его проветривания.

Исследования проводились в климатической камере ЗАО "Донецкий институт холодильной техники". Для измерения температуры на поверхностях источников тепловыделения, ограждающих элементов и в слое теплоизоляции БХП были использованы хромель-копелевые термопары, сигналы от которых поступали на ИВК (измерительно-вычислительный комплекс) для обработки, анализа и получения информации в виде графиков. Термопары размещались по высоте компрессорно-конденсаторного отделения в одной вертикальной плоскости вдоль его оси симметрии на четырех уровнях: на уровнях компрессора, а также нижней, средней и верхней частей конденсатора. На каждом уровне термопары были закреплены на поверхностях источников тепловыделения, задней панели, обратной стороны панели, задней стенки охлаждаемого объема, а также в теплоизоляционном слое пенополиуретана на глубине 0,025 и 0,05 м (на контакте с ограждением охлаждаемого объема).

В термокамере, где был установлен исследуемый БХП, плавно повышали температуру воздуха от 24,7 до 37,7°C. В процессе его работы в этих условиях при среднем положении терморегулятора регистрировали с помощью ИВК температуру в указанных выше характерных точках.

На рисунках 1-4 приведены совмещенные термограммы изменения температуры на поверхностях, соответственно, компрессора, а также ниж-

ней, средней и верхней частей конденсатора, то есть на поверхностях источников тепловыделения (линия 1) и, на соответствующих им уровнях, - задней панели (линия 2), обратной стороны панели (линия 3), в слое теплоизоляции на глубине 0,025 м (линия 4) и 0,05 м (линия 5), на задней стенке охлаждаемого объема (линия 6). По данным этих рисунков, по мере увеличения температуры воздуха в термокамере повышается температура на источниках тепловыделения, а также, за счет процессов конвекции и теплопередачи, на обеих сторонах задней панели и в слое теплоизоляции. Изменение температуры на поверхности задней панели и обратной ее стороны на уровне компрессора происходит практически плавно (линии 2 и 3 на рис.1), а на уровнях нижней, средней и верхней частей конденсатора сопровождается пульсацией (линии 2 и 3 на рис.2-4), обусловленной циклической работой БХП и соответствующими изменениями в компрессорно-конденсаторном отделении температуры и скорости движения воздуха,

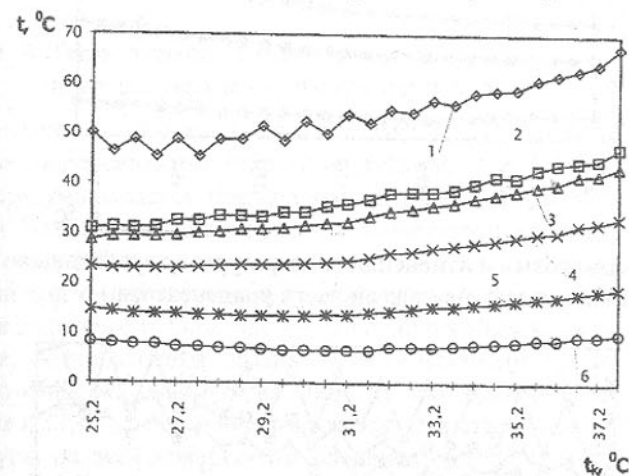


Рис. 1. Термограммы изменения температуры в характерных точках на уровне компрессора

обеспечивающего конвективный теплообмен. Перепады температуры на поверхности компрессора в моменты пуска-остановки его невелики и убывают с повышением температуры воздуха в термокамере. Температура на поверхности компрессора в моменты пуска-остановки его при температуре окружающего воздуха 24,7, 32,0, 37,7°C составляла, соответственно, 45,5...46,6, 51,9...52,7, 67,2...67,6°C. Причем, если в интервале температуры воздуха в термокамере 24,7...32,0°C повышение ее на поверхности компрессора составляло в среднем около 6°C, то в интервале 32,0...37,7°C - в среднем около 15°C. Все это свидетельствует о том, что в БХП "Норд-428" машинное отделение компрессора проветривается очень слабо, особенно

при повышенной температуре окружающего воздуха. Наличие пульсаций температуры на поверхностях всех выделенных нами частей конденсатора и, на их уровнях, - задней панели и обратной ее стороны свидетельствует о том, что здесь протекают более интенсивные воздухо- и теплообменные процессы благодаря притоку наружного воздуха через боковые проемы компрессорно-конденсаторного отделения, минуя машинное отделение.

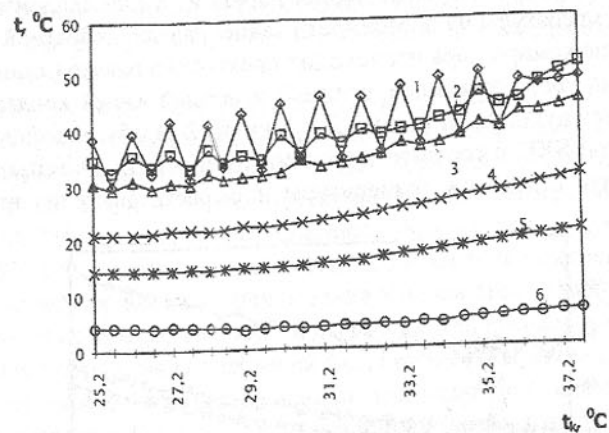


Рис. 2. Термограммы изменения температуры в характерных точках на уровне нижней части конденсатора

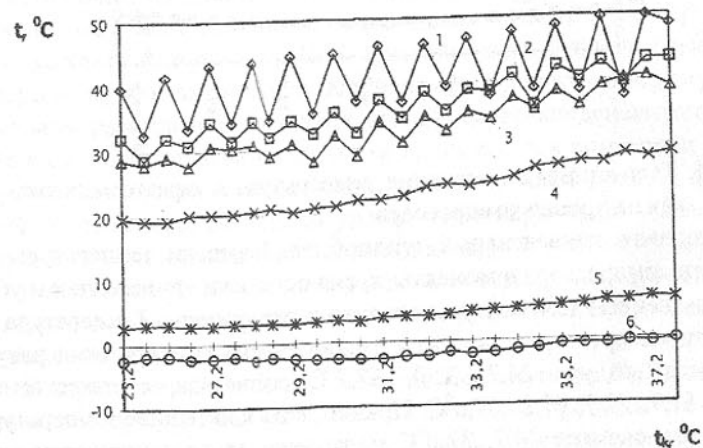


Рис. 3. Термограммы изменения температуры в характерных точках на уровне средней части конденсатора

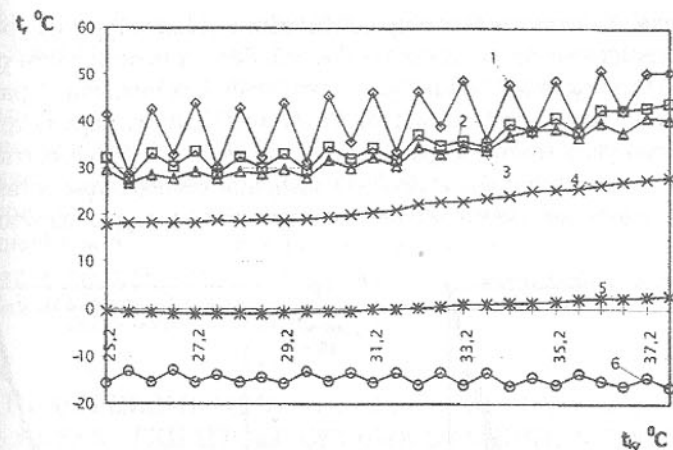


Рис. 4. Термограммы изменения температуры в характерных точках на уровне верхней части конденсатора

Измерения с помощью прибора "АИСТ-ЗП" показали, что в компрессорно-конденсаторном отделении работающего БХП в направлении снизу вверх уменьшается температура воздуха и возрастает скорость его движения. Наиболее выражено это при температуре наружного воздуха до значения около 32°C .

Если при температуре наружного воздуха в пределах $25...32^{\circ}\text{C}$ на поверхности выделенных нами частей конденсатора имеются различия в значениях ее, обусловленные воздухо-теплообменными процессами в компрессорно-конденсаторном отделении, то при температуре его, приближающейся к $37,7^{\circ}\text{C}$, эти различия исчезают. Выравнивание в этих условиях температуры на всей поверхности конденсатора обусловлено снижением эффекта "подсвеживания" нагревающегося в компрессорно-конденсаторном отделении воздуха и в целом - естественной тяги.

По данным исследований (представлены на рис.2), температура на поверхности задней панели (линия 2) на уровне нижней части конденсатора превышает значение ее на нем как источнике тепловыделения (линия 1) в моменты пуска компрессора в течение всего времени проведения исследований в указанном выше температурном интервале. Температура поверхности задней панели на уровне нижней части конденсатора выше значения ее на уровне средней части компрессора (линии 2 на рис.1 и 2). Все это объясняется интенсивным прогреванием этой части задней панели малоподвижным воздухом, нагретым в машинном отделении БХП. Повышение температуры воздуха в термокамере от $24,7$ до $37,7^{\circ}\text{C}$ вызывает также увеличение температуры в охлаждаемом объеме на уровнях ком-

прессора - средней части конденсатора. Изменение температуры на уровне верхней части конденсатора в охлаждаемом объеме - в морозильном отделении имеет пульсирующий характер, подчиняющийся циклической работе компрессора. При этом наибольшие значения температуры зарегистрированы в моменты пуска компрессора в работу, наименьшие - в моменты его остановки, максимальные и минимальные значения температуры остаются неизменными: здесь не сказывается изменение температуры наружного воздуха.

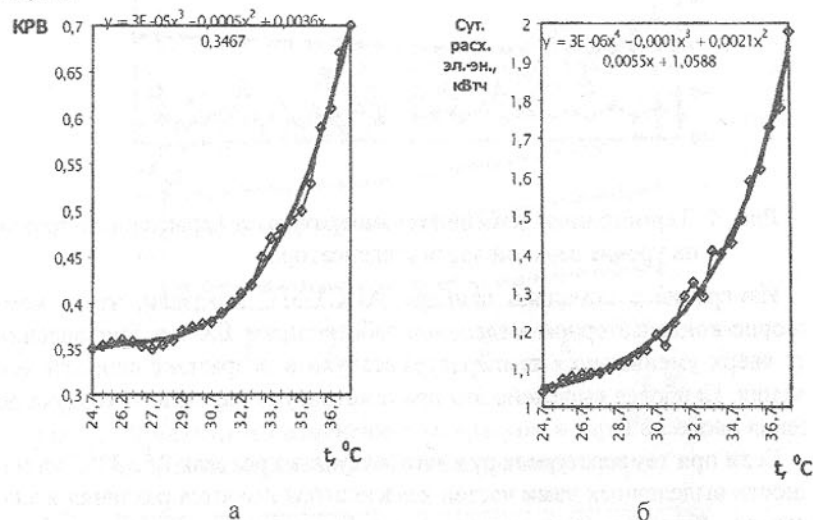


Рис.5. Графики зависимости КРВ (а) и суточного расхода электроэнергии (б) от температуры окружающего воздуха

По данным рисунков 1-4, при температуре окружающего воздуха более 32°C резко возрастают значения температуры на поверхностях источников тепловыделения, в слое теплоизоляции и, на уровне компрессора - средней части конденсатора, - в охлаждаемом объеме.

Увеличение теплопритоков через ограждающие элементы БХП по мере роста температуры воздуха в термокамере вызывает соответствующее изменение его теплоэнергетических характеристик.

Так, при температуре наружного воздуха 24,7, 32,0, 37,7°C, построенные на рисунке 5 а, б графики зависимости КРВ (а) и суточного расхода электроэнергии (б) от температуры окружающего БХП воздуха. Как видно на этом рисунке, при температуре окружающего воздуха более 32°C резко возрастают КРВ и суточное потребление электроэнергии. Это обусловлено ухудшением в этих условиях воздухо- и теплообменных процессов в компрессорно-конденсаторном отделении БХП "Норд-428" и увеличением в связи с этим теплопритоков через его ограждающие элементы.

Как видно, выводы, полученные при анализе рисунков 1-4 и 5 а,б полностью совпадают. Следовательно, температуру окружающего воздуха около +32°C следует считать критической при эксплуатации БХП "Норд-428": превышение ее приводит к резкому ухудшению воздухо- и теплообменных процессов в компрессорно-конденсаторном отделении и, как следствие, - увеличению теплопритоков и снижению качества теплоэнергетических характеристик. Проведенные исследования показали наличие резерва для улучшения вообще теплоэнергетических характеристик этого БХП путем принятия конструктивного решения по интенсификации проветривания его машинного отделения.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Павлыш В.Н., Шамаев В.В., Кулиш Е.В.
(ДонГТУ, Донецк, Украина)

In work the efficiency of application neyronet of technologies in the decision of tasks of the analysis of the videoinformation is shown in the field of mechanical engineering. The questions of development both practical using of hardware and software of support neyronet of technologies are considered

В конце 20-го столетия исследования в области искусственных нейронных сетей (ИНС) из разряда экспериментально-поисковых приобретают фундаментально-прикладной характер. Постоянно возрастают объемы финансирования этих работ в мире [1]. Постоянно возрастает число публикаций по тематике ИНС, широк и их спектр: от монографий и статей, единодушно признанных основополагающими в данной области [2-5], до обзоров, посвященных прикладным вопросам [6]. Среди завоевавших международный авторитет изданий, посвященных тематике искусственных нейронных сетей можно выделить: IEEE Transaction on Neural Networks, Neural Networks, Neural Computing & Applications. В СНГ - журнал "Нейрокомпьютер".

Постоянно пополняется рынок программных продуктов, посвященных созданию и проектированию архитектуры нейронных сетей и реализации нейронных функций. Примерами являются продукты фирмы «Ward Systems Group, Inc.» и компании «НейроПроект».

Однако, наряду с этим, следует отметить тот факт, что реальные результаты практического применения нейросетевых технологий в странах СНГ и на Украине весьма незначительны. Это объясняется тем, что ис-

пользование аппарата искусственных нейронных сетей имеет свои особенности, которые несвойственны традиционным методам; путь от теории нейронных сетей к их практическому использованию требует соответствующей адаптации методологий, отработанных первоначально на модельных задачах; вычислительная техника с традиционной архитектурой не лучшим образом приспособлена для реализации нейросетевых технологий. Проиллюстрировать это можно на примере использования одного из популярных и широко распространенных нейросетевых коммерческих программных продуктов - пакета «BrainMaker» фирмы California Scientific Software. Этот пакет используется, как правило, в качестве инструмента менеджмента. Однако наибольший эффект от применения этого и аналогичных программных продуктов, может быть получен лишь квалифицированным опытным специалистом, знакомым с основными положениями теории нейронных сетей.

Это ограничение выдвигает на первый план, задачу включения в учебные программы подготовки технических специалистов и экономистов элементы теории нейронных сетей.

Современные тенденции развития машиностроения связаны с решением ряда следующих задач:

- компьютерное распознавание и обработка видеоизображений, в частности в процессе сборки узлов и агрегатов на автоматизированных линиях;
- обработка и анализ статических изображений;
- оперативное обнаружение и классификация аварийных (нештатных) ситуаций по акустическим сигналам (звукам);
- решение задач комбинаторной оптимизации и др.

Кратко рассмотрим целесообразность и эффективность применения нейросетевых технологий применительно к указанным задачам.

1. Одной из наиболее сложных задач обработки изображений, представленных последовательностью оцифрованных кадров, является задача выделения и распознавания движущихся объектов в условиях действия различного рода помех и возмущений.

Для решения этой задачи предлагается создание компьютерной системы, осуществляющей выделение изображений движущихся объектов на сложном зашумленном фоне, фильтрацию помех, скоростную фильтрацию, отделение объектов от фона, оценку скорости каждого объекта, идентификацию объекта и его сопровождение.

Система проектируется с применением нейросетевых методов для целей принятия решений и работает с реальными данными промышленных телевизионных систем (25 кадров/с, 320x200 пикселей) с перспективой использования в качестве источника данных цифровых видеокамер высокого

разрешения.

Выделение изображений движущихся объектов на сборочном конвейере в проектируемой системе предлагается осуществлять путем построения и анализа поля скоростей с помощью многослойной локально-связной нейронной сети оригинальной архитектуры. Размерность нейронной сети для изображения 320x200 пикселей составляет несколько миллионов нейронов (приблизительно в 4 раза больше синапсов).

Распознавание выделенных силуэтов и контуров объектов производится на основе самоорганизующейся нейронной сети, предварительно обученной на изображениях объектов рассматриваемых классов (из специализированной БД типовых узлов и агрегатов).

Нейросетевые принципы, заложенные в систему, позволяют проводить ее обучение и переобучение.

2. Не менее сложными являются задачи выделения и распознавания объектов на статическом тоновом изображении. В частности, подобные задачи возникают при автоматической обработке цифровых изображений поверхностей крупногабаритных узлов и деталей. Для их решения проектируется для реализации на ПК автоматизированная подсистема анализа изображений текстуры поверхности, полученных в оптическом и инфракрасном диапазоне. Система в автоматическом режиме обеспечивает выделение на обрабатываемых изображениях объектов заданных классов, включая компьютерное выделение и поиск микродефектов.

3. Использование нейросетевых технологий для анализа акустического излучения демонстрирует система обнаружения и распознавания нештатной или аварийной ситуации по акустическому сигналу. Для выделения сигнала с заданного направления планируется использовать фазированные антенные решетки с широкополосными сигналами на выходе. Эти сигналы подвергаются предобработке и в оцифрованном виде подаются на вход предварительно обученной нейронной сети для распознавания.

Теоретические проработки этой проблемы и анализ результатов зарубежных исследований с использованием реальных данных, имеющихся в распоряжении разработчика, показывают, что вероятность объективного распознавания сигнала может достигать 80% и выше.

4. Высокая степень распараллеленности обработки информации в задачах машиностроения позволяет успешно применять нейросетевые технологии для решения задач комбинаторной оптимизации. Среди оптимизационных задач, которые можно эффективно решать нейросетевыми методами, в первую очередь следует отметить задачи транспортно-ориентированной оптимизации и задачи распределения ресурсов.

Решение таких сложных задач традиционными методами математического программирования, большинство из которых изначально ориенти-

ровано на вычислительную технику с последовательной архитектурой, сопряжено с большими временными затратами, неприемлемыми для многих приложений. При соответствующей аппаратной поддержке нейросетевые методы позволяют значительно повысить оперативность решения данного класса задач, сохраняя высокую точность результата.

По нашему мнению наиболее близким аналогом проектируемой нейронной сети является сеть Хопфилда [7]. Хопфилд использовал функцию энергии как инструмент для построения рекуррентных сетей и для понимания их динамики. Формализация Хопфилда представила принцип хранения информации в виде динамически устойчивых аттракторов, а также способствовала популяризации использования рекуррентных сетей для ассоциативной памяти и для решения комбинаторных задач оптимизации.

Динамическое изменение состояний нейронной сети может быть выполнено двумя способами: синхронно и асинхронно. В первом случае все элементы модифицируются одновременно на каждом временном шаге, во втором - в каждый момент времени выбирается и подвергается обработке один элемент. Этот элемент может выбираться случайно. Главное свойство энергетической функции состоит в том, что в процессе эволюции состояний сети согласно уравнению она уменьшается и достигает локального минимума (аттрактора), в котором она сохраняет постоянную энергию.

Ассоциативная память. Если хранимые в сети образцы являются аттракторами, она может использоваться как ассоциативная память. Любый пример, находящийся в области притяжения хранимого образца, может быть использован как указатель для его восстановления. Ассоциативная память обычно работает в двух режимах: хранения и восстановления. В первом режиме (режиме хранения), веса связей в сети определяются так, чтобы аттракторы запомнили набор p n -мерных образов $\{x_1, x_2, \dots, x_p\}$, которые должны быть сохранены. Во втором режиме (режиме восстановления) входной пример используется как начальное состояние сети, и далее сеть эволюционирует согласно своей динамике. Выходной образец устанавливается, когда сеть достигает равновесия.

Какое количество примеров может быть сохранено в сети с n бинарными элементами? Другими словами, какова емкость памяти сети? Емкость нейронной сети конечна, так как сеть с n бинарными элементами имеет максимально 2^n различных состояний, и не все из них являются аттракторами. Более того, не все аттракторы могут хранить полезные образцы. Ложные аттракторы могут также хранить образцы, но они отличаются от примеров обучающей выборки. Максимальное число случайных образцов, которые может хранить сеть Хопфилда, составляет $P_{max} = 0.15 n$. Когда такое число сохраняемых образцов, достигается наиболее успешный вызов данных из памяти. Если запоминаемые образцы представлены орто-

гональными векторами (в отличие от случайных), то количество сохраненных в памяти образцов будет увеличиваться. Число ложных аттракторов возрастает, когда p достигает емкости сети. Несколько правил обучения предложено для увеличения емкости памяти сети Хопфилда [8]. Заметим, что в сети для хранения p n -битных примеров требуется реализовать $2n$ связей.

Минимизация энергии. Нейронная сеть Хопфилда эволюционирует в направлении уменьшения своей энергии. Это позволяет эффективно решать комбинаторные задачи оптимизации, в случае, если они могут быть сформулированы как задачи минимизации энергии. В частности, подобным способом может быть сформулирована задача коммивояжера.

Основные накладываемые ограничения, критерии и требования, предъявляемые к проектируемой системе следующие:

- Система должна быть инвариантна к произвольному движению фона, зашумлению белым шумом до 10%;
- Система должна быть инвариантна к яркостным характеристикам объектов.
- Вероятность правильного распознавания должна быть не менее 90%;
- В качестве базовых элементов системы должны использоваться персональные компьютеры типа Pentium-II (Pentium-III);
- Программное обеспечение, должно обеспечивать параллельную обработку информации в реальном времени;
- Архитектура системы должна обеспечивать самоорганизацию и многократное обучение;
- Система должна быть инвариантна к яркостным характеристикам объектов.

Нейросетевые принципы, положенные в основу проектируемой системы, позволяют проводить ее обучение и переобучение. Кратко остановимся на рассмотрении ассортимента программных нейросетевых продуктов:

NeuroShell Trader представляет собой революционную нейросетевую систему прогнозирования, разработанную специально для трейдеров, инвесторов и всех тех, кто собирается использовать прогнозы на финансовых рынках, а также решать другие прогнозные задачи. Она настолько проста в использовании, что даже начинающие могут быстро достигнуть успеха. В то же время эта система является весьма эффективной и мощной, и дает возможность профессионалам решать широкий круг сложнейших задач.

NeuroShell 2 - программная среда с дружественным и интуитивно понятным интерфейсом, в которой реализованы наиболее распространенные и эффективные нейросетевые архитектуры. Этот программный продукт удовлетворяет требованиям и новичка, и профессионала. *NeuroShell*

сопровождает целая серия дополнений, которые могут существенно упростить решение ряда специфических задач.

GeneHunter – «охотник за генами», использует генетические алгоритмы для решения весьма сложных комбинаторных и оптимизационных задач. *GeneHunter* является надстройкой Microsoft Excel, то есть пользователь решает свои задачи непосредственно из рабочего листа, содержащего данные. Кроме того, в состав *GeneHunter* входит динамическая библиотека функций генетических алгоритмов, совместимая с NeuroWindows, что позволяет пользователю создавать мощные гибридные системы, сочетающие нейронные сети и генетические алгоритмы.

В состав серии нейросетевых продуктов *NeuroShell* входят:

- *NeuroShell Predictor* – Предсказатель.
- *NeuroShell Classifier* – Классификатор.
- *NeuroShell Run-Time Server* – Генератор автономных файлов.

NeuroShell Predictor - дает возможность с легкостью создавать системы для решения задач прогнозирования и предсказания на основе имеющейся базы данных. Это могут быть предсказания следующих значений параметров временного ряда, например, оценка какой-либо величины, определяемой набором независимых факторов.

NeuroShell Classifier - предназначен для решения задач распознавания образов, связанных с определением принадлежности предъявляемого образа (ситуации) к той или иной категории. Например, вырабатывать управляющий сигнал для технологических процессов.

NeuroWindows представляет собой динамическую библиотеку нейросетевых функций, с помощью которых программист в состоянии построить нейросетевые структуры практически произвольной архитектуры.

NeuroShell Run-Time Server - содержит ряд программ, которые позволяют использовать сети, созданные с помощью *NeuroShell Predictor* и *NeuroShell Classifier*, либо из рабочих листов Microsoft® Excel™, либо в собственных программах.

Процедура решения указанных задач включает в себя следующие операции:

- подготовка файла данных, содержащего объекты распознавания;
- выделение столбцов, в которых содержатся независимые переменные (входы нейросети) и зависимая переменная (выход нейросети), т.е. параметр прогноза или классификации;
- выбор стратегии тренировки - нейросетевой или генетической;
- тренировка сети;
- использование сети для прогноза или классификации существующих или новых данных.

Методология нейросетевого программирования в корне отличается

от привычной, она требует от постановщика задачи и программистов умения оперировать другими категориями, по-другому строить логику программы, решать задачи, которые не могли возникнуть при традиционном программировании.

Основная задача - максимально эффективно использовать системные ресурсы вычислительной системы, оптимально распределить нагрузку между процессорами, «выжать» максимум из нейропроцессора.

Применение интеллектуальных нейросетевых технологий вызывает необходимость в использовании методов параллельной обработки данных. Причем термин «параллельная обработка» можно трактовать как обработку на параллельно работающих процессорах (многопроцессорные системы), так и одновременную обработку нескольких элементов данных на одном процессоре. Современный процессор позволяет выполнять несколько инструкций за один такт, что заставляет разработчика программного обеспечения тщательно продумывать как способы организации самих вычислительных процессов, так и способы подготовки данных, для того чтобы параллельно выполняемые процессы не блокировали друг друга.

Трудности, возникающие при программировании многопроцессорных систем, широко известны: синхронизация параллельных процессов, механизмы обмена данными, проблемы «критических областей», когда несколько процессов задействуют одни и те же системные ресурсы. Еще одной важной особенностью современных процессоров является высокая разрядность операндов, например 64 бита, что позволяет размещать в них по несколько малоразрядных элементов данных и обрабатывать их параллельно.

Примером эффективного использования отмеченной особенности современных процессоров является широко распространенная компьютерная технология MMX, где 64-разрядный регистр разбивается на 8 независимых байтов или на четыре 16-битных слова, которые обрабатываются параллельно. Независимость элементов состоит в том, что при смещениях или вычитании не происходит заимствования битов у соседних элементов. В перспективных разработках в кристалл чипа заложена функция произвольного разбиения 64-разрядного слова на элементы разрядностью от 1 до 64, а также возможность располагать в одном длинном слове данные разной разрядности, разбивая слово произвольным образом. В результате программист в зависимости от разрядности исходных данных может варьировать количество параллельно обрабатываемых элементов.

Выводы:

Решение проблемы и проектирование рассмотренной компьютерной системы практически неперспективно и невозможно без применения искусственных нейронных сетей, для которых в настоящее время разработа-

но аппаратное обеспечение и достаточный ассортимент программных продуктов, позволяющих успешно решать задачи распознавания движущихся и статических изображений, определения по акустическому сигналу аварийных ситуаций и для задач комбинаторной оптимизации. Нейросетевые архитектуры базируются на алгоритмах «самопостроения» и «самообучения» нейронной сети.

Рассмотрены методологические аспекты нейросетевого программирования, требования к постановщику задачи и программистам. Показано, что сегодня необходимо умение оперировать другими категориями, по-другому строить логику программы, решать задачи, которые не могли возникнуть при традиционном программировании.

Подчеркнуто, что использование интеллектуальных нейросетевых технологий вызывает необходимость в использовании методов параллельной обработки данных. Показано, что «параллельная обработка» может быть охарактеризована двумя направлениями: обработка на параллельно работающих процессорах (многопроцессорные системы) и одновременная обработка нескольких элементов данных на одном процессоре.

Список литературы: 1. Яфраков М.Ф., Корчагина Л.И. Особенности комплексного подхода к нейрокомпьютеризации. Известия вузов. Приборостроение. 1997.- Т.40.- №3. 2. Hebb D.O. The organization of behavior. // New York. 1949. 3. McCulloch W.S., Pitts W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. // Bulletin of Mathematical Biophysics. 1943. - Vol. 5. 4. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. // Psychological Review. 1958.-Vol. 65. 5. Minsky M., Papert S. Perceptrons. // Cambridge, Massachusetts. 1969. 6. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры в разработках военной техники США. // Зарубежная радиоэлектроника. 1995. № 5. 7. J.J. Hopfield, "Neural Networks and Physical Systems with Emergent Collective Computational Abilities", in Proc. National Academy of Sciences, USA 79, 1982, pp. 2554-2555. 8. J. Hertz, A. Krogh, and R.G. Palmer, Introduction to the Theory of Neural Computation, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1991.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТЕРМОФРИКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Покинтелица Н.И. (ВУГУ, г. Луганск, Украина)

The process thermofriction of hardening of flat surfaces of details by a metal

disk allowing is considered to increase service life of machines and reliability them in operation. The technique of research of thermal parameters of process is given.

Придание поверхностному слою деталей машин, как наиболее подверженному внешним воздействиям, специальных свойств оказывает воздействие значительному повышению качества машин и в первую очередь показателей надежности и долговечности. Кроме того, улучшение использования прочностных свойств металлов в машиностроении, увеличение срока службы машин и надежности их в эксплуатации дает большую экономию средств за счет снижения затрат на ремонт, уменьшения потребности в запасных частях и более полного использования оборудования.

Качество поверхностного слоя деталей машин характеризуется геометрическими параметрами, физико-механическими свойствами, микроструктурой, микротвердостью, химическим составом, а также эксплуатационными показателями. Одним из методов, позволяющим значительно повысить качество поверхностных слоев деталей, их надежность и долговечность, является упрочнение трением на больших скоростях скольжения [1]. Слои, упрочненные трением, характеризуются высокой твердостью, микротвердостью, пластичностью. Износостойкость, усталостная и коррозионная стойкость их значительно выше, чем закаленных токами высокой частоты. Выявлено, что после фрикционно-упрочняющей обработки в ряде сталей (марок 40Х, 50) повышается сопротивление зарождению усталостных трещин, а количество циклов нагружения до зарождения трещин увеличивается в 2-3,5 раза. При этом доказано, что трещины распространяются по основному металлу, а стойкость абразивного изнашивания сталей марок 40Х и 50 увеличилась в 1,5 раза.

Предлагаемый метод основан на комбинировании двух принципов взаимодействия между инструментом и обрабатываемой заготовкой: скольжения, за счет которого осуществляется нагрев зоны резания, и непосредственно процесса резания, который осуществляется касательным движением лезвия. Нагрев зоны резания происходит за счет использования теплоты работы трения и непрерывной замены рабочих участков инструмента, выполненного в виде металлического диска. В процессе обработки упрочняющий диск 1 вращается вокруг оси, параллельной обрабатываемой плоскости со скоростью $V_d = 90 \dots 110$ м/с (рис.1). Заготовка 2, закрепленная на столе станка, совершает движение подачи V_z . При обработке плоскостей размером, превышающим ширину диска, заготовке задается периодическая поперечная подача S_n .

В процессе контакта заготовки с упрочняющим диском происходит разогрев металла в контактной зоне до высокопластичного состояния и его

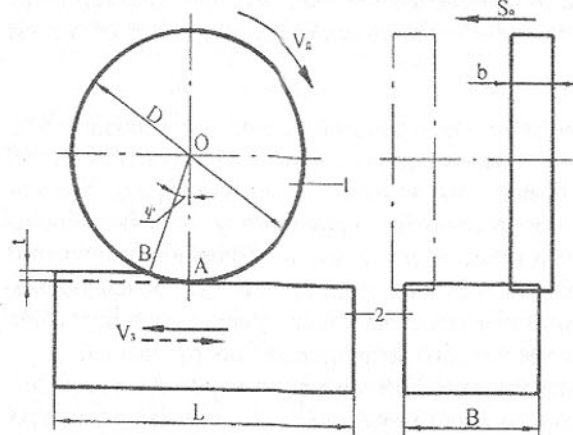


Рис. 1. Обработка плоскостей упрочняющим диском

деформация с образованием мелкой сливной стружки, которая выносится из зоны резания диском. В зависимости от условий обработки температура в контактной зоне может колебаться в пределах 900...1200 °С, что выше температуры рекристаллизации большинства обрабатываемых материалов и характерно для горячей деформации, способствующей росту пластичности и

уменьшению сопротивления деформации в зоне резания. Установлено, что на величину температуры в зоне трения влияют окружная скорость вращающегося диска, подача, материалы, смазка и площадь контакта.

Как известно, параметры качества поверхностного слоя в значительной степени зависят от теплового фактора. Поэтому определение температуры в зоне резания при термофрикционном упрочнении представляет научный и практический интерес.

Известно, что процесс теплопередачи в неподвижной твердой среде осуществляется за счет теплопроводности и описывается уравнением

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Однако при проведении технологических операций термофрикционного упрочнения металлов приходится иметь дело с подвижным источником теплоты. В данном случае перенос теплоты будет осуществляться не только за счет теплопроводности, но и за счет движения самой нагретой заготовки.

При наличии движения теплового источника необходимо систему координат связать с движущимся источником. При совмещении, например, оси X с направлением движения теплового источника дифференциальное уравнение теплопроводности (1) запишется в виде [2]

$$\frac{d\Theta}{dt} = \frac{\lambda}{C\gamma} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial z^2} \right) + V \frac{d\Theta}{dx}, \quad (2)$$

где V - скорость перемещения теплового источника, м/с; C - удельная теплоемкость, Дж/кг·К; γ - плотность, кг/м³; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м·К.

Для решения теплофизических задач в процессах термофрикционного резания металлов применен метод источников (метод Грина), суть которого заключается в том, что если известен закон изменения температуры $\Theta(x, y, z, t)$ в точке $B(x, y, z)$ теплопроводящего пространства от источника теплоты, помещенного в точку $A(x', y', z')$, выделившего количество теплоты Q в момент времени t' , то температура в точке $B(x, y, z)$ от системы распределенных в пространстве источников определяется суперпозицией из температурных полей. Решение задачи сводится к определению функции $\Theta(x, y, z, t)$ от источника теплоты Q (функция Грина).

Распределение тепловых источников в пространстве, время их действия и движения учитываются интегрированием.

Известно, что если в n -мерном пространстве в точке A с координатами $x'_1, x'_2, x'_3, \dots, x'_n$ в момент времени t' выделилось количество теплоты Q , то температура тела в точке B с координатами $x_1, x_2, \dots, x_n$ в момент времени $(t > t'_n)$ описывается функцией [2]

$$\Theta(x_1, x_2, \dots, x_n, x'_1, x'_2, \dots, x'_n, t, t') = \frac{Q}{C\gamma \sqrt{4\pi a_1(t-t')}} \cdot \exp \left\{ -\frac{R^2}{4a_1(t-t')} \right\}, \quad (3)$$

где R^2 - квадрат расстояния между точками A и B , причем

$$R^2 = (x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + \dots + (x_n - x'_n)^2.$$

Функция (3) является решением фундаментального уравнения теплопроводности (2). На основании данного решения можно записать функцию Грина для различных условий задачи.

Быстровращающийся упрочняющий диск представляет собой полосовой источник теплоты шириной $2h$ ($-h \leq z \leq h$), равной длине контакта диска с поверхностью образца, который перемещается в положительном направлении горизонтальной оси X со скоростью V .

$$2h = \frac{\pi D}{360} \arccos(1 - t/R),$$

где D - диаметр диска, мм; t - припуск на обработку, мм; R - радиус диска, мм.

Мощность и плотность теплового потока при упрочнении - функции множества факторов, которые зависят от режимов обработки (скорости подачи, площади контакта, материала диска и образца). Разделив мощность, затраченную на упрочнение, на площадь контакта диска с заготовкой, получим полный тепловой поток

$$q = N/S,$$

где N - мощность, Вт; S - площадь контакта, м^2 .

$$N = V_3 BE \gamma [c(\Theta - \Theta_0) + a_0] \frac{\lambda_M + \lambda_D}{\lambda_M} \cos \psi,$$

где V_3 - скорость подачи, мм/с ; B - ширина обработки, мм ; E - хорда, стягивающая дугу контакта, мм ; γ - удельный вес, кг/мм^3 ; c - удельная теплоемкость, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; Θ - температура плавления, $^\circ\text{К}$; Θ_0 - начальная температура, $^\circ\text{К}$; a_0 - скрытая теплота плавления, Дж/кг ; λ_M , λ_D - коэффициенты теплопроводности обрабатываемого материала и материала диска, $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$; ψ - угол контакта диска с заготовкой, град.

Площадь контакта принята равной геометрической площади при условии, что диск является абсолютно жестким, а заготовка - эластичной

$$S = b \pi D \psi / 360,$$

где b - ширина диска, м ; D - диаметр диска, м .

Если учесть, что в заготовку идет часть всей теплоты, образующейся в зоне контакта, то тепловой поток, идущий в заготовку, может быть определен

$$q_3 = N \eta / S,$$

где η - коэффициент, показывающий долю теплоты, идущей в заготовку.

Пусть источник теплоты действует на протяжении времени t . Необходимо найти тепловое поле $\Theta(x, y, z)$. Тогда

$$d\Theta(x, y, z) = \frac{2q_3 dz' dt'}{C \gamma [4\pi a_1 (t - t')]^{3/2}} \exp \left\{ -\frac{y^2 + [x + V(t - t')]^2 + (z - z')^2}{4a_1 (t - t')} \right\};$$

$$\Theta(x, y, z) = \int_{-h}^h \frac{8q}{C \gamma \sqrt{4\pi a_1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2 + (z - z')^2}} \cdot K_1 \left(\frac{V \sqrt{x^2 + y^2 + (z - z')^2}}{2a_1} \right) dz',$$

$$\text{где } K_1(z) = \int_0^\infty \exp \left\{ -u^2 - \frac{z^2}{4u^2} \right\} du; \quad u = \frac{x^2 + y^2 + (z - z')^2}{4a_1 (t - t')};$$

$a_1 = \lambda / C \gamma$ - коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; x , y , z и t - постоянные величины (координаты точек исследуемого пространства и время); z' , t' - переменные интегрирования. Фиксированные факторы принимались из условия формирования упрочненного слоя наибольшей глубины.

Как показали исследования, в момент начального контакта упрочняющего диска с заготовкой температура резко возрастает, а после этого остается (при постоянных режимах обработки) практически неизменной. Поэтому, при исследовании влияния различных параметров на температуру поверхности контакта принимались ее значения при установившемся процессе. Установлено, что при упрочнении поверхностей дисками с ма-

лой теплопроводностью в заготовку поступает 25-50% общего теплового потока, а для дисков с большой теплопроводностью - 15-30%; около 20-30% теплоты переходит в диск, а остальная теплота удаляется со стружкой и поступает в окружающую среду.

Таким образом, зная величину температуры в зоне контакта и плотность теплового потока, идущего в заготовку при упрочнении дисками с различными теплофизическими свойствами, а также мощность, расходуемую на упрочнение, можно сделать вывод о распределении теплоты между диском и заготовкой, что может быть использовано при прогнозировании показателей качества упрочненного слоя и мощности привода станка или установки.

Список литературы: 1. Зарубицкий Е.У., Покинтелица Н.И. Упрочнение поверхностей деталей // Машиностроитель.- 1997.- № 2.- С. 9. 2. Якимов А.В., Ткаченко Б.О., Зимин С.Г., Якимов А.А. и др. Основы теории тепловых явлений при шлифовании деталей машин.-Одесса: ОГПУ, 1997.- 272 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ ЦИКЛИД ДЮПЕНА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА

Скидан И.А., Гайдарь О.Г. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The cyclides of the Dupin of the fourth order, bearing on themselves a web from circles and having points at infinity, nevertheless, can be qualitatively submitted by tools the computer graphs. From here - necessity of refinement of existing models or development new with the purpose of elimination of the detected shortage.

Известно, что циклиды Дюпена можно получить инверсией из поверхностей вращения второго порядка [1-3]. Преобразование инверсией при условии расположения центра преобразования в начале координат выражается формулами

$$x = \frac{c^2 \bar{x}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}, \quad y = \frac{c^2 \bar{y}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}, \quad z = \frac{c^2 \bar{z}}{\bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2}, \quad (1)$$

где $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ - координаты точки прообраза;

c - радиус инверсии.

Здесь будут рассмотрены компьютерные модели Циклид четвертого порядка.

Циклида четвертого порядка, не содержащая конических точек, может быть получена инверсией тора, центр которой расположен вне его поверхности. Сместим начало координат относительно центра тора по оси OX на расстояние a и запишем параметрическое уравнение тора в новой системе отнесения

$$x = a + (R + r \cos u) \cos t, \quad y = (R + r \cos u) \sin t, \quad z = r \sin u, \quad (2)$$

где R – радиус окружности центров производящего круга,
 r – радиус производящего круга.

Подстановка значений $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ из (2) в (1) приводит к уравнениям циклиды

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{c^2[(R + r \cos u) \cos t + a]}{2a(R + r \cos u) \cos t + 2Rr \cos u + R^2 + r^2 + a^2}, \\ \bar{y} &= \frac{c^2(R + r \cos u) \sin t}{2a(R + r \cos u) \cos t + 2Rr \cos u + R^2 + r^2 + a^2}, \\ \bar{z} &= \frac{c^2 r \sin u}{2a(R + r \cos u) \cos t + 2Rr \cos u + R^2 + r^2 + a^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

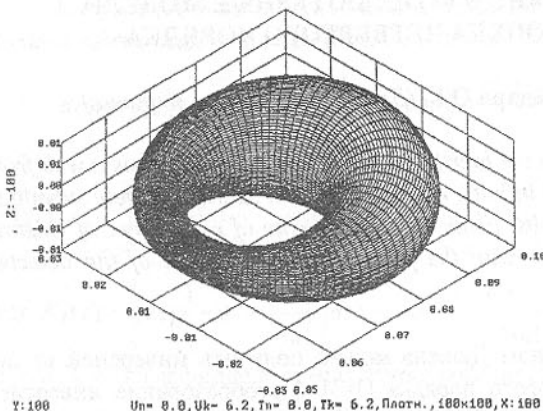


Рис. 1. Циклида без конических точек

ложит на его поверхности. Сместим начало координат относительно вершины конуса вдоль оси OZ на величину b и представим параметрические уравнения конуса в этой системе в виде

$$\bar{x} = u \sin \alpha \cos t, \quad \bar{y} = u \sin \alpha \sin t, \quad \bar{z} = u \cos \alpha + b. \quad (4)$$

Подставим выражения $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ из (4) в (1) и получим параметрические уравнения циклиды в виде

На рисунке 1 показана циклида четвертого порядка, не содержащая конических точек, при условии следующих значений $R=4$, $r=1.3$, $a=2.7$, $c=1$, $t_H=0$, $t_K=2\pi$, $u_H=0$, $u_K=2\pi$.

Циклиду четвертого порядка с двумя коническими точками можно получить инверсией конуса вращения при условии, что центр инверсии не лежит на его поверхности.

$$\begin{aligned} x &= \frac{c^2 u \sin \alpha \cos t}{2ub \cos \alpha + b^2 + u^2}, \\ y &= \frac{c^2 u \sin \alpha \sin t}{2ub \cos \alpha + b^2 + u^2}, \\ z &= \frac{c^2 (u \cos \alpha + b)}{2ub \cos \alpha + b^2 + u^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

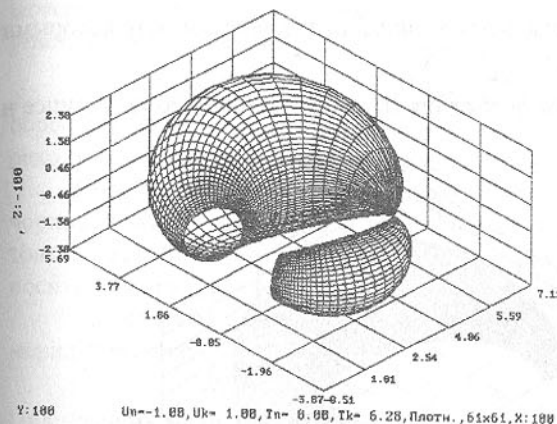


Рис. 2. Циклида с двумя коническими точками

В этом случае центр инверсии можно назначить совпадающим с началом координат. Параметрические уравнения цилиндра

$$\bar{x} = r \cos t, \quad \bar{y} = r \sin t, \quad \bar{z} = u. \quad (6)$$

Подстановка выражений $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ из (6) в (1) приводит к уравнению циклиды в виде

$$x = \frac{c^2 r \cos t}{r^2 + u^2}, \quad y = \frac{c^2 r \sin t}{r^2 + u^2}, \quad z = \frac{c^2 u}{r^2 + u^2}. \quad (7)$$

На рисунке 3 показана циклида Дюпена четвертого порядка с одной конической точкой при следующих значениях параметров $r=6$, $c=5$, $t_H=0$, $t_K=2\pi$, $u_H=-100$, $u_K=100$.

Анализ изображений, приведенных на рисунках 2 и 3, приводит к выводу: замкнуть циклиду в конической точке, прообразом которой является несобственная точка оси вращения в рамках рассмотренных математических моделей невозможно. По той же причине (из-за бесконечно большого интервала аргумента) невозможно это осуществить, если исхо-

На рисунке 2 показана циклида Дюпена четвертого порядка с двумя коническими точками при следующих значениях параметров: $\alpha=\pi/6$, $b=-1$, $c=4$, $t_H=0$, $t_K=2\pi$, $u_H=-10$, $u_K=10$.

Циклида Дюпена четвертого порядка с одной конической точкой может быть получена инверсией прямого кругового цилиндра при условии, что центр ин-

дить из параметрических уравнений поверхности циклида Дюпена четвертого порядка, приведенных в [4]

$$\begin{aligned}x &= \frac{(-a \cdot \operatorname{cht} - d)b \sin u}{c \cdot \cos u - a \cdot \operatorname{cht}}, & y &= \frac{(c \cdot \cos u + d)b \cdot \operatorname{cht}}{c \cdot \cos u - a \cdot \operatorname{cht}}, \\z &= \frac{(-a \cdot \operatorname{cht} - d)b \cos u + (c \cdot \cos u + d)c \cdot \operatorname{sh} t}{c \cdot \cos u - a \cdot \operatorname{cht}},\end{aligned}$$

где a, b, c – параметры фокальных эллипса и гиперболы, между которыми существует зависимость $b^2 = \sqrt{a^2 - c^2}$, $d = \text{const}$, u и t – параметры положения точки соответственно на эллипсе и на гиперболе.

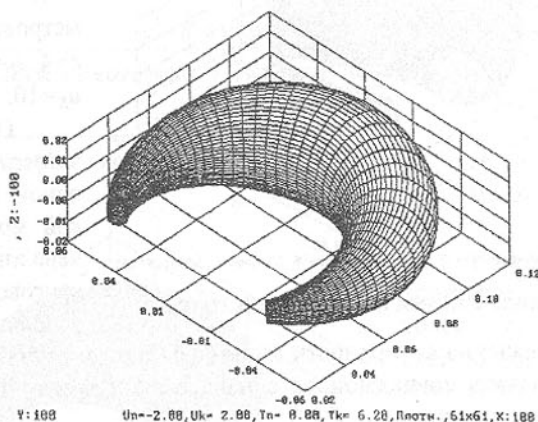


Рис. 3. Циклида с одной конической точкой

Циклиды Дюпена четвертого порядка, неся на себе сеть из окружностей и не имея бесконечно-удаленных точек, тем не менее, не могут быть качественно представлены средствами компьютерной графики. Отсюда – необходимость усовершенствования существующих моделей или разработки новых с целью устранения выявленного недостатка.

Список литературы: 1. Гильберт Д, Кон-Фоссен С. Наглядная геометрия. – М.: «Наука», 1981. – 334с. 2. Савелов А.А. Плоские кривые. – М.: Гос. изд-во ф.-м. литературы, 1960. – 293с. 3. Клейн Ф. Высшая геометрия. – М.–Л.: Гос. объединенное научно-техническое изд-во. Редакция техн.-теоретич. лит-ры, 1939. – 399с. 4. Шуликовский В.И. Классическая дифференциальная геометрия. – М.: Госуд. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1963. – 540с.

ЗАСТОСУВАННЯ НОРМАЛЬНИХ КООРДИНАТ В ЗАДАЧАХ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ

Скидан І.А., Коломієць О.А.

(ДонДТУ, м. Донецьк, Україна)

Compiling the pilot program of draft-quality and fair treating of a part, restricted surface of revolution of a compound section, with simultaneous check of movements of the processing (treating) instrument by facilities of the computer-generated image is offered.

Задача управління обробкою полягає у визначенні траєкторій руху обробного інструмента, які забезпечують вилучення матеріалу з метою переходу від форми заготовки до форми виробу.

Обробку розподіляють на чорнову та чистову [1]. У процесі обробки чорнова здійснюється першою, коли матеріал видаляється від форми заготовки до наближення з надлишком до чистої форми виробу. Надлишок носить ім'я припуску на чистову обробку.

Нехай треба обробити деталь, що має форму поверхні обертання з меридіаном (рис.1)

$$x = h \sin z, \quad z_1 \leq z \leq z_2 \quad (1)$$

Циліндрична заготовка повинна мати діаметр

$$D \geq 2(h + a)$$

де h – амплітуда меридіана, a – припуск на чистову обробку.

Для складання математичної моделі чорнкової обробки віднесемо поверхні заготовки та поверхню, що маємо отримати в результаті чорнкової обробки, до нормальної циліндричної системи [2]. За опорну поверхню візьмемо циліндр заготовки. Функції введення нормальних циліндричних координат мають вигляд

$$x = \left(\frac{D}{2} + v\right) \cos t, \quad y = \left(\frac{D}{2} + v\right) \sin t, \quad z = u \quad (2)$$

Внутрішні рівняння поверхні перед чистовою обробкою

$$v = -\left(\frac{D}{2} - x - a\right) = -\left(\frac{D}{2} - h \sin u - a\right) \quad (3)$$

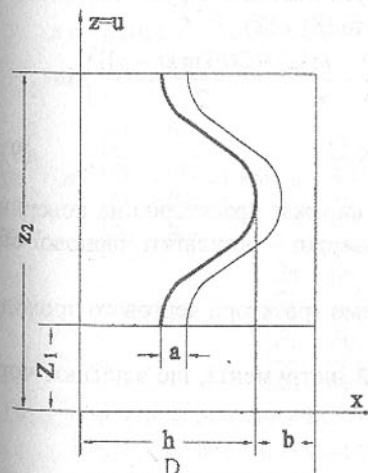


Рис.1 Схема обробки деталі

Нехай $\sin z_1 > \sin z_2$, а товщина стружки $S \leq [S]$. Відштовхуючись від рівняння (3), визначимо кількість проходів n

$$n = \frac{D - 2(h \sin z_2 + a)}{2S} = \frac{D - 2(h \sin u_2 + a)}{2S} \quad (4)$$

Надалі будемо вважати кількість проходів n сталим, а товщину стружки S залежною від u . Функцію залежності знайдемо з (4), уявляючи u параметром

$$S = \frac{D - 2(h \sin u + a)}{2n} \quad (5)$$

Під час чорнової обробки інструмент слід утримувати у такому напрямку, щоб його вісь співпадала з нормаллю до поверхні заготовки. Траєкторія відносного руху інструмент-заготовка

$$u = kt, \quad (6)$$

$$v = -mS, \quad (m = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

Підставимо замість S його значення з (5).

Отримаємо

$$v = -\frac{m \cdot D - 2(h \sin u + a)}{2n}, \quad (m = 0, 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

Таким чином, траєкторії відносного руху інструмент-заготовка є сім'я квазігвинтових ліній з постійним кроком. Кожна лінія сім'ї має свою поверхню обертання, на яку вона навивається. Перетини сім'ї поверхонь обертання площинами, що перпендикулярні осі обертання – рівновіддалені кола, відстань між якими залежить від положення січної площини.

Параметричні рівняння сім'ї траєкторій відносного руху інструмент-заготовка отримаємо підстановками (6), та (8) у (2)

$$x = \left(\frac{D}{2} - \frac{m}{n} \left[\frac{D - 2(h \sin kt + a)}{2} \right] \right) \cos t, \quad y = \left(\frac{D}{2} - \frac{m}{n} \left[\frac{D - 2(h \sin kt + a)}{2} \right] \right) \sin t, \quad (9)$$

$$z = kt, \quad \frac{z_1}{k} \leq t \leq \frac{z_2}{k}$$

З рівняння (9) вибігає, що при $m=0$ воно виражає траєкторію на поверхні заготовки, при $m=n$ – траєкторію на поверхні – результаті чорнової обробки.

При проміжних значеннях m матимемо траєкторії чергового проходу обробки.

На рис. 2 показано сім'ю траєкторій інструмента, що здійснює чорнову обробку.

*Тут мається на увазі траєкторія відносного руху тієї точки різця, яка належить поверхні, що треба обробити.

Значення вхідних параметрів:

$$D=4, a=0.2, h=0.8, k=0.025, n=6, s=255, Tn=4 \cdot \pi, Tk=40 \cdot \pi.$$

Чистовою обробкою вилучають шар матеріалу, що носить назву припуску на чистову обробку. Процес чистової обробки має бути більш досконалим та тонким, щоб забезпечити найкраще наближення форми виробу до проектної. Тому чистову обробку слід здійснювати торцевою сферичною фрезою, вісь якої необхідно утримувати у напрямку нормалі до оброблюваної поверхні.

Віднесемо чистову поверхню та поверхню з припуском, до класичної циліндричної системи координат

$$x = \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \cos t, \quad y = \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \sin t, \quad z = u$$

$$z_1 \leq u \leq z_2, \quad m_1 = 0, 1, 2, \dots, n_1, \quad (10)$$

де n_1 – кількість проходів чистової обробки.

При $m_1 = 0$ маємо рівняння чистової поверхні, при $m_1 = n_1$ – рівняння поверхні з припуском. При проміжних значеннях m_1 матимемо рівняння поверхні після відповідного проходу.

Вимога утримання осі інструмента у напрямку нормалі поверхні, що обробляється, спонукає ввести нормальну систему координат.

Вважаючи (10) за опорну поверхню, що визначає нормальну координату, визначимо функції введення нормальної координати за алгоритмом, що наведено в [3]. За формулами (7) рівняння конгруенції нормалей до поверхні (10)

$$x = \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \sin u \cos t + a \omega, \quad y = \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \sin u \sin t + b \omega, \quad (11)$$

$$z = u + c \omega,$$

$$\text{де } a = \frac{\frac{\partial y}{\partial t} \frac{\partial z}{\partial t}}{\frac{\partial y}{\partial u} \frac{\partial z}{\partial u}} = \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \cos t, \quad b = \frac{\frac{\partial z}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial t}}{\frac{\partial z}{\partial u} \frac{\partial x}{\partial u}} = \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \sin t$$

$$c = \frac{\frac{\partial x}{\partial t} \frac{\partial y}{\partial t}}{\frac{\partial x}{\partial u} \frac{\partial y}{\partial u}} = -h \left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \cos u.$$

Похідні взято за рівняннями (10).

Нормуємо вектор нормалі:

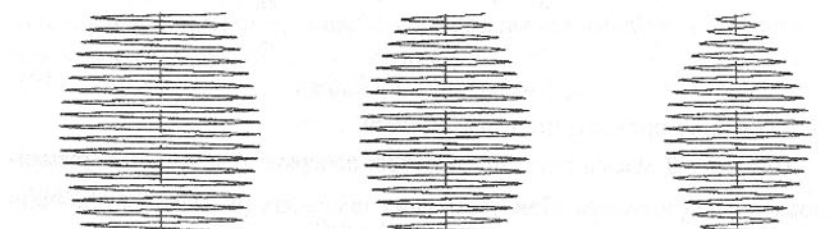
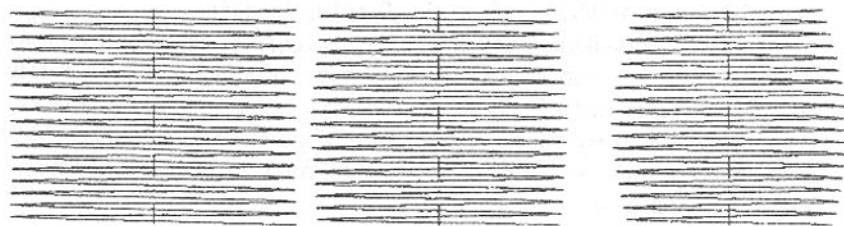


Рис. 2 Траєкторія руху оброблювального інструмента – чорнова обробка (траєкторія різця)

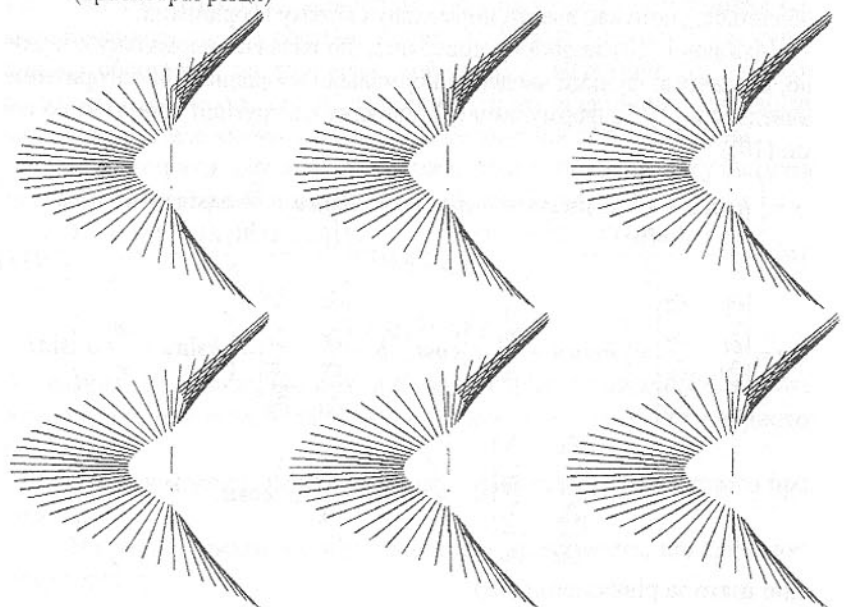


Рис.3 Траєкторія руху оброблювального інструмента – чистова обробка (траєкторія осі оброблювального інструмента)

$$\omega = \frac{v}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} = \frac{v}{\left(h \sin u + \frac{m_1}{n_1} a \right) \sqrt{1 + h^2 \cos^2 u}} \quad (12)$$

Після підстановки (12) у (11) отримаємо

$$x = (h \sin u + a) \cos t + \frac{v \cos t}{\sqrt{1 + h^2 \cos^2 u}}, \quad y = (h \sin u + a) \sin t + \frac{v \sin t}{\sqrt{1 + h^2 \cos^2 u}},$$

$$z = u - \frac{h v}{\sqrt{1 + h^2 \cos^2 u}} \quad (13)$$

Внутрішнє рівняння лінійчатої поверхні, яку утворює вісь інструмента під час чистової обробки і яка є поверхнею конгруєнції нормалей до опорної поверхні (10) при відповідному значенні m_1

$$u = kt, \quad v = v \quad (14)$$

Внутрішнє рівняння (14) та функції (13) дозволяють безпосередньо отримати зображення засобами комп'ютерної графіки сім'ї лінійчатих поверхонь, які описує вісь інструмента на послідовних проходах чистової обробки (рис. 3).

Для наочності зображення значення припуску на чистову обробку a та крок гвинтового руху інструмента призначено збільшеними у порівнянні з прийнятими на практиці.

Наведений вище алгоритм є основою для складання програм управління чорною та чистовою обробкою металів на верстатах з ЧПУ.

Наголосимо, що при цьому надається можливість моделювання процесу обробки засобами комп'ютерної графіки з метою перевірки правильності складання програм управління.

Список літератури: 1. Подготовка исходных данных и работа с автоматизированной универсальной системой подготовки управляющих программ для токарных станков с ЧПУ (СПС-ТАУ). // Инструкция. Берман А.М., Шумеев А.Г. – М.: ЭНИМС, 1977. – 93 с. 2. Скідан І.А., Коломієць О.А. Нормальні циліндричні координати та їх застосування до математичного моделювання поверхонь. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КДТУБА, 1998. Вип. 63. – С. 37–416. 3. Скідан І.А., Коломієць Е.А. Вычислительные формулы метода математического моделирования поверхностей в специальных координатах. // Труды Таврической государственной агротехнической академии: Прикладная геометрия и инженерная графика. – Мелитополь: ТГАТА, 1997. Вип. Т.3. – С. 125–133.

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С СОЛНЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Справедливый В. И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The opportunity of the creation of optimum asynchronous electric drive incontrol productivity dealing with water centrifugal pump has been taken into consideration. This electric drive is delivered by solar. The results of work simulation of the solar electric drive of the water centrifugal pump have been given.

В последнее время все большую актуальность приобретает тематика использования альтернативных источников энергии для небольших по мощности электромеханических установок. Примером такой установки может служить представленный в данной статье центробежный насос с приводом, питаемым от солнечной батареи, структура которого представлена на рис. 1.

Такие устройства пользуются большим спросом в засушливых ре-



Рис. 1. Структура солнечного частотно-регулируемого асинхронного электропривода водяного центробежного насоса.

гионах, где отсутствует подвод централизованной системы электропитания. Уменьшающаяся же с каждым годом стоимость компонентов такого электропривода открывает возможность создания недорогих, компактных приводов небольшой мощности (около 1 кВт) для использования в фермерском и приусадебном хозяйстве. Но на рынке все еще испытывается недостаток в таких установках с оптимальным использованием электроэнергии. Приведенная структура электропривода выбрана из условия достижения максимального КПД электропривода, при этом пришлось отказаться от звена, согласующего напряжение питания между солнечной батареей и инвертором, которое включено в состав большинства подобных устройств [1].

Согласование напряжения на выходе солнечной батареи с входным напряжением инвертора предлагается осуществить путем соответствующего выбора солнечной батареи. Так как напряжение холостого хода солнечной батареи в основном зависит только от температуры окружающей среды и изменяется очень слабо, то требуемое минимальное входное напряжение для инвертора может быть достигнуто путем последовательного включения необходимого количества солнечных модулей, при этом эффект запираания при последовательном включении исключается при помощи диодов, включенных параллельно

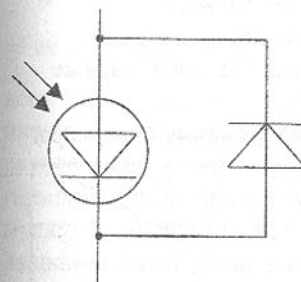


Рис. 2. Солнечный элемент с отводящим диодом.

каждому модулю в непроводящем направлении (рис. 2) [2, 3]. При этом необходимая минимальная мощность будет достигаться путем параллельного соединения модулей солнечной батареи [3]. Постоянство же напряжения, в пределах, необходимых для нормального функционирования современных стандартных инверторов, примером которых может являться инвертор фирмы SIEMENS SIMOVERT MASTERDRIVES CUVС [4], предлагается осуществить соответствующим

регулированием нагрузки солнечной батареи [5].

Солнечная батарея как и водяной центробежный насос представляют собой нелинейные звенья. Их характеристики, представленные на рис. 4, получены при помощи симуляционных программ MATLAB и SIMPLORER, согласно моделям, описанным в литературе [3, 6]. Модель построена для экспериментальной установки мощностью 1 кВт. Целью регулирования такого привода является получение от насоса максимальной производительности (т. е., другими словами – максимальной скорости вращения вала двигателя) при изменяющемся потоке энергии, поступающем в привод от солнечных батарей, который в свою очередь зависит от температуры окружающей среды, величины солнечной радиации и нагрузки солнечной батареи (скорости вращения вала двигателя и момента на валу двигателя).

Исходя из этого предлагается использование системы экстремального регулирования, структура которой представлена на рис. 3, а. Данная структура выбрана исходя из вида зависимостей $P = f(I)$, представленных на рис. 4, а. Она позволяет задавать частоту основной гармоники выходного напряжения инвертора f таким образом, чтобы выходная мощность солнечной батареи была максимальной.

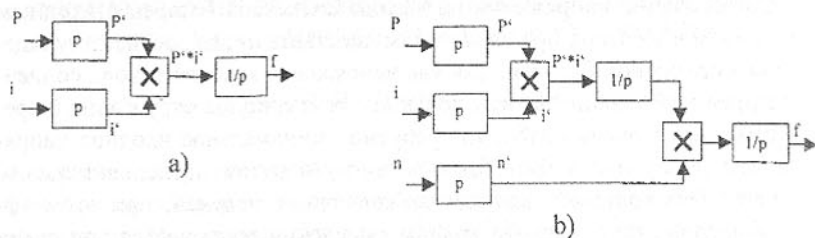


Рис. 3. Структура системы экстремального регулирования:
а-настройка на экстремум мощности солнечной батареи;
б-настройка на экстремум скорости вращения вала двигателя;
 P, i, P', i' - мощность и ток на выходе солнечной батареи, а также производные этих величин,
 f - частота основной гармоники выходного напряжения инвертора.

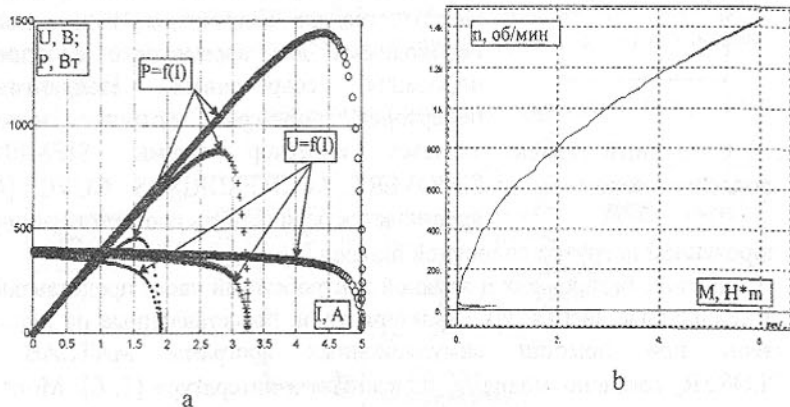


Рис. 4. а-зависимости мощности (P) и напряжения (U) от тока (I) в солнечной батарее при различной освещенности, о-при максимальной освещенности, +-при номинальной освещенности, •-при меньшей, чем номинальная, освещенности;
б-зависимость скорости вращения вала двигателя (n) от момента на валу двигателя, нагруженного водяным центробежным насосом.

При этом вал двигателя будет вращаться с максимально-возможной для полученного от солнечной батареи количества энергии частотой, которая в свою очередь будет также определяться и характером нагрузки на валу двигателя. Такое регулирование имеет явные преимущества перед классическим законом регулирования электропривода $U/f = \text{const}$ [7], который в данном случае не обеспечивает оптимальную работу. Необходимое постоянство напряжения на входе инвертора поддерживается здесь автоматически, так как напряжение, при котором солнечная батарея отдает максимум мощности, изменяется в небольших, допустимых пределах и

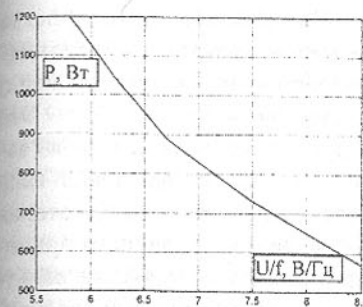


Рис. 5. Зависимость $P=f(U/f)$

зависит в основном только от температуры окружающей среды. Одним из преимуществ такого регулирования является то, что солнечная батарея будет отдавать в нагрузку максимально-возможное количество энергии и работать с максимальным КПД. При симуляции работы солнечного электропривода с данной системой регулирования получены результаты, позволяющие приступить к апробации на практике. На рис. 5 представлена зависимость мощности, снимаемой с солнечной батареи, от соотношения U/f , где U -амплитудное значение напряжения на выходе инвертора, равное напряжению на выходе солнечной батареи, f - частота основной гармоники выходного напряжения инвертора. На рис. 6 представлена симуляция работы солнечного электропривода при изменении освещенности. Зависимость получена для двигателя с номинальной мощностью 1кВт путем симуляции солнечного электропривода программой SIMPLORER.

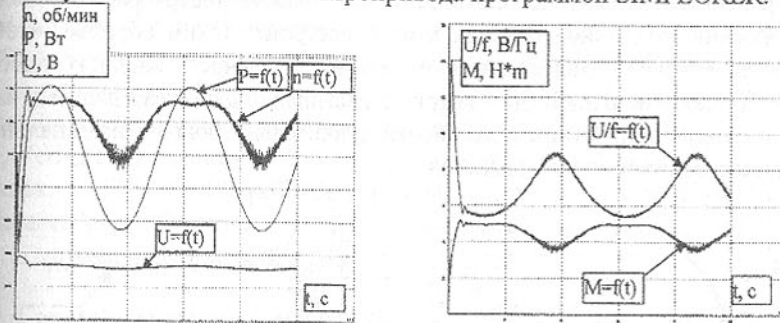


Рис. 6. Работа солнечного электропривода при изменении освещенности;
 M - момент на валу двигателя,
 f - частота основной гармоники выходного напряжения инвертора,
 P - мощность на выходе солнечной батареи,
 n - обороты вала двигателя,
 U - напряжение на выходе солнечной батареи,
 t - время.

В ходе симуляции привода установлено также, что в ситуации, когда с солнечной батареи в привод поступает количество энергии значительно большее, чем номинальное значение мощности электродвигателя, то из-за насыщения двигателя рост частоты f не приводит к увеличению момента на валу.

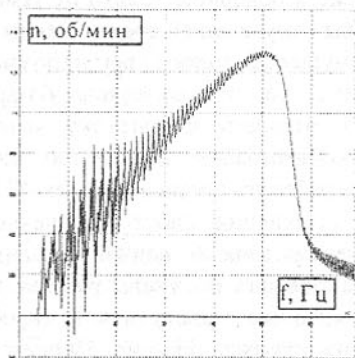


Рис. 7. Зависимость числа оборотов вала (n) двигателя от частоты основной гармоники выходного напряжения инвертора f .

Вывод, что частоту основной гармоники выходного напряжения инвертора при равенстве амплитуды выходного напряжения инвертора выходному напряжению солнечной батареи можно настроить таким образом, чтобы скорость вращения двигателя, т. е. производительность водяного насоса были бы максимальными не смотря на насыщение двигателя для получаемой от солнечной батареи мощности значительно больше номинальной мощности асинхронного двигателя.

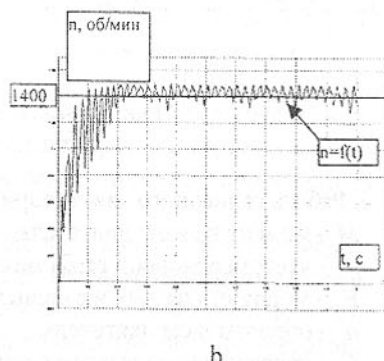
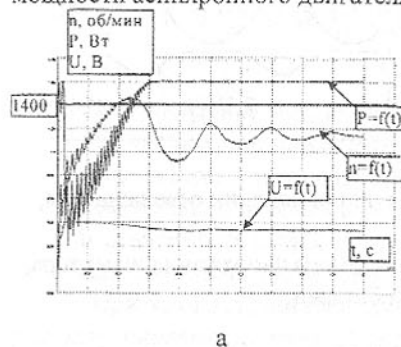


Рис. 8. Работа солнечного привода водяного центробежного насоса с (а) системой регулирования, представленной на рис 3, а и с (б) системой регулирования, представленной на рис. 3, б;
 n - обороты вала двигателя,
 P - мощность на выходе солнечной батареи,
 U - напряжение на выходе солнечной батареи,
 t - время.

Во избежание этого эффекта были внесены изменения в систему регулирования и она приобрела вид, представленный на рис. 3, б. Эта структура определена исходя из зависимости частоты вращения вала двигателя (n) от частоты f , которая получена на модели данного привода при условии постоянства вольт-амперной характеристики солнечной батареи и равенстве амплитуды выходного напряжения инвертора выходному напряжению солнечной батареи (рис. 7), и исходя из структуры регулирования, представленной на рис 3, а. Из характера полученной кривой можно сделать вывод,

На рис. 8 представлены результаты симуляции обеих систем регулирования солнечного электропривода, рассматриваемого для одинаковых условиях при избыточной мощности солнечной батареи. При использовании системы регулирования, представленной на рис. 3, б удается получить значительно большую частоту вращения вала двигателя, т. е. большую производительность насоса.

При использовании рассмотренной выше системы регулирования возможно также создание многонасосных систем, питающихся от одной мощной солнечной батареи. В этом случае каждый насос будет потреблять от солнечной батареи ровно столько мощности, сколько это необходимо для развития электродвигателем максимальных оборотов.

Список литературы: 1. Gfrörer, Wolf – Günter: Wechselrichter für Solaranlagen; Leistungselektronik zur Erzeugung von 230 V – Wechselrichterspannung aus der Solarbatterie. – Poing: Franzis, 1998. 2. Mencke Deflef: Meßtechnische Untersuchung zur Notwendigkeit von Strangdioden als Schutz eines PV – Generators bei Teilabschaltung und Erd- und Kurzschlüssen; Zehntes Symposium Photovoltaische Solarenergie., 1995, Staffelstein. 3. Köthe, Hans Kurt: Stromversorgung mit Solarzellen: Methoden und Anlagen für die Energiebearbeitung. – 4., verb. Aufl. – Poing : Franzis, 1997 4. Siemens interaktiven Katalog CA 01, Ausgabe 4/1999. 5. Georg Duschl: Dissertationsband “Experimentelle und theoretische Untersuchungen an solarelektischen Systemen mit MPP-Reglern”, D 83, Berlin; ISBN: 3861-1132-87, Verlag Shaker, Aachen 1993 6. Igor Karassik, Terry McGuire: Centrifugal pumps. – ISBN 0-412-06391-3, copyright © 1998 by Chapman & Hall 7. Johannes Vogel: Elektrische Antriebstechnik; Heidelberg: Hüthig, 1998

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ

Тамаркин М.А., Сидилева А.И., Халын Ю.Г.
 (ДГТУ, Ростов-на-Дону, Россия)

With finishing processing of details of a difficult configuration from various materials the processing free abrasive is applied. The consideration of methodical questions of designing of technological processes is the purpose of the represented article.

Проектирование технологических процессов можно рассматривать как последовательное принятие решений по отдельным частным технологическим задачам. Для формализации процесса проектирования необходимо описать все множество возможных решений, а также условия, при которых может быть применено каждое из них.

При решении сложных технологических задач в области отделочной обработки деталей, когда необходимо получить высокое качество обработки при грубой исходной шероховатости применяется многоступенчатая обработка деталей свободными абразивами. Критериями применения многоступенчатой обработки могут служить невозможность получения заданного показателя качества поверхности за одну ступень обработки или слишком большое, экономически не целесообразное, время одноступенчатой обработки.

Проектирование технологического процесса обработки деталей свободными абразивами сводится к решению следующих вопросов:

1. Какой метод обработки и, следовательно какую технологическую систему применить для обработки поверхности той или иной детали.
2. Когда недостаточно одноступенчатой обработки и требуется последовательное применение нескольких технологических систем.
3. Как определить необходимую и достаточную последовательность методов обработки, называемую планом обработки поверхности.
4. Как провести параметрическую оптимизацию режимов обработки и характеристик рабочих сред на каждой ступени и определить оптимальные точки перехода со ступени на ступень.

Учитывая, что обработка свободными абразивами является отделочной, параметрическая оптимизация, в основном, сводится к определению времени обработки для получения заданной шероховатости поверхности.

В результате экспериментальных исследований и анализа литературных источников установлено, что при обработке свободными абразивами каждому сочетанию материала детали и технологических параметров обработки соответствует функция $R_a(t)$, имеющая граничные значения, характеризующие технологические возможности обработки детали в заданных условиях. При этом изменение шероховатости в процессе обработки свободными абразивами имеет экспоненциальный характер.

$$R_a(t) = (R_a^{исх} - R_{a\text{ уст}})e^{k_H t} + R_{a\text{ уст}} \quad (1)$$

где $R_a^{исх}$ - среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости поверхности; $R_{a\text{ уст}}$ - среднее арифметическое отклонение профиля установившейся шероховатости; k_H - коэффициент интенсивности; t - время обработки.

Функция $R_a(t)$ характеризуется коэффициентом интенсивности k_H . Зависимость для расчета величины коэффициента интенсивности имеет вид:

$$k_H = \frac{P_1 P_2 f_B V \ln \left(\frac{R_a^{зад} - R_{a\text{ уст}}}{R_a^{исх} - R_{a\text{ уст}}} \right)}{8 k_{np} R_a^{исх} R^2} \quad (2)$$

где P_1 - геометрическая вероятность события, заключающегося в том, что любая точка квадрата упаковки покрывается пятном контакта за один цикл воздействия массы абразивных частиц; P_2 - вероятность события, заключающегося в том, что взаимодействие абразивной частицы с поверхностью детали приведет к микрорезанию; f_B - частота циклов воздействия массы абразивных частиц на поверхность детали; V - объем металла, удаленного за один удар абразивной частицы; k_{np}^0 - объемный коэффициент, учитывающий вид профиля исходной шероховатости; R - радиус абразивной частицы; $R_a^{исх}$ - среднее арифметическое отклонение профиля условной исходной шероховатости поверхности; $R_a^{зад}$ - среднее арифметическое отклонение профиля заданной шероховатости поверхности.

Как можно заметить из (2) величина k_H зависит от соотношения $R_a^{зад}/R_{a\text{ уст}}$ и $R_a^{исх}/R_{a\text{ уст}}$. Меняя указанные соотношения, можно получить различные значения k_H для одних и тех же режимов обработки и характеристик рабочих сред.

Для однозначного определения величины k_H , учитывая свойства натуральных логарифмов, сделаны следующие допущения:

- 1) величина k_H определяется при $R_a^{зад} = 1,2 R_{a\text{ уст}}$;
- 2) величина k_H определяется при $R_a^{исх} = R_{a\text{ уст}}$;
- 3) при этом время достижения $R_a^{зад}$ близко к времени достижения $R_{a\text{ уст}}$.

На основании предварительных исследований установлено, что величина $R_a^{исх}$ должна быть значительно больше, чем $R_{a\text{ уст}}$. Это позволяет учитывать начальный участок экспоненты, что более точно отражает технологические возможности обработки свободными абразивами.

При проведении дальнейших расчетов принято $R_a^{исх} = (8 \div 12) R_{a\text{ уст}}$ в зависимости от условий обработки.

Таким образом, пользуясь зависимостью (2) можно рассчитать коэффициент интенсивности однозначно определяемый режимами обработки, зернистостью абразива и материалом детали.

Расчет значений коэффициента интенсивности для конкретных условий обработки позволяет определить время обработки от заданной до исходной шероховатости поверхности по зависимости:

$$t = \frac{1}{k_H} \ln \left(\frac{R_a^{зад} - R_{a\text{ уст}}}{R_a^{исх} - R_{a\text{ уст}}} \right)$$

Чтобы получить заданное значение шероховатости поверхности детали при минимальных затратах времени, необходимо выбрать такой вариант обработки, при котором будет выполнено следующее условие:

$$t = t_{\min} = \sum_{i=1}^N t(R_a^{\text{учт}}{}_i, R_a^{\text{зад}}{}_i, PO_i, N_{z,i}, \sigma_T) + \sum_{i=1}^{N-1} t_{\text{счн}}$$

где N - число ступеней; PO_i - режимы обработки на i -той ступени; $N_{z,i}$ - зернистость абразива на i -той ступени обработки; σ_T - предел текучести материала обрабатываемой детали; $t_{\text{счн}}$ - дополнительные затраты времени на вспомогательные переходы, связанные с изменением метода обработки, режимов, заменой рабочих сред, транспортировкой и сепарацией массы загрузки.

Учитывая характер изменения шероховатости при обработке свободными абразивами, момент времени $t_{\text{пер}}$ оптимальной смены параметров обработки есть точка принадлежащая функциям $R_a(t)$, характеризующаяся равенством градиентов функций в этой точке.

Многоступенчатый процесс обработки деталей свободными абразивами будет экономически целесообразен, если

$$t_N + t_{\text{счн}} < t_{N-1}$$

где t_N - время достижения заданной шероховатости при N -ступенчатом процессе обработки; t_{N-1} - время достижения заданной шероховатости при $N-1$ -ступенчатом процессе обработки.

Полученные зависимости позволяют проектировать многоступенчатые технологические процессы обработки свободными абразивами и определять оптимальное время обработки на каждой ступени.

РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВОДА ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ

Тищенко П.И. (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The results of industrial sampling of a designed roof cooling system of 100-ton EAF are introduced. The heat removing elements are executed by the way of cooling pipes arranged in form of separate sector-type sections (panels) around roof surface. The panels form an arc structure in vertical cross-section. The panels operate with auto-renewing slag heat insulation layer. The gap between pipes calculated on the base of mathematical model, provides minimal heat loss with cooling water and avoids overheating of outer metal screen. Application of a tendered cooling system allows to reduce heat loss on 20-25 % in comparison with conventional water-cooled roof and significant augmentation of its durability.

Для современных металлургических и машиностроительных заводов весьма актуальной является задача снижения эксплуатационных расходов, связанных с плавкой металла в электродуговых печах.

Опыт эксплуатации дуговых сталеплавильных печей большой вместимости (100 т) свидетельствует о том, что потери энергии с охлаждающей водой, составляют за время плавки для свода и стен печи соответственно 5-6 и 1,8-2,5 МВт·ч. При этом стойкость, водоохлаждаемых сводов значительно ниже стойкости стен, поскольку в процессе работы печи свод подвергается более интенсивным термическим ударам. Поэтому совершенствование конструкции водоохлаждаемых сводов и, в первую очередь системы их охлаждения, является актуальной задачей.

Донецким государственным техническим университетом в течение ряда лет разработаны и внедрены в производство системы охлаждения стен и свода дуговых сталеплавильных печей, обеспечивающие снижение потерь тепла с охлаждающей водой и более высокие эксплуатационные показатели водоохлаждаемых элементов [1,2].

В результате поиска оптимальной формы водоохлаждаемых элементов свода печи, с целью обеспечения равномерности теплосъема по всей теплопринимающей поверхности, была разработана и запатентована конструкция, в которой элементы свода - панели выполнены в виде спирали, имеющей в вертикальном сечении форму треугольника со скругленными углами (рисунк 1).

Конструктивными особенностями свода являются:

- использование принципов неплотной пространственной укладки труб и их тепловой защиты возобновляемым рабочим слоем гарнисажа с целью снижения потерь энергии;
- секторное расположение панелей, формирующих охлаждаемую поверхность свода;
- наклон ветвей панели к горизонту на определенные углы (α_1 , α_2) и формирование в вертикальном сечении свода арочной структуры;
- панели накрыты сверху листом экрана, обеспечивающим определенную газоплотность конструкции;
- рассчитанные на основе математической модели значения межтрубного интервала f при заданном значении зазора между трубой и листом экрана b , обеспечивающие минимальные потери тепла с водой и отсутствие перегрева экрана сверх допустимой величины.

Предельно допустимый уровень температуры стального листа экрана свода составляет 200°C. Его превышение вызывает деформацию металлоконструкций и приводит к термической усталости элементов свода.

Межтрубный интервала f (рисунок 1) в системе охлаждения печного свода является основным параметром, определяющим потери тепла с охла-

дающей водой и температуру листа экрана. Он рассчитывается на основе математической модели теплообмена в системе: рабочее пространство печи - водоохлаждаемая панель. Модель [3] позволяет рассчитывать конструктивные параметры панели при условии минимизации потерь тепла и обеспечения нормальных условий эксплуатации свода.

Расчет производится на основе данных о распределении падающего теплового потока по радиусу свода. Прямые измерения ее затруднены, а существующие методики расчета далеки от практики работы современной дуговой печи. Разработанная расчетная модель [4] учитывает следующие источники излучения:

ванна расплава, электрическая дуга, факелы газокислородных горелок, дожигание оксида углерода в объеме печи, электроды; параметры печной установки и технологии плавки: геометрия печи, активная мощность, род тока, интенсивность продувки кислородом, количество вводимого в ванну угля, наведение пенного шлака; а также фактор неодновременности воздействия указанных источников тепла.

Расчетные данные для 100-т дуговой печи с трансформатором мощностью 63 МВА, работающей по традиционной технологии, приведены на рисунке 2.

Расчетная зависимость потерь тепла панели свода от межтрубного интервала приведена на рисунке 3. Она свидетельствует о наличии

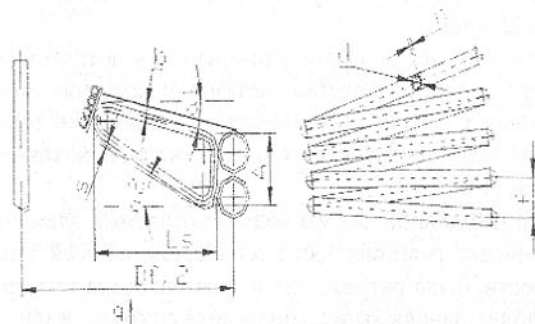


Рис. 1. Форма теплоотводящего элемента водоохлаждаемой панели свода печи

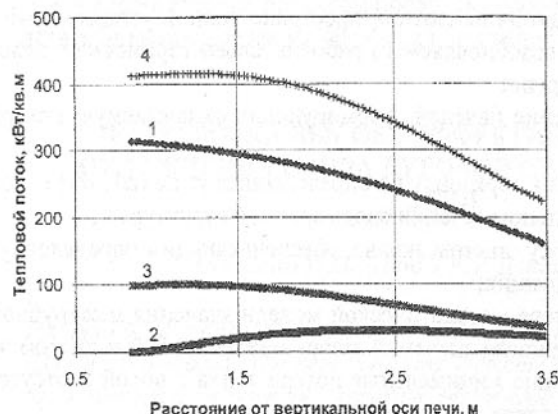


Рис. 2. Распределение теплового потока, падающего на свод 100-т дуговой печи (1 – от ванны, 2 – от дуг, 3 – от электродов, 4 – общий)

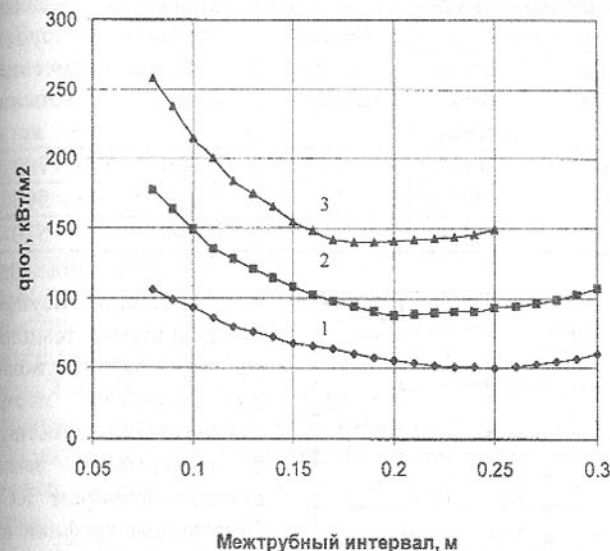


Рис. 3. Потери тепла в зависимости от межтрубного интервала для падающего теплового потока q , кВт/м²: 1 – 300; 2 – 400; 3 – 500.



Рис. 4. Температура экрана свода в зависимости от межтрубного интервала для падающего теплового потока q , кВт/м²: 1 – 300; 2 – 400; 3 – 500.

оптимального значения f . Однако, по условиям эксплуатации свода, его конструктивное значение ограничивается величиной, при которой температура листа экрана достигает 200°C (рис. 4).

В 1999г. на двух 100-т дуговых печах Донецкого металлургического завода происходила замена работавших с 1989-1990гг. сводов базовой модификации ($f=120$ мм) новыми сводами, в одном из которых $f=160$ мм, в другом $f=190$ мм. Основные размеры панелей сводов указанных модификаций, изготовленных из стальных труб диаметром 76 мм с толщиной стенки 12 мм, приведены в таблице. Таблица - Основные параметры панелей свода 100-тонной дуговой печи

Модификация свода	Межтрубный интервал, мм		Общее число панелей	Длина трубы змеевика панели, м	Масса трубы змеевика панели, кг
	периферия панели	Средняя часть панели			
1	120	90	11	37,3	702
2	160	110	11	31,4	590
3	190	125	11	28,2	530

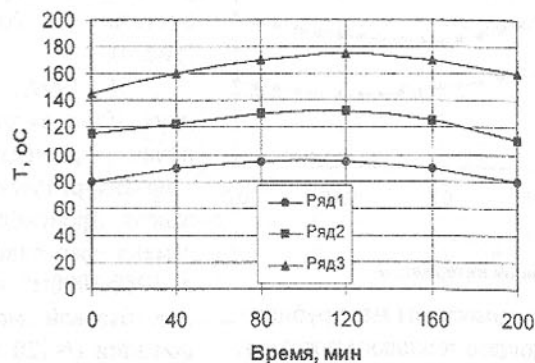


Рис. 5. Изменение температуры (T) листа экрана в течение плавки в средней части панели свода модификаций 1-3 (по тексту).

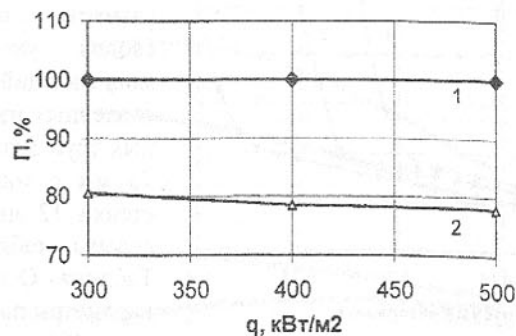


Рис. 6. Потери тепла (P , %) в панелях новых модификаций (2) относительно базовой модификации (1) в зависимости от тепловой нагрузки (q).

В ходе промышленных испытаний осуществлялся контроль температуры листа экрана свода по ходу плавки хромель-алюмелевыми термопарами с непрерывной записью сигнала прибором КСП-4. Полученные графики изменения температуры листа приведены на рисунке 5.

Применение новых модификаций свода, согласно расчетам (рисунок 6), позволяет уменьшить потери тепла с охлаждающей водой на 20-25%, а также значительно снизить металлоемкость свода (данные таблицы).

Анализ результатов применения предложенной конструкции элементов охлаждения печного свода с различными зазорами между трубами змеевика показал, что при увеличении зазоров в средней части панели от 90 мм до 125 мм и на периферии свода от 120 мм до 190 мм максимальная температура

листа в средней части панели возрастает от 100-120°C до 150-180°C, не превышая при этом допустимого верхнего предела.

Снижению потерь тепла и термомеханических напряжений в водоохлаждаемых элементах способствует наличие на их поверхности слоя гарнисажа. Условия его формирования и удержания для стен и свода печи сильно отличаются. Поскольку свод в процессе плавки подвержен более резким перепадам температуры, а во время завалки шихты охлаждается быстрее, чем стены, толщина слоя гарнисажа на его поверхности будет меньше. Результаты контроля состояния поверхности стен и свода печи, проводившегося в ходе промышленных испытаний предложенных панелей, свидетельствуют о том, что увеличение зазоров между трубами в элементах охлаждения приводит к увеличению массы гарнисажа, накапливающегося на поверхности панели. Благодаря улучшению условий для накопления и удержания гарнисажа его масса при зазорах между трубами 190 мм составляет, по расчетам, 2-3 т. Аккумулируемое гарнисажем тепло полезно используется при нагревании шихты каждой последующей плавки, что улучшает в целом режим работы печи.

Во избежание перегрева листа экрана в начале эксплуатации свода водоохлаждаемые панели торкретируют огнеупорной массой. После образования слоя гарнисажа необходимость в торкретировании отпадает.

Таким образом, предлагаемая конструкция водоохлаждаемого свода дуговой сталеплавильной печи позволяет снизить потери энергии, связанные с уносом тепла охлаждающей водой, уменьшить металлоемкость свода, а также улучшить режим работы печи.

Список литературы: 1. Тищенко П.И. Повышение эффективности выплавки стали в дуговых печах с усовершенствованной системой охлаждения. Дисс. ... канд. техн. наук. — Донецк, 1988. — 211 с. 2. Тищенко П.И. Разработка новой концепции водоохлаждаемого свода дуговой сталеплавильной печи с системой распределенного газоотсоса с целью снижения потерь энергии и материалов // Сб. научн. трудов ДонГТУ. Металлургия. — Вып.1. - Донецк, ДонГТУ, 1999. — С. 80-85. 3. Тищенко П.И., Тимошенко С.Н., Зуйкова З.Г. Водоохлаждаемые элементы дуговых печей машиностроения // Сб. научн. трудов конференции "Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века". - Севастополь, 1999. - С. 101-103. 4. Тищенко П.И., Тимошенко С.Н., Зуйкова З.Г., Пчелкин В.Н. Расчет тепловых потоков в рабочем пространстве дуговой печи для проектирования экономичных водоохлаждаемых элементов. // Тезисы докл. конф. по теории и практике металлургического производства, посвященной 100-летию со дня рождения проф. Казанцева И.Г. - Мариуполь, ПГТУ, 1999. С.20.

УСТАНОВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Чичикало Н.И., (ДонГТУ, г. Донецк, Украина)

The technological level of the equipment in many respects depends not only on design achievement, but also from a degree of automation of projected objects. In clause the results of development of mechanisms of interaction both for already existing, and for the again created equipment allowing to define their loaded condition in real conditions operation are given.

Оборудование, нагруженное состояние которого не может быть определено напряжениями и деформациями в пределах компетенции закона Гука ввиду значительных пределов их изменений, относится к классу напряженно - деформированных объектов [1,2]. Примером могут быть, различного рода накопительные и дозирующие ёмкости, секции механизированной крепи, находящиеся во взаимодействии с рабочей средой. Определение параметров и характера распределения сил, действующих в процессе работы этих объектов, - сложная задача. Для её решения следует принять во внимание ряд факторов, оказывающих влияние на процесс измерений. Например, приспособленность объекта к автоматизации, местоположение центра масс относительно оси симметрии, конструктивные и технологические особенности и возможность их учёта, и целый ряд других.

С одной стороны, интенсивно внедряющиеся средства вычислительной техники и пакеты прикладных программ открывают большие возможности для качественно нового подхода к решению проблем обеспечения заданных требований разрабатываемых информационно - измерительных систем для автоматизированных объектов. Для достижения цели проектируемого объекта помимо таких неоспоримо важных функций, как сбор и отображение информации, управление процессом измерений, обеспечение заданной точности и требуемого быстродействия, документирование, возникает необходимость выработки информации для принятия решений, определения уставок взаимной адаптации параметров объекта и системы, анализа текущего состояния объектов или ситуаций с корректной корректировкой контролируемого процесса в допустимых пределах.

Становятся возможными также такие выполняемые автоматизированные функции, как учет индивидуальных характеристик объекта, состояния его исполнительных и регулирующих органов, адаптивное управление, экспертный и интеллектуальный анализ ситуаций, метрологическая

проверка, контроль исправности технических устройств, повышение комфортности обслуживания, экономия энергетических и технических ресурсов и др. При этом основой применения используемых вычислительных средств в системах измерения, контроля и управления является достижение оптимальности взаимодействия функциональных, информационных и управляющих процедур на этапах накопления и обработки информации, использования базовых данных и знаний, оценки нагруженного состояния и выработки управляющих воздействий в реальных условиях.

С другой стороны, решение вопросов оптимального взаимодействия возможно на основе достижения конструктивно - функционального единства измерительных средств и объекта, когда чувствительные элементы встраивают в конструкцию объекта так, что они представляют единое целое с ним и функционируют совместно по единому закону. При этом сводятся до минимума погрешности, обусловленные условиями применения измерительных средств.

Сложность решения этого вопроса зависит от степени конструктивной готовности объекта и степени подготовки идентификаторов для определения нагруженного состояния в процессе функционирования. Конструкция объектов вновь проектируемых может предусматривать способ установки и быть приспособленной к выбранному принципу действия предполагаемых к использованию измерительных технических средств. Если эти вопросы согласованы на стадии разработки объектов, успех определения нагруженного состояния объектов с большей вероятностью будет обеспечен. Для уже существующих объектов контроля эта задача может быть решена с более значительными экономическими потерями. Разработанный и научно обоснованный способ съёма информации позволяет создать механизм оптимального взаимодействия объекта и системы. Основу этого механизма составляют конструкторская и математическая подготовка для оценки процесса взаимодействия. Рассмотрим некоторые варианты решения поставленной задачи.

Одной из задач проблемного характера является создание рецептурных станций для приготовления высокооднородных смесей. Основные единицы оборудования включают дозаторы сыпучих и жидких компонентов и смесители, а технологическими функциями этих объектов являются: регулирование соотношений и смешивание дозируемых компонентов.

Известная совокупность признаков аналогичных объектов, например, в устройстве месильной машины ШТ-1 м, [3] не позволяет достигнуть требуемых технических результатов, а именно получить однородную смесь сыпучих и жидких компонентов со стабильным химическим составом с погрешностью отработки доз не хуже 3% и интенсивное ее перемешивание по следующим причинам:

- одновременная подача сыпучих и жидких компонентов в смеситель, к тому же жидких компонентов в не распыленном виде, из-за образования комков и частичной смачиваемости сыпучих компонентов приводит к снижению однородности смеси и интенсивности ее перемешивания и, как следствие, к снижению стабильности ее химического состава;

- недостаточная однородность приготовляемой смеси вносит дополнительную погрешность в определение ее химического состава при анализе проб, взятых случайно в различных точках объема, занимаемого смесью;

- предусмотренное объемное дозирование компонентов не позволяет эффективно регулировать соотношение между ними, так как в период между взятием проб плотность компонентов может неоднократно изменяться.

- недостаточно интенсивное перемешивание, так как сыпучие и жидкие компоненты в не распыленном виде одновременно подаются в предкамеру, где вследствие неравномерности смачивания сухих компонентов образуются комки, затрудняющие перемешивание и снижающие его эффективность.

С целью усовершенствования процесса для приготовления смеси сыпучих и жидких компонентов, изменены технологические и конструктивные параметры и введены новые элементы, благодаря которым обеспечивается предварительное смешивание сыпучих компонентов и перевод их во взвешенное состояние путем интенсивного перемешивания с распыленными жидкими компонентами, а регулирование соотношений между ними осуществляют путем весового дозирования, что повышает однородность приготовляемой смеси, стабильность ее химического состава и интенсивность перемешивания.

В рецептурной станции для приготовления смеси сыпучих и жидких компонентов, одновременно с регулированием соотношения и смешиванием дозируемых компонентов, вначале дозируют и смешивают сыпучие компоненты, после чего смесь переводят во взвешенное состояние и одновременно распыляют в нее жидкие компоненты, причем дозирование осуществляют путем взвешивания компонентов.

Рецептурная станция для приготовления смеси сыпучих и жидких компонентов, состоящая из бункеров с дозирующими устройствами и смесителя, содержащего предкамеру, камеру и расположенные вдоль их продольных осей роторы со шнеками и поворотными лопатками, дополнительно снабжена аналоговыми взвешивающими механизмами, на которых размещены бункеры, а дозирующее устройство жидких компонентов соединено посредством распылительного устройства с камерой.

Использование в рецептурной станции аналогового взвешивающего механизма, обеспечивающего высокую точность взвешивания, в совокупности с другими признаками повышает однородность приготовляемой смеси, стабильность ее химического состава и интенсивность перемешивания.

Работа рецептурной станции для приготовления смеси сыпучих и жидких компонентов, происходит следующим образом.

Сыпучие и жидкие компоненты с помощью питателей загружаются в дозаторы, закрепленные на опорах. Взвешивающие механизмы с помощью бесконтактных датчиков определяют массу загруженных продуктов и передают соответствующие сигналы в автоматизированную систему управления работой станции. По сигналу последовательно включаются приводы запорно - дозирующих устройств и начинается выгрузка с заданной скоростью сыпучих компонентов в предкамеру, которые перемещаются шнеком, закрепленном на роторе, вращающимся приводом, вдоль предкамеры и предварительно перемешиваются. После чего смесь через патрубок попадает в камеру, где лопатками интенсивно перемешивается и переводится во взвешенное состояние. Сюда же из бункера через распылитель подаются жидкие компоненты, которые равномерно перемешиваются с сыпучими компонентами, образуя однородную смесь.

Работа дозирующих устройств и питателей управляется посредством взвешивающих механизмов, что обеспечивает точное весовое дозирование компонентов.

Рецептурная станция таким образом выполняет следующую последовательность операций. Компоненты загружаются в бункеры, взвешиваются, предварительно определяется и регулируется скорость вращения приводов бункеров, пропорционально содержанию компонентов в смеси. После этого включают приводы дозаторов сыпучих компонентов, т.е. сахарной пудры, ореха и добавок.

Предварительно перемешанные в дозаторе - смесителе сыпучие компоненты выгружаются в дозатор добавок, а затем последовательно дозаторами сахарной пудры и добавок подаются в предкамеру. После чего включают дозатор жидких компонентов и кондитерский жир распыляется на сыпучие компоненты, которые к этому времени были приведены лопатками ротора камеры во взвешенное состояние.

При движении смеси вдоль камеры к выходному отверстию смесь сыпучих и жидких компонентов интенсивно перемешивается. В результате получается однородная пралиновая смесь со стабильным соотношением компонентов, с точностью до 0,3%.

Для контроля массы в процессе дозирования и определения состояния дозаторов структурная схема аналогового взвешивающего механизма включает следующий набор базовых элементов (рис.1).

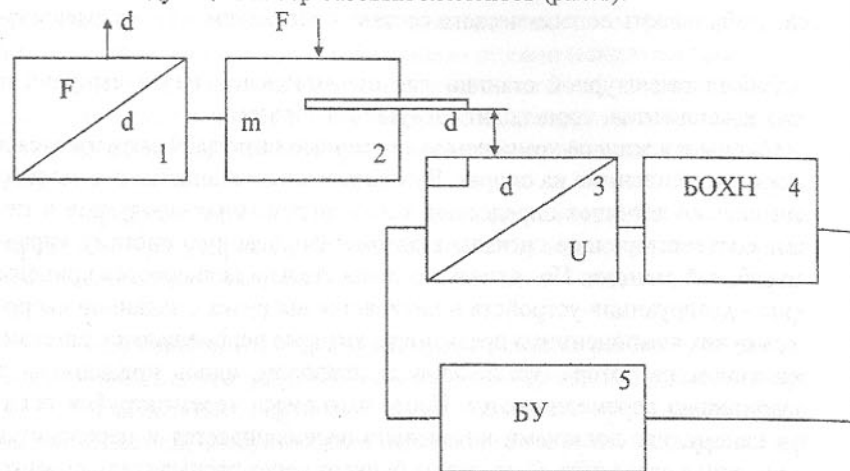


Рис. 1 Структурная схема базовых элементов механизма взаимодействия дозирующих объектов с информационно - измерительной системой

- 1 - уравнивающий механический преобразователь;
- 2 - дозатор;
- 3 - бесконтактный преобразователь пропорционального массе перемещения в аналоговый сигнал;
- 4 - блок определения характеристик настройки;
- 5 - блок уставок;

С помощью бесконтактного датчика пропорциональное массе перемещение в контролируемой емкости преобразуется в аналоговый сигнал.

На базе такого механизма взаимодействия реализована конструкция и ИИС автоматизированной установки для дозирования и перемешивания компонентов пралиновых масс типа АДС (автоматизированный дозатор - смеситель).

Датчики преобразуют значения контролируемой массы компонентов в дозаторах в напряжение переменного тока, которое далее в блоке обработки и настройки БОХН (выполненном на базе ПЭВМ) преобразуется в постоянное напряжение и передается далее в блок аналого-цифрового преобразователя АЦП и на схему блока адаптивной настройки уставок (БУ), где сравниваются с сигналами, поступающими от ПЭВМ в зависимости от параметров доз обрабатываемого одного из 60-ти видов изделия.

На примере шахтной механизированной крепи рассмотрим механизм оценки взаимодействия кровли с консолью секции крепи.

Непосредственной задачей является выявление способа аппаратурной оценки представительных состояний кровли и возможности их оценки в процессе взаимодействия машин и механизмов комплекса с вмещающими породами. Для решения этой задачи необходима информационно - измерительная аппаратура, которая должна обеспечить: избирательный контроль состояния кровли в зависимости от нагруженного состояния консольной части секций, возможность встраивания чувствительных элементов датчиков в заданные места для крепей различных модификаций; получение информации в процессе взаимодействия механизмов крепи с вмещающими породами.

К вопросам идентификации механизма взаимодействия консольной части секции крепи с информационно - измерительной системой поставлены следующие требования: выбор способа установки датчиков, определение динамического диапазона их выходных характеристик, соответствия их характеру контакта консоли с кровлей, что обуславливает её напряженно - деформированное состояние, определение вида выходного сигнала измерительного устройства, не усложняющего реализацию системы.

Задача выявления возможности идентификации сигналов от датчиков в соответствии с идентификаторами основных представительных состояний кровли, сводится к определению характера контакта системы "кровля - консоль - перекрытие", то есть установление уровней выходных сигналов, соответствующих значениям «0», «1» и «2».

Окончательным этапом будет разработка математической модели для принятия решений, обеспечивающая связь информационно - измерительной системы с системой управления объектом.

Используемый для этих целей разработанный искробезопасный комплект аппаратуры состоит из источника питания и трех датчиков нагрузки.

Для использования комплекта в шахтных условиях чувствительные элементы датчиков встроены между гидропатроном предварительного поджатия и верхней консольной частью перекрытия. Ниже показаны способы встраивания чувствительных элементов датчиков на секциях крепей типа КМ - 87 и КМ-103. Для восприятия усилий кровли через консольную часть и обеспечения силовведения используются приводные элементы, повторяющие форму штока гидропатрона (рис. 2, рис.3.).

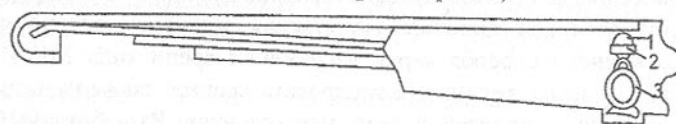


Рис. 2. Механизм взаимодействия датчиков с гидропатроном механизированных крепей, 1, 3 - гидропатрон, 2 - встроенный датчик нагрузки

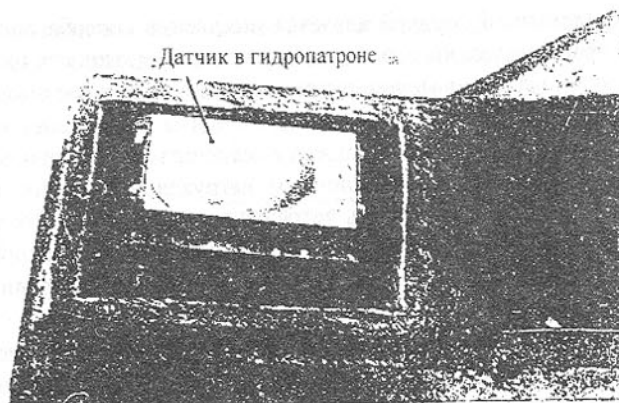


Рис. 3. Пример установки датчика нагрузки под гидропатрон крепи КМ-103

Для механизированных крепей рессорного типа - в месте стыковки среднего пакета рессор с основным перекрытием (рис. 4.).

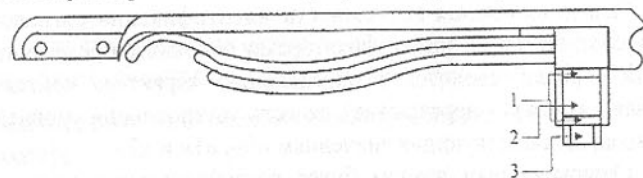


Рис. 4. Характер встраивания чувствительных элементов датчиков для механизированных крепей рессорного типа. 1 - приводные элементы; 2 - встроенный в подрессоренную часть датчик нагрузки; 3 - элементы конструкции для предварительного поджатия датчика

Как в первом (с помощью гидропатрона), так и во втором случае (с помощью элементов конструкции) обеспечивается предварительное поджатие чувствительного элемента датчика с целью вывода его характеристики на линейный участок и увеличения быстродействия за счет уменьшения податливости в упругих механических силовых передающих узлах. С учетом предварительного поджатия датчик начинает работать с 8 т, при этом используется линейный участок характеристики. Результаты исследований показали, что в пределах ожидаемых значений нагрузки характеристика датчиков линейна. Полученная экспериментально с помощью предложенного способа карта нагружений крепи типа МК - 87 (рис. 5.) полностью позволяет идентифицировать процесс взаимодействия консоли секции крепи с кровлей в реальных условиях. Разработанный механизм взаимодействия обеспечивает контроль нагруженного состояния секций в зависимости от контакта пород кровли с перекрытием шахтных условиях,

что даёт возможность реализации информационно - измерительной системы, выполняющей функции горного мастера и тем самым повышение техники безопасности.

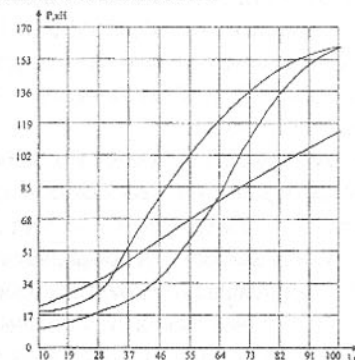


Рис. 5. Карта нагружения консоли

тано и внедрено оборудование установки для приготовления пралиновых масс с точностью дозирования 0,3 % и внедрены информационно измерительные системы контроля массы компонентов на предприятиях пищевой и угольной промышленности.

Список литературы: 1.Зборщик М.П., Чичикало Н.И.. Основы теории определения состояния добычных объектов в процессе их функционирования, - Донецк: РИА ДонГТУ, 1998. - 117 с. 2. Чичикало Н.И.. Структурно-алгоритмические принципы построения ИИС напряжённо - деформированных объектов, - Донецк: РИА ДонГТУ, 1998. - 178 с. 3. Драгилев А.И. Оборудование для производства мучных кондитерских изделий, - М.: ВО Агропромиздат, 1989. - 161 с.

РИСК АВАРИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ

Котельников В.С. (ГТТН России), Короткий А.А., Симонов Д.Н. (НГТУ, г. Новочеркасск, Россия), Микушевич Ф.Э., Шишков Н.А. (РосЭК, г. Москва, Россия), Панасенко Н.Н., Шестакова И.А., Синельщиков А.В., Синельщикова Л.С., Желякова Н.Ю., Хахов А.А., Веселев В.Н. (АГТУ, г. Астрахань, Россия), Юзиков В.П. (АИСИ, г. Астрахань, Россия).

The authors developed the project of the managing document. The methodical instructions by valuation of cranes failures risk. In the project the various techniques of the risk analysis are offered and the concept acceptable (allow-

В соответствии с Федеральным законом России «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (от 30.07.1997) и Европейским стандартом prEN1050 [1] по согласованию с Госгортехнадзором РФ разработан проект руководящего документа (РД) «Методические указания по оценке риска аварий грузоподъемных кранов» [2].

В РД грузоподъемный кран (далее кран) рассматривается как техническое устройство, приравненное к опасному производственному объекту, а риск (опасность) понимается как сочетание вероятности и последствий ущерба аварий кранов. Поскольку РД призван выполнять профилактическую роль, введено понятие приемлемого (минимального) риска, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений, а его величина настолько незначительна, что ради выгоды, полученной от эксплуатации крана, общество готово пойти на этот риск. Отсюда следует, что установление уровня опасности крана осуществляется в результате проведения риск-анализа как процесса идентификации опасностей дедуктивным или индуктивным методами. Дедуктивный метод предполагает конечный результат (аварию), а затем определяют ситуации, ведущие к нему (дерево отказов). Индуктивный метод предполагает анализ дефектов элементов крана как системы, а затем идентифицируются ситуации, к которым эти дефекты могут привести.

Детализация, выбор метода и уровень качества риск-анализа зависят от класса безопасности крана: 1 класс - чрезвычайная опасность для общества (практически недопустимая) последствий аварии крана и связанной с ним среды обитания, недопустимость повреждения транспортируемого опасного груза и большие социальные последствия; 2 - опасность от аварии крана для жизни людей и (или) существенные социально-экономические последствия; 3 - опасность от аварии крана для жизни обслуживающего персонала, ограниченные социально-экономические последствия; 4 - опасность от аварии крана для жизни обслуживающего персонала, ограниченные экономические последствия. Очевидно, к 1 классу относятся краны АЭС, транспортирующие ОЯТ или неуправляемое перемещение груза может привести к радиационной аварии. Ко 2 классу - краны, транспортирующие опасные грузы (свежее ядерное топливо и др.). К 3 и 4 классам - краны специального и общего назначения, где к последним предъявляются требования Правил ПБ 10-14-92 [3]. Укажем, что предложенная классификация не противоречит классам безопасности, применяемым в отечественной (ОГТБ-97 [4]) и зарубежной практике [5].

Оценка риска, в зависимости от целей поставленной задачи, может носить как качественный, так и количественный характер. В случае каче-

ственного анализа результаты оценки представляются в виде текста, таблиц и др.; количественная оценка риска базируется на методах вероятностного анализа безопасности (ВАБ) [6]. Выбор метода системного анализа риска учитывает этапы разработки системы, цели, критерии приемлемого риска, тип анализируемой системы и характер опасности, наличие ресурсов и необходимой информации для проведения анализа, а также опыт и квалификацию специалистов-исполнителей. При выборе метода риск-анализа учитывается, что он должен быть научно обоснован, соответствовать рассматриваемой системе, давать результаты в виде, позволяющем однозначно понимать характер риска и пути его снижения и должен быть повторяемым и проверяемым. Условие риска Q аварии крана $Q \geq [Q]$ (1), где приемлемый риск $[Q]$ принимается в зависимости от класса безопасности крана (табл.1).

Таблица 1. Значения приемлемого риска в зависимости от класса безопасности крана

Класс безопасности крана	Приемлемый риск аварии	
	Крана в целом (1/год)	Системы подъема крана (1/год)
1	10^{-5}	10^{-6}
2	10^{-4}	10^{-5}
3	10^{-4}	10^{-4}
4	10^{-3}	10^{-4}

Аналитические методы проведения риск-анализа кранов предусматривают изучение матожиданий m_S и m_R несущей способности S и расчетных сопротивлений R несущих структур металлоконструкций (м/к) и механизмов кранов и их среднеквадратичные отклонения σ_S и σ_R и коэффициенты вариации ω_S и ω_R . Тогда методы риск-анализа могут быть разделены на три группы. В соответствии с первой группой нарушение безопасности (1) принимает вид $m_R \leq K_s m_S$ (2), где K_s , вероятно выражается через: а) резерв прочности; б) превышение напряжений выбросов процесса нагружения над пределом текучести; в) дифференцированном представлении качества материалов и нагружения. В отличие от (2), вытекающего из метода допускаемых напряжений, условие наступления предельного состояния (МПС) крана, переходящего в стадию разрушения с учетом трехсигменной аксиомы имеет вид $[S_{\max} = m_s + 3\sigma_s] \geq [R_{\min} = m_R + 3\sigma_R]$ (3). МПС следует известная модель «нагрузка - прочность» и её частный случай «интеграл - свертка».

ВАБ кранов, основанный на методе дерева отказов (ДО) [7] применяется при условии существования логической схемы и независимости отказов элементов и позволяет графически отразить причинные связи между

различными случайными событиями с учетом логики их взаимодействия. Вершины ДО представляют логические операции типа "и" и "или" (обозначающие, соответственно, произведение и сумму событий). Построение ДО крана начинается с конечного события, в качестве которого принимается его авария. На более низком уровне иерархии обозначаются события, которые вызывают конечное событие в соответствии с логической операцией, связывающей эти события. На самом нижнем уровне иерархии располагаются события отказов элементов (исходные события). При вычислении вероятности аварии крана, как системы с монотонной структурой, рекомендуется ограничиться определением таких комбинаций элементов, одновременный отказ которых приводит к вершине ДО - полному отказу системы (аварии). Этот метод получил название метода минимальных сечений (ММС).

Проект РД «Методические указания по оценке риска аварий грузоподъемных кранов», снабженный практическими примерами (в Приложениях) разослан на отзыв заинтересованным научным и производственным учреждениям.

Список литературы: 1. NASG/B Nr 6-95E Pr EN 1050 (NASG/GA O Nr 27-96E). Европейский стандарт. Безопасность машинного оборудования - Принципы оценки риска. - Брюссель, 1996. - 22с. 2. Методические указания по оценке риска аварий грузоподъемных кранов. - М.: Госгортехнадзор, 1999. - 99с. 3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов ПБ 10-14-92. - 235с. 4. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций (ОПБ-88) ПН АЭ Г-1-011-89/ Госатомэнергонадзор СССР. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 48с. 5. Шпете Г. Надежность несущих строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1994. - 288 с. 6. Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России РД 09-102-95. - 25с. 7. Панасенко Н.Н., Шестакова И.А. Вероятностный анализ безопасности транспортировки контейнеров с отработавшим ядерным топливом на АЭС с ВВЭР-1000. // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 1998. №1.-С.17-25.

HARDENABILITY IN NEW HIGH WEAR RESISTANT MULTICOMPONENT STEELS AND CAST IRONS

Kolev B.V. (Institute of Metalscience-BAS, Sofia, Bulgaria)

Hardenability is an important requirement particularly for thick wall castings

operating under abrasive, hydraulic abrasive, impact abrasive and corrosion mechanic wear. On the basis of the author's methods, equipment and installation for hardenability testing of high hardening alloys the experimental results obtained comprise a wide range of wear resistant complex alloyed alloys of the Fe-Cr-C(N) system summarized in several generalized graphical dependencies. The researches have been granted a patent RB Claim RB49451.

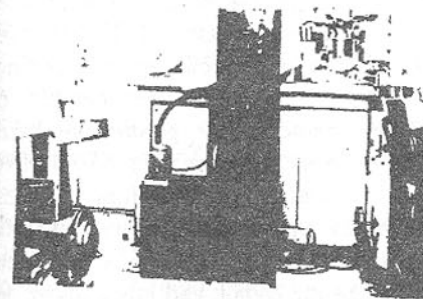


Fig. 1. Installation for hardenability testing. General view.

1. Introduction

Hardenability is a quite important requirement for castings, particularly thick walled, operating in conditions of various types of abrasion wear, because possessing good hardenability a large part of the components remain fit for work after wearing of up to 40 - 80 cm depth. In the development of alloys of optimum wear resistance and impact strength the aim is production of structures having high HRC:

martensite or martensite-austenite (with unstable austenite). Proceeding of [1-4] it is found that the most suitable medium for cooling high alloyed white wear resistant cast irons, particularly those designed for thick wall castings, is air. As the acceptable cooling rate (V) for most of the components cast of these alloys is limited by the slow cooling in air carrying out the cooling process is possible only at high hardenability of the alloys [5-6]. In air cooling of castings of wear resistant cast irons the difference in cooling V in the center of the casting and on its surface in the temperature range of eutectoid dissociation ($700-550^{\circ}\text{C}$) is practically absent. This has been found also by own observations. Connective heat exchange is limited not by metal heat conductivity but by the conditions of heat transfer at the casting surface [5-6]. Plane casting should be hardened along the whole length if cooling V is higher than the critical quenching V . Therefore, for air cooled wear resistant cast irons the concepts quenching and hardening ability coincide but they are considerably different from the concept «hardenability» concerning common carbon or alloyed steels that are quenched in water or oil [4-8]. The structure and HRC at the surface and in the center of the casting of such alloys could be quite different because the cooling V during quenching in oil or water strongly decrease from the surface to the center, Fig. 2.

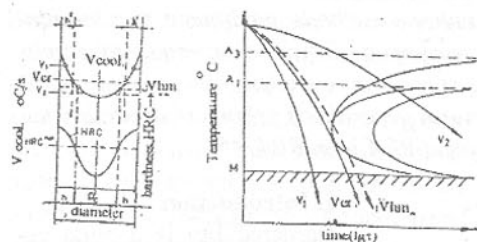


Fig. 2. Cooling rate in different points of cylindrical part cross-section in the diagram of isothermal transformation [5]. Suggested scheme of N [1, 2].

can be accepted. For laboratory and pre-industrial tests the optimum is 58-60 HRC. According to published data cast iron containing 10-15% Cr has a not high hardenability, up to 20-40 mm [9]. Unlike the carbon and low alloyed deformed steels the published data about hardenability of high hardened cast alloys (steels and cast irons) are quite scarce [1-9]. Hardenability is very sensitive. It is affected by a set of factors comprising the type of melt metallurgical treatment, pouring, crystallization, heat treatment, deformation, etc. [5-9]. The search for methods and means of hardenability testing and its improvement is quite pressing concerning wear resistant cast alloys of the Fe-Cr-C-(N) system. The critical analysis of the published data show that the main ways to improve hardenability are reduced to: complex alloying of the alloy by elements that are highly carbide and nitride forming (Cr, Mo, B, etc.) and by dosed quantities of elements that expand the γ area (Ni, Cu, Mn, etc.) [1-9]. A powerful mean is the usage of homogenization (quenching) $T^{\circ}\text{C}$ [1-4]. There are no published data about hardenability of cast wear resistant complex alloyed alloys of the Fe-Cr-C-N system as well as data about nitrogen effect on their hardenability.

The available methods do not allow exact modeling of hardenability test [5-6, 10-19]. Breaking castings or cutting specimens of them is quite labor consuming, uneconomical. Sometimes tens of tons or kilograms finished castings are destroyed, as it is the case with the various methods of volume quenching. These methods are of low sensitivity and inapplicable to high alloyed alloys [6, 11-14]. Difficult to perform are also the methods based on diagrams of austenite transformation [11, 15]; calculation methods are connected with a number of assumptions resulting in errors [16], as well as the available methods of modeling [6, 11, 17]. The electro-magnetic methods have not yet come out of the laboratories [18, 19]. The problems related to treating high carbon cast alloys of Fe-Cr-C system by cutting tools are not yet satisfactory solved. This creates difficulties in a number of the methods mentioned [10]. The most widely spread methods of

Proceeding from the above said, in the present paper under «hardenability» it is understood the ability of wear resistant cast alloys (cast irons) to harden as well as their property to possess similar structures of the metal base and HRC all over the cross-section of the casting. For a quantitative measure of hardenability production hardness not lower than 55-60 HRC referred to the casting thickness

Gomini-Goudtzov, Somin B. E., Nemchinsky A. L. [5-6, 11] intended for head hardening are not suitable as they permit cooling also the specimen side walls as well as its opposite end [5, 10]. These methods give comparative characteristics for the hardenability and are not suitable for the high chromium complex alloyed cast alloys. The N. E. Pavaras' method based on the heat modeling [6] is also not suitable as the two opposite ends of the specimen are cooled. Moreover, the actual cooling conditions in the casting can not be modeled with asbestos and other fillers.

Proceeding from the similarity between C and N [20-21], from the fact that both are austenite forming, replacing some expensive and deficient elements such as Ni, Cu, Mn which improve hardenability and that N like C decreases the critical points while C improves hardenability in under eutectoid steels (till 0,8-1% C) we can assume the suggestion for favorable effect of the cheap and available N on the hardenability. As a result its effect would be added to the effects of other alloying elements and in this way could reveal possibilities for the production of new high hardening complex alloyed wear resistant alloys. That would affect not only wear resistance but also would result in considerable savings of material, labor and energy due to providing conditions for lighter parts.

Therefore, on the basis of the above said a task has been set to develop method and apparatus for hardenability test of complex alloyed cast alloys of the Fe-Cr-C system, Fe-Cr-C-N respectively, to present a part of the summarized results accumulated till now for tests of some standard alloys, to answer the question concerning N influence on the hardenability and to specify some alloys suitable for casting completely hardening thick wall wear resistant castings.

2. Development of method and installation for hardenability testing of complex alloyed cast alloys of the Fe-Cr-C, Fe-Cr-C-N system

Proceeding from the critical analysis of the above said methods an attempt is made for precise modeling of the hardenability test in laboratory conditions. Checks in practice in production conditions are also carried out. As a basis Goudtzov's method improved by new elements providing in addition the heat modeling of thick wall casting and its cooling in the quenching process is used. For the purpose an apparatuses-installation for hardenability testing is manufactured, Fig. 1. This quite improved apparatus in comparison to the available ones can operate as a «combine». It allows testing both of low hardening alloys by Goudtzov-Jomini method, standard specimens using cooling media of high cooling V, water, oil, etc. and of medium or high hardening complex alloyed ones, by the method of heat modeling. Besides water and oil compressed air under pressure, other gases and liquids as well as mixtures, «air-water», «air-oil», «air-liquids» can be forced through the nozzle. After testing many new variants and improvement of previous ones we have reached to the variant of steel insert

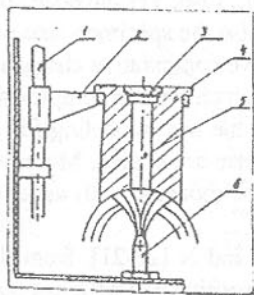


Fig. 3. Device for modeling various cooling rates. Schematic diagram. 1. Vertical axis of Fig. 1; 2. Arm with circular ring; 3. Heat insulating cap; 4. Modeling metal insert; 5. Test specimen; 6. Nozzle.

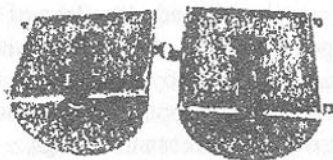


Fig. 4. Device with test specimen for hardenability testing in air. General view ($\varnothing 185$, $l=285$).

of Cr12 or other alloy close to that of the tested specimen. These inserts serve to protect the side surfaces of the specimen body from the effect of the cooling medium, i.e. to provide cooling V close to that in the actual casting, Fig. 2. Inserts are worked out for specimen bodies of $\varnothing 25$, $l=100$ mm and $\varnothing 25$, $l=200$ mm in compliance with GOST 5657-69. As the experiment showed that the specimen bodies of $l=100$ mm hardened along the whole length we had to turn to manufacturing specimen bodies of $l=200$ mm which are not met in publications and standards. After heating the insert together with the tested specimen in a shaft furnace the facility is hooked on the metal circle of the installation, Fig. 1, 2. This circle together with the insert and specimen moves up and down in order that the most suitable distance from the cooling nozzle and formation of an umbrella of cooling liquid is specified. For the purpose, after many experiments, we had to manufacture an arc like insert with the specimen. The latter has a straight head in compliance with the standard [10].

With the purpose to create good heat insulation for air quenching in quiet (compressed) air and ensuring not low

cooling V , modeling the actual process in thick wall casting, we have developed facilities with casing of heat resistant steel Cr25Ti filled with asbestos, Fig. 4. Such facilities were produced for specimens of $l=100$ mm of the following dimensions $\varnothing 92$, $l=125$ mm, $\varnothing 130$, $l=142$, $\varnothing 170$, $l=165$ mm. For the specimen of $l=200$ mm of dimensions: $\varnothing 185$, $l=285$ mm (experiments carried out), $\varnothing 316$, $l=366$ mm. With the collaboration of the department of «Plastic Deformation and Heat Treatment of Metals» at the University of Chemical Technologies and Metallurgy and students (undergraduates) a number of experiments have been carried out in order to verify the results obtained by the apparatus in Fig. 1, 2 in the Institute of Metal Science, Bulgarian Academy of Sciences. A device for hardenability testing with water as cooling medium has also been developed on

the basis of those in Fig. 2, 3. It is shown in Fig. 5. It consists of a hollow cylinder with outer and inner casings, the hollow between them being filled with foamed fire-clay bricks for good heat insulation of the specimen. The heated insert with the specimen (Fig. 2) is placed in the installation and covered by cap for still better insulation. Only one end surface is cooled in air. In all devices designed for heat protection and modeling of the actual cooling conditions of castings the tested specimen and the device are heated together in the furnace with the exclusion of the device in Fig. 5 where only the insert with the specimen are heated. By the above said method the hardenability and other properties of complex alloyed chromium alloys containing N and other elements are protected in compliance with patent RB49451.

Fig. 5. Cooling device for specimen of $l=200$ mm. 1. Casing; 2. Foam fireclay bricks; 3. Metal insert; 4. Test specimen; 5. Fixing cap; 6. Heat insulation cover.

3. Results of hardenability study for standard alloys.

The test have been carried out in the Institute of Metal Science, Bulgarian Academy of Sciences. Later on they have been verified in the University of Chemical Technologies and Metallurgy. The tests are carried out on specimens of $\varnothing 25$ mm and $l=100$ and 200 mm. The second size is produced after obtaining the results for the specimens of $l=100$ mm. The alloys are produced in an induction autoclave with base ramming of the crucible according to the method described in [1-4, 20, 21]. The melt is poured in dry sand molds in specimen bodies of $\varnothing 35$ mm, $l=250$ mm. After crystallization the annealing is carried out with the purpose to improve treatment by cutting tools and homogenization of the structure. The mechanical treatment of the specimens comprising machining, grinding, hardenability testing, grinding of two parallel planes to measure HRC in compliance with GOST [10]. HRC is measured every 2 mm. Experiments are carried out in the Institute of Metal Science for testing over 200 compositions, hardenability specimens respectively, in compliance with the patent RB9451. Tests are carried out by cooling media of oil and quiet air. Holding time at quenching $T^\circ\text{C}$ is defined by calculation including also the time of heating - 200 min. The inserts with the specimens are placed in the furnace at 600°C . The selected quenching $T^\circ\text{C}$ correspond or are

close to those of producing maximum HRC [1-4], 950°C and 1000°C. With undergraduates of the University of Chemical Technologies and Metallurgy tests are carried out for 24 compositions (heats) in total with different ratio of the components in percent by weight. Compositions of test specimens of $l=200$ mm, C=2-2,45%, Mn=0,4-0,86%; 2 specimens of Mn $\approx$ 2%, Si=0,4-0,66%, Cr=18-20,68%, Mo=1,3-1,6% and 0%, N=0,03-0,06 to 0,4-0,957%, S below 0,028%. Some heats (compositions) contain in addition Ni $\approx$ 0,6%, Cu=0,6-0,9%, V=0,5-1%. Fourteen specimens in all are tested from this series. The second series of 10 heats (compositions) were specimens of $l=100$ mm: C=1-1,32% (one heat 1,5%C), Si=0,2-0,6%, Mn=0,73-1,49%, Cr=4,0-22,78%, Mo=1,4-2,5% (one heat 3% Mo), N=0,0225-1,03%, S below 0,043%. In some heats additionally B=0,011-0,025% and Ni=0,52-0,58%. Quenching T°C of the experiments in the University of Chemical Technologies and Metallurgy - 950°C.

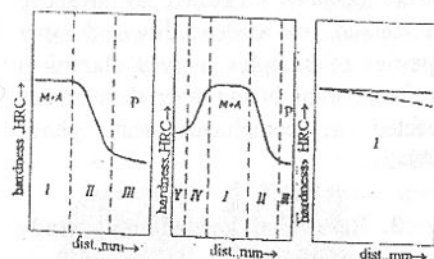


Fig. 6. Major type dependencies $HRC=f(l \text{ mm})$. A-austenite; M-martensite; P=products of austenite diffusion decomposition.

4. Analysis of the results

The investigations can be summarized for the effects of the chemical composition and quenching T°C. From practical point of view the ideal complex alloying providing high hardenability (wear resistance) is such a set of alloying elements that give maximum hardness (maximum martensite + maximum and hard carbides) at minimum cooling V at that, i.e. in possibly thicker cross-sections. In order to produce maximum hard martensite and stable and hard carbides quenching T°C has an important effect [1-4]. Taking into account the structural investigations [1, 2] and the studies of the mechanical characteristics [3, 4] it proves that for the individual cases of exploitation it is desirable to produce certain or dominating quantity of residual unstable austenite with no product of diffusion decomposition. This unstable austenite tends to transformation in martensite during exploitation and impact loading. This means regulation of quenching T°C up to values not much to the right from the maximum for HRC

[2, 3], regulation also of the elements that stabilize austenite and decrease the martensite point: Ni, Mn, Cu, C, N, etc., although these elements improve hardenability but to certain concentrations. Austenite is to be preferred to the

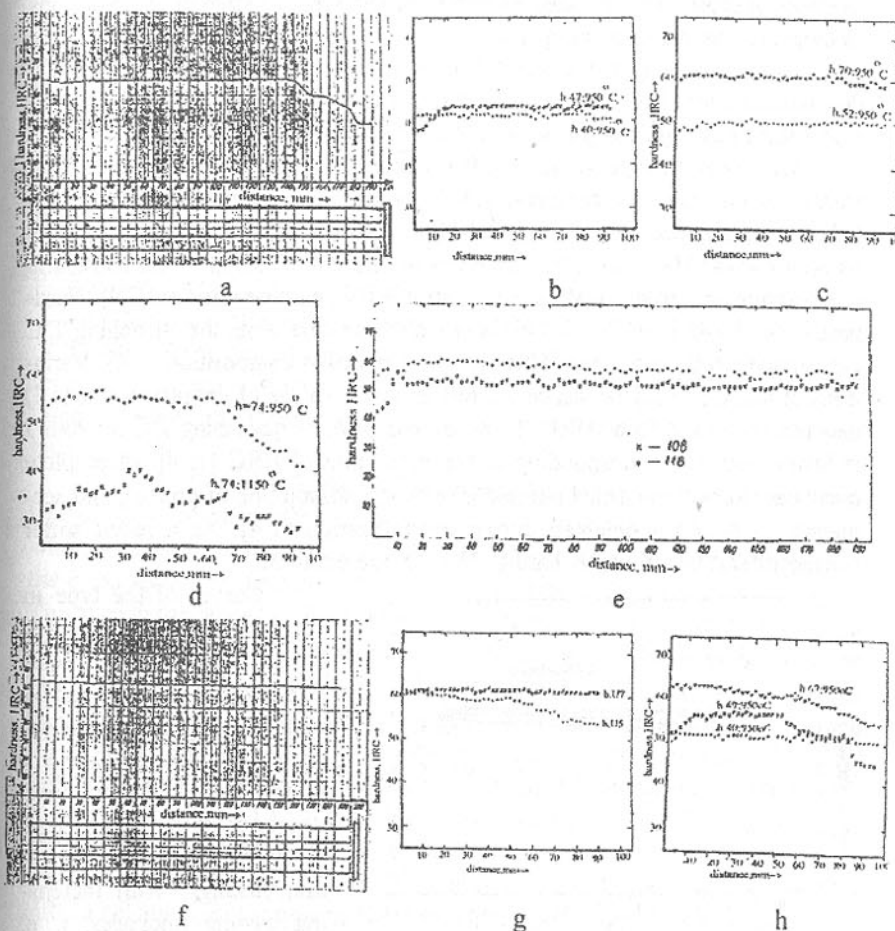


Fig. 7. Hardenability of some concrete alloys. $HRC=f(l \text{ mm})$. a) C230Cr18NMo (0,03%N), 950°C, air; b) heat 47, C120Cr20NMo (0,353%N) oil, heat 40, C100Cr13Mo3 (0,0225%N), oil; c) heat 52, C190Cr22Mo2Ni (0,0666%N), oil, heat 70, C380Cr20Mo3Ni (0,051% N), oil; d) heat 74, C400Cr23NMo (0,371%N), oil; e) heat 108, C300Cr20Ni2V (0,365%N), 950°C, 4 hours, air, heat 118, C200Cr20Ni2V (1,049%N) 950°C, 4 hours, air; f) heat 26 C110Cr28 (2,08%N), 1050°C oil; g) cast iron Cr14Mo2, Cr/C $\approx$ 4,9, 950°C oil, heat H5 - 0,025%N, heat H7-0,0382%N, 950°C, oil; h) Mo=3%; h.67-C380Cr17; h.49-C190Cr13; h.40-C100Cr13, N<0,06%.

products of its decomposition. Nitrogen as forming austenite replacing some other expensive and deficient austenite forming elements [1, 20, 21] is of interest because it would allow production of such a structure that would have high mechanical characteristics, wear resistance at good impact strength in conditions of dynamic and impact loading [1-4].

In summarizing the available processed experimental data of graphical dependencies for HRC change on the casting thickness length of the test specimens) three basic typical groups are obtained: Fig. 6-a, b, c.

Curves of the type in Fig. 6-a. It is observed in Cr and Cr-Mo alloys (cast irons) distinguished for comparatively high $T^{\circ}C$ of martensite transformation (Mn). High hardness in zone I - 58-65 HRC, zone II - insufficient poorer hardenability - 45-58 HRC, zone III - products of austenite decomposition consisting of a mixture of ferrite + carbides (C), nitrides (N), carbide-nitrides (CN). Hardness under 30-45 HRC [1, 2]. This is probably the case when the quenching $T^{\circ}C$ corresponds to the maximum HRC for the respective composition [1-4]. Variations of this type of dependence are met at lower values of the plateau (zone I) between 45-50 and 55-60 HRC. These are cases where quenching $T^{\circ}C$ for zone I is lower than that corresponding to the maximum of HRC [1, 4]. Incomplete $\alpha \leftrightarrow \gamma$ transformation carried out and insufficient dissolution of primary and secondary C, N, C+N obtained during crystallization [1-4]. As a result softer martensite and insufficiently hard C, N, C+N are obtained:

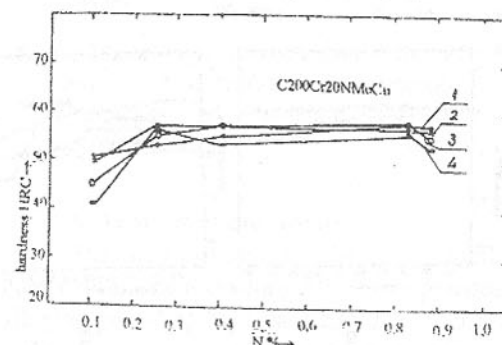


Fig. 8. $HRC=f(N\%)$. Test specimen $l=200$ mm, measurements at different distances from the head surface; 1. 0.6 mm; 2. 50 mm; 3. 100 mm; 4. 150 mm; C200Cr20NMnCu.

Curves of the type in Fig. 6-b. It is met in complex Cr alloyed cast alloys (cast irons) additionally alloyed by austenite forming elements: Ni, Mn, Cu, Mo, N. Low M_s . Zone I - mainly austenite structure (45-52 HRC). It is obtained also in quenching thin castings. With increasing casting thickness, i. e. with decreasing the cooling V the austenite quantity decreases while the martensite one increases. HRC also grows (zone IV) - 50-58 HRC. Zone I is reached -

maximum HRC (M + A). Therefore, the cooling V in zone V and IV is greater than the critical, in zone I corresponds to the critical and in the next zones II and III - much smaller than the critical, Fig. 2. The lower stability of the austenite in

zone I, compared to that in zones V and IV, is due to the fact that at cooling V corresponding to zone I a process of precipitation of secondary C, N, CN from the supersaturated solid solution occurs [1, 4]. As a result the austenite becomes poor in C, Cr and other elements absorbed by C, N, CN. The M_s point increases. There is no pearlite transformation. Further increase of the casting thickness, decrease of cooling V respectively, austenite stability proves to be insufficient to prevent the pearlite transformation. HRC decreases. Products of the austenite decomposition appear [1-2]. Then we enter zone II. At a still lower cooling V (greater casting thickness) zone III is obtained - a mixture of ferrite + C, N, CN (pearlite) 35-45 HRC. This case, Fig. 6-b, is also met in quenching from $T^{\circ}C$ higher than the maximum for HRC, when the quantity of the residual austenite increases [1-4]. Here there are also variations of the basic type. The beginning of the curve in zone V can be at higher or lower HRC depending on the quenching $T^{\circ}C$ and austenite stability in the surface zone of the casting. From this the depth of the zone is determined - from the quantity of the elements that stabilize austenite. Zone I can be considerably extended so that a complete hardening is obtained, i. e. absence of zones II and III. In this case this part fuses with the third basic type, Fig. 6-c.

Curves of the type in Fig. 6-c. The most often observed case for the investigated alloys of patent RB9451. A constant high hardness is retained along the whole specimen of 100 mm, even also of 200 mm. This means that through all the cross-section of the casting hardening is obtained. High HRC - 58-65 HRC. This type dependence has its variations. Low hardness at the surface of the component because of austenite produced similar to Fig. 6-b. In dependence of the alloying degree and quenching $T^{\circ}C$, correspondingly in dependence of the austenite stability the initial zone of low HRC may have different thickness and value of HRC. If quenching $T^{\circ}C$ of the particular composition does not correspond to the maximum HRC, the plateau, i. e. zone I can have a constant value at lower HRC. When $T^{\circ}C$ is to the left of the maximum, i. e. at incomplete $\alpha \leftrightarrow \gamma$ transformation, soft martensite + residual austenite with C, N, CN possessing not high HRC is obtained. When $T^{\circ}C$ is quite to the right from the maximum of HRC a beginning of the type in Fig. 6-b is obtained. It is possible to have a case of complete quenching of thick wall casting according to a curve of the type in Fig. 6-c corresponding to austenite hardness (structure) - case of high alloyed by austenite forming alloys (purely austenite) of the systems: Fe-Cr-Mn-C, Fe-Mn-Cr-C, Fe-Mn-C, Fe-Cr-Ni-C, Fe-Cr-Mn-Ni-C, Fe-Cr-Mn-C-N, Fe-Mn-Cr-C-N, Fe-Mn-C-N, Fe-Cr-Ni-C-N, Fe-Cr-Mn-Ni-C-N [20, 21].

Consequently, Fig. 6-c can have a plateau corresponding to zone I of Fig. 6-a, b but also a lower plateau corresponding to zone V and still lower corresponding to zone III. The beginning, at that, could be similar to that in Fig. 6-a or in Fig. 6-b.

Of particular interest is the hardening along the whole length with constant hardness and structure corresponding to austenite in the Fe-Cr-C-N system at hardness from 43-53 to 55-58 HRC. These structures (alloys) are interesting for the practice because at austenite metastability it could turn out that they will be equivalent or more wear resistant than the martensite quenched ones. Their advantage is the austenite core which is more ductile and softer and in operational conditions will easier absorb heavier loading, particularly impact and bending. With austenite matrix in the completely hardened casting HRC can be increased by a set of alloying elements providing C, N, CN of high HRC. As a matter of fact purely austenite structure in the Fe-Cr-C-N system with above the equilibrium nitrogen quantities after quenching has been obtained under patent RB 49451 [1-4].

Deep hardenability with austenite structure can be also produced with still lower HRC of the austenite - 20-35 HRC. The most undesirable is «hardenability» in all the thickness corresponding to zone III. Mo and Cu do not increase the quantity of the residual austenite as Ni, Mn, C, N do [1-4]. The results show that high hardenability corresponding to zone I (58-65 HRC) can be also produced in certain increased content of austenite forming added separately: Mn to 3-5%, Ni to 1,5-2%, Cu to 2%, N to 0,9 (even to 2,08% in the experiments as yet). However, introduced in combination they considerably increase the austenite quantity and decrease the overall HRC even when it is constant through the whole casting thickness. Hardenability corresponding to zone I is also possible with increasing the quenching $T^{\circ}\text{C}$ (1150 $^{\circ}\text{C}$).

Summarizing the observation of the rich experimental material it proves that for any alloy (composition) containing 1-4% C and 12-24% Cr without additional alloying or with single or complex alloying (Mn, Mo, Ni, B, V, etc.) there is probably certain optimum N content provoking complete hardenability along the whole length of the casting (the specimen of $l=200$ mm) at high hardness, 58 - 65 HRC. For alloy C200Cr20NMnCu HRC increases to 0,25% N after which remains constant for all measured distances from the surface of the casting (head of specimen), Fig. 8. Hardenability corresponding to zone I, Fig. 6-c and 61-63 HRC, for instance, is registered for alloy C200Cr20NMnNi (0,879-0,957% N). The affect of the method adopted is verified by the HRC measurement of the specimens in their whole length after annealing in the furnace from 1000 $^{\circ}\text{C}$. For the different studied alloys the hardness after annealing is in the range of 27-42 HRC. After the hardenability test it proves that HRC grows as follows: for alloys containing 2-2,5% C by 20-34 HRC, for alloys containing 1-1,5% C by 15-25 HRC. With increasing the ratio Cr/C the hardenability increases. Certainly, on the type and character of the curves in Fig. 6 (a, b, c) and variations, the character of «C» curves will also has an effect for every alloy, alloyed separately or complex by carbide and nitride forming elements

stabilizing the austenite, including also N. Probably, important for the structure and HRC is the austenite stability in the pearlite and bainite range, etc.

As hardenability is related to wear resistance it should be noted that the decrease of HRC in Cr alloyed, separately or complex, cast alloys, i. e. in actual castings, is carried out for two major reasons:

In case of insufficient hardenability, i. e. increase of austenite diffusion decomposition products or in alloying (complex) resulting for certain cooling V in increase of the stable (residual) austenite quantity. The future will show what will be the behavior of containing over the equilibrium N quantities austenite in alloys of the Fe-Cr-C-N system in practical operation conditions. It is proved for the austenites of the Fe-Cr-Mn-(Ni)-C-N system that N improves the wear resistance [20-21]. The behavior of N is similar also in the alloys of the Fe-Cr-C-N system [20 - 21]. A range of cast alloys possessing high HRC (60-65) through the length of the whole specimen of $l = 200$ mm are produced which shows that these alloys have high hardenability and that they are suitable for casting thick wall castings, i. e. thickness above 200 - 400 mm, lining plates for mills, crusher jaws, stamps, rollers, hammers, etc.

5. Conclusions

1. Installation for investigation of hardenability both of low hardened cast alloys by conventional methods and high hardened complex alloyed cast steels and irons by the heat modeling method with the use of cooling media - water, oil, other liquids and emulsions «water-air», «oil-air», «air-liquids», «compressed air» under pressure and undisturbed air - is manufactured and improved by novelties. The installation combines all the positive features of the available methods in complex and possesses new components and capabilities.

2. New method and device of its realization are developed in compliance with conclusion 1 characterized by the capability to provide cooling of the test specimens of various lengths only at one surface (the head). This approximates to maximum the modeling and practical conditions of quenching (cooling) thick wall actual castings. The inserts manufactured of alloy close in composition to the specimens studied are heated in the furnace and cooled outside it simultaneously with the hardenability test specimens. The various types of devices for heating and cooling of specimens provide the possibility to cool only one of the surfaces of the test specimen, i. e. decrease cooling V to such a level that in depth penetration is possible in areas of austenite decomposition products. Obviously, for most of the studied cast alloys over the critical cooling V are realised. Test specimens for high hardening alloys are introduced with dimensions greater than the standard ones in use by now ($l = 200$ mm) where l could be increased.

3. Hardness after furnace annealing of test specimens are considerably lower than the HRC obtained in the modeled retarded cooling, i. e. in studying

hardenability which confirms the satisfactory efficiency of the method and devices.

4. The alloys containing 2-3% C possess high quenching and hardening ability in retarded cooling in air, i.e. they are self hardening at rates considerably lower than that in undisturbed air.

5. For any alloy, depending on the ration of the carbide and nitride forming components and austenite stabilizers, there is a certain optimum content of N similar to C that provokes hardenability increase. The effect of N is added to that of the other alloying elements. Like C, N exerts effect by implementating in the solid solution in this way affecting HRC of the matrix (martensite) and by binding in C, N, CN phases of various stability and HRC. Hardenability is not importantly affected at N contents of 0,03-0,06%. According to the investigations as yet high hardenability (60-65 HRC) can be achieved by increasing N content to 0,7 - 0,9%. As a result hardenability increases.

6. The comparison between cast irons of over 2% C (below eutectum under $\approx 3\%$ C) and steels containing 1-1,5% C show that the latter have lower hardenability which is due to, most probably, lower carbides and carbide-nitrides quantities.

7. In the steels of low C content the variation of N content results in change of quenching and hardening ability. At considerable increase of N quenching and hardening abilities increase. For instance, alloy of the C120Cr17NMnMo2 grade with 0,0563% N has decreasing HRC along specimen length (50,5 HRC at its head). Alloy of the C120Cr13NMnMo2 grade with 0,614% N - constant HRC along the specimen length (head 61 HRC).

8. The results obtained of the investigations at this stage show that the critical cooling rates (at slow cooling of the specimens in air and accelerated in oil) depend mainly on the alloying Cr, Mo, Mn, Cu, Ni, V, etc. The HRC achieved depends on the C, Cr/C and N content. The effect of C is determinative, i. e. it is stronger than that of N.

9. For more accurate clarification of the effect of single and complex alloying with carbide and nitride forming elements and with austenite stabilizing elements and of replacing, including also the effects of introduced elements (C, N), on hardenability it will be necessary in the future to build diagrams of isothermal transformation of the undercooled austenite for every alloy separately.

10. A number of cast complex alloyed alloys of the Fe-Cr-C and Fe-Cr-C-N systems possessing high hardenability at maximum and constant in the whole length HRC for 100 and 200 mm specimens are produced after slow cooling in air by the adopted method that makes them suitable for casting parts of thickness greater than 200-400 mm.

11. A patent of invention RB 49451 is granted.

12. The method developed ensures possibility of its development and im-

provement as well as for investigation and development of a range of high hardenability complex alloyed alloys of the Fe-Cr-C system, Fe-Cr-C-N, respectively, including also tool steels.

13. The results of the laboratory tests are checked and verified in industrial thick wall castings of high hardenability cast alloys of the Fe-Cr-C(N) system replacing the conventional classical Hadfield C110Mn13 steel (lining plates for mills, crusher jaws, etc.)

Acknowledgment: The work has been carried out under Contact TH 717/97 of the Ministry of Education and Science of Bulgaria with main coordinator the author.

References: 1. Koley B.V. *Izsladvania varhu structurata sled kristallizatsia vav formata i sled termichna obrabotka na liati stomani ot sistemata Fe-Cr-C-N*. NT Conf. s mejd. utchastie. Dokladi, Sozopol, 1998. p.60 2. Koley B.V. *Structuroobrazuvane na chuguni ot sistemata Fe-Cr-C-N sled kristalizatsia vav formata i sled termichna obrabotka*. N. T. Conf. s mejd. utchastie. Dokladi, Sozopol, 1998, p.53. 3. Koley B.V. *Vlianie na temperaturnite uslovie i vremeto na zadarjane pri zakaliavane i otrvashtane varchu niakoi osnovni mehanichni pokazateli, opredeliashti prilozhenieto na liati iznosoustoichivy kompleksnolegirani splavi ot sistemata Fe-Cr-C(N)*. Intern. Congr. Mech. Engin. Techn.-99, Proceedings. Sofia 1999. p.111 4. Koley B.V. *Vlianie na chim. sastav varchu mek. pokazateli na liaty iznosoustoichivi kompleksno legirani splavi ot sistemata Fe-Cr-C(N)*. Intern. Congr. Mech. Eng. Techn.-99, Proceedings, Sofia 1999., p.144. 5. Pashkov N.D. *Termichna obrabotka na stomana*. Technika, Sofia, 1990. 6. Geller Iu.A. *Instrumentalnaie stally*. Metallurgizdat., M., 1961. 7. Garber M.E., i dr. *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov*, 5, 1969. 8. Garber M.E. *Izaskanie i izslodovanie belaih tchugunov stoikik v usloviah abrazivnogo i gidroabrazivnogo iznossa*. Avtorefferat, Moskva, 1967. 9. Kitaigor N.I. *Izslodovanie iznosostroikih vaisokocromistaih tchugunov pri udarno abrazivnom iznosse*. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov, 1975. 10. GOST 5657-69. Standart po prokalivaemost. 11. Kotchanov N.I. *Prokalivaemost stali*, 2-oe izd. Metallurgia, 1978. 12. Polovnikov V.V. *Zavodskaja laboratoria*, 1952, 4, 452-459. 13. Grosman M. A. *Osnovai termicheskoi obrabotki*, per.s angl. M., Metallurgizdat, 1946, str.348. 14. Granger R.A. *Post G.*, SAEY, 1946, v 8, N7, p.31. 15. Blantere. *Fazovae prevraschenia pri termicheskoi obrabotke*, per.s angl. M., Metallurgizdat, 1962, str. 268. 16. Afonskii. A., *Zavodskaja laboratoria*, 1949, 9, str.1074. 17. Vinakur B.B., B.L. Piluchenko. *Prokalivaemost konstrukcion-naih stalei*, Kiev Naukova dumka, 1978, str.268. 18. Dehtiar M. V., I dr. *Zavodskaja laboratoria*, 1976, 9-10, str. 808. 19. Post S. V. I dr. -Trans. ASM, 1946, 38, p. 85-111. 20. Koley B.V. *Vazmojnosti za polutchavane, structuroobrazuvane i svoistva na niakoi le*

iarski splavi na Fe-C osnova legirani s N. Dissertacia, IM- BAN, Sofia, 1985. 21.Kolev B.V. New Fe-based N and other volatile elements alloys, General results, Development, future prospects. Intern. Congr. Mech. engin. techn.-97 Proceedings vol. 2, p. 118. 22.Rashkov N.D. I dr. Rakovodstvo za laboratorni upravljanje po metallografia i termichna obrabotka. Technica. Sofia, 1988.

FROM GLOBAL DEPENDENCE TO SUSTAINABLE INTERDEPENDENCE TOWARDS GLOBAL QUALITY THROUGH HUMAN ASSOCIATIVE NETWORKING

Georges Thill (*University of Namur, Belgium*)

My paper is keeping with the new emerging global world, which is appearing more and more as a divided (integrated/excluded) world, and the necessity of taking up the challenge of overcoming this social division towards global and human sustainable development through creation and repatriation of global quality in each society.

In particular, this quality for/in technology dimension requires new ways of mediation and crossbreeding of cultures as well as hybridisation of knowledge and know-how built up by human associative networking¹. The relevance and the leading role of this kind of networking is based of the experience and of the contribution of PRELUDE to the theme « Global Perspective 2010 : Tasks for Science and Technology » of the EC (European Commission) - FAST (Forecasting and Assessment in Science and Technology) Programme and of my own experience in the steering committee of this programme, for shaping and promoting worldwide scientific and technical sustainability.

PRELUDE is 15-years-old networking programme implemented in all continents. The actors are voluntary academics and scientists, from varied horizons and disciplines. Supported by their institutions, they intended to conceive and implement practical forms of North-South, South-North, South-South and North-North sustainable co-development, along the lines of an autonomous and associative interdisciplinary network (this being the intrinsic and constituent form of the programme so that the interaction between the persons concerned is guaranteed). It forms a partnership not only among researchers but also with the other social actors involved in co-development and gives priority to the terrain

¹ The paper is closely connected with the purpose I developed in the cycle of seminars « The Globalisation Process, Quality Management and Sustainable Development » given in the Donetsk State Technical University during my official visit, 23 October - 8 November 1999, for which I am very grateful to the authorities of the University.

in key sectors of development (health, nutrition, animal farming, agriculture, communication, education, environment, urbanization, new technologies, etc.).

PRELUDE's approach is systemic or holistic so as to handle diversity, complexity and globality. It makes a point of combining modern science and technology with local or traditional knowledge, know how and communication. Networking is ongoing evaluation, from the moment a research project (for PRELUDE action research) is conceived right up until it is brought to completion. There is a permanent interaction between education, training and research (formation for and through research)².

The Globalisation Process

At the present time the dominating globalisation process is a truncated process of finance, economy and technology (global market). It is continuously in progress and in undergoing perpetual change. But globalisation was a long time carrying in hope of peaceful and brotherly unity for the whole mankind, in spite of global war and global crisis. Today it becomes the problem of all problems. It is multiform, out of norms and includes all the problems but any problem has not yet been solved³.

Its origins lie with the rapid growth in world trade since the 1950s and the spread of foreign direct investment (FDI) led by the United States in the 1960s. Nevertheless, only in the late 1980s, a whole set of internationalisation processes have been integrated in a more systematic fashion. Speaking now about globalisation, you speak about a whole set of parameters including cross-country investment, production, marketing, trade and more general inter-firm alliances and collaboration. Research and Development are pivotal elements in establishing and maintaining industrial competitive advantage⁴.

The Group of Lisbon notes that this phenomenon includes not only products and services internationalisation, multinationalisation, transfer and delocalisation of resources, particularly of capital and element of work, as well as delo-

² For more details: PRELUDE Scientific Coordination, University of Namur, 61 rue de Bruxelles, B-5000 Namur, Belgium; phone : +32-81-72.41.16/13; fax : +32-81-72.41.18; e-mail : georges.thill@fundp.ac.be; jean-paul.leonis@fundp.ac.be; <http://www.fundp.ac.be/prelude>. The experience of PRELUDE is analysed by Georges Thill and Françoise Warrant, *Plaidoyer pour des universités citoyennes et responsables*, Namur, Presses Universitaires de Namur/Paris, Fondation Charles Léopold Mayer pour le Progrès de l'Homme (FPH), collection « PRELUDE », n°5, 1998. This paper refers broadly to this book as well as Georges Thill, « Human Networking in the Information and Communication Society », *AI (Artificial Intelligence) & Society*, 12, 304-314, Springer-Verlag, London, 1998.

³ Editorial, *Transversales Science/Culture*, n°38, March-April 1996, p.1.

⁴ Georges Thill et Françoise Warrant, *Plaidoyer pour des universités citoyennes et responsables*, op.cit.; Jeremy Howells, Michelle Wood, « The Global Dynamics of Production and Technology: New Challenges », in U. Muldur, R. Petrella, with the collaboration of M.G. Colombo (eds), *The European Community and the Globalization of Technology and the Economy*, Brussels-Luxembourg, Commission of the European Communities, Directorate General Science, Research and Development/FAST, EUR 15150 EN, 1994, 3-32; Georges Thill, *From a Global Dependence to a Global Sustainability*, Bologna, Second Alps Euro-Conference, September 1996.

calisation of national economies. In addition, it concerns conceiving, developing, producing, distributing, using all the stages of material and immaterial goods and services. Moreover, it ushers a new epoch of post-national economy by putting an end to national industrial capitalism and by gradually getting rid of principles, rules and management and valorisation styles of material and immaterial resources of the national system (State, economy, language, culture, etc.). The enterprise and State enter into a new alliance: political power is regressing in the face of economic power. From now on, only the *global network* of private enterprise is in a position to hold the reins of the direction of the globalisation processes because only this enterprise has at its disposal structures capable of being globalised. The State thus needs to create a dynamics of enterprise networking for surviving within the globalisation process: competitiveness, which was simply a mode of operating economy has become its main concern and is practically socialised in every sector. Through alliance with state enterprise, the state can look to a long term policy with confidence. Suddenly there seem to appear for the state opportunities to justify risks and uncertainties inherent in new technological developments as well as large-scale strategic investments (research, development, marketing, management, etc.). In fact, politics becomes really colonised by economics and globalisation means more and more a new world-wide colonisation⁵.

In the significant information and communication field, global networking of information and communication is related to a global networking strategy by major corporations. This networking is driving the whole international process of globalisation, which is dominated by a very few global networking companies. *Le Monde diplomatique*⁶ records only ten global networked large firms in information and communication (a quarter of them localised in Europe, a quarter in Asia and the rest in North America). « As real mastodons of the finance » (Ignacio Ramonet)⁷ and real « padroni de la Terra » (Riccardo Petrella)⁸, they are determining the stakes and the priorities for our lives and our societies. They are destabilising the institutions and laying down the rules. Moreover, they find the task of marketing facilitated by politicians and lawmakers. For instance, the new law *Telecoms Acts 1996* in US modernises the telecommunications market in the sense of allowing the rules of competition to operate more and more frantically. In EU the liberalisation of telecommunications will get over its last stage in the 1.1.98 (liberalisation of markets and of public networks infrastructures)⁹.

⁵ Groupe de Lisbonne (sous la direction de Riccardo Petrella), *Limites à la compétitivité. Pour un nouveau contrat mondial*, Bruxelles, Editions Labor / Montréal, Editions du Boréal / Paris, Editions de la Découverte, 1995; Georges Thill, « D'une dépendance globale à une solidarité planétaire responsable », *La Revue nouvelle*, tome CII, n° 10, octobre 1995, 52-64.

⁶ *Le Monde diplomatique*, Dossier « Les nouveaux maîtres du monde », mai 1995.

⁷ In : *Le Monde diplomatique*, op. cit.

⁸ In : *Le Monde diplomatique*, op. cit.

⁹ Véronique Kleck, « Vers la domination de l'espace informationnel », *Transversales Science/Culture*, op. cit., 32

Their action principle, emphasises Maurice Bellet, can be defined in a short statement: every possibility merits trying. In that process you are never confronted with any real doctrine, any creed, any sense question, except the basic assumption governing the functioning of the process, i.e. for the new world masters, there's no sense in refusing to believe in the globalisation process. That process includes at the same time both the advances in science and technology and the explosion of human desire liberated from yesterday's laws and constraints. Marketing, desire, publicity are converging to satisfy a logic of colonial expansion, in other words, sustained dilating of need-desire-want (in french: « besoin-désir-envie »), which publicity are merging into a sole motion in order to succeed in dilating marketing at the same time.

In doing so, and because there is no limit to their ambition, protagonists and advocates of globalisation, characterised by liberalising of market, deregulation and privatisation, lead our societies to adopt compulsive behaviour. The fundamental principle of a compulsive society consists of relating want to enjoyment in the most dilated and immediate manner (drugs are eminently vigorous figures of this relationship and it is well-known that drugs constitute a considerable market, virtuously denounced, but proliferating, powerful, overflowing)¹⁰.

A Fragmented World

Paradoxically, as the recent Seattle World Trade Conference makes it clear, at the end of our twentieth century, the so-called world-wide dominant interdependence generated by globalisation which has become possible, as indicated above, as consequence of technologies of information and telecommunications, means on the contrary a process of planetarium colonisation, dependence, dualization/multi-alization.

Both the technological inter-enterprise alliances of localisation and the distribution of strategic technological alliances (concluded by firms and registered according to sector and groups of countries between 1980 and 1989) show clearly that these alliances are essentially situated in the industrial countries and more particularly in the Triad; in other words, in the world regions where scientific power, technological potentials and political supremacy as well as cultural power are set up and where the control of the conditions, the ability to govern the economic world and the society and the capacity of shaping the future are concentrated¹¹.

In addition, the new technologies of information, communication and transport are promoting more and more active connection between big techno-

¹⁰ Maurice Bellet, op. cit.

¹¹ Chris Freeman, John Hagedoorn, *Globalization of Technology*, CCE, FAST/Monitor, FOP 322, 1992.

logically, financially hyperadvanced cities and city-regions (mainly in northern cities) by means of multi- and transnational companies, which, I stress the fact, are themselves interconnected in global networking permanently in search of winning new markets¹².

It shows actually that the new emerging global world is becoming a more divided (integrated/excluded) world, and that rich cities and city-regions are becoming the dominant space for (re)organising globalizing economy and that large firms are becoming networks or a web of networks. Global information and communication is reduced to generalised computerisation, without scientific thinking, ethical interactions, democratic control for the benefit of world-wide trust of information and communication¹³.

Moreover, it is important to draw our attention to the fact, like stress Jacques Robin and Armand Petitjean, that speaking about the concept of information in relationship with our information society demonstrate quite rightly how misinterpreted is the concept of information in our societies. Concerning the generalised informatisation of society, and referring to K.E. Boulding (Academy of Sciences, New York, 1953), information is the third fundamental dimension, following those of mass and energy. Information, deciphered on and in the inanimate or living matter in the 1940's¹⁴, interferes with information directly related to language and writing: it facilitates our understanding of the organisation of communication in the living world. On the contrary, for public, the term information reminds us of two big inventions of the human world: language and writing. The nature of technical progress through four major informational technologies: informatics, robotics, digitised telecommunications, biotechnology's (for instance, used data are more and more immaterial; all the occurrences of this world are given in real time; human work, form material, becomes software, etc.). But human exchanges, information and communication haven't be reduced to the technologies.

¹² Some people speak about archipelagos of city-regions. For instance, in Europe ten principal « innovation islands » are recorded: the city-regions of London, Rotterdam/Amsterdam, Paris/Ile de France, Essen/Ruhr Region, Frankfurt-am-Main, Stuttgart, Munich, Lyon/Grenoble, Turin, Milan. Two thirds of the public expenditures of research and development of the European Union and the State and 90% of the scientific and the technological activities of the EU concerning biotechnology, artificial intelligence, aeronautics, space are there concentrated (Anders Hingel, *Science, Technology and Social and Economic Cohesion*, Brussels, EC FAST/Monitor, 1992). On a world scale, New York, London and Tokyo are the hosts of the registered office of 80% of the biggest financial and industrial companies and of the negotiation place of more than the two thirds of the financial transactions of the world (Saskia Sassen, *The Global City: New York, London, Tokyo*, Princeton University Press, 1991).

¹³ « De l'information à l'informatisation généralisée de la société », *Transversales Science/Culture*, op.cit., 2-7.

¹⁴ Jacques Robin, Armand Petitjean, « L'information: un concept mal adapté », *Transversales Science/Culture*, op.cit., 2-4. Historically, in 1942, Bell Corporation Engineers, being in charge of optimizing the crossing of american ships outward bound for joining besieged Europe, are identifying, by size studying military communications, the signals and their sounds, a physical measurable, which they are naming « information ». They named « bit » (binary digit), the elementary unit of information.

Paradoxically, at the end of the twentieth century, the globalisation process, hoped as a world-wide interdependence phenomenon, means, on the contrary, a process of planetary colonisation, dependence and dualisation/multi-isation. In the triadisation (North America, Western Europe, Japan and the Tigers) of world economy in the context of new processes of globalisation, in which the world population will be more and more unbalanced with, for instance, a miserable Africa and more and more excluded people also in the industrialised countries, for the techno-industrial enlightened oligarchies in power in the most advanced industrialised countries¹⁵. « Global world » is « global market », « global civilisation », « global communication »¹⁶. As social operators, science and technology are fulfilling, in the context of the global market, a major ideological function of legitimating that « economically correct » and so strengthening the sole thought. This position challenges seriously University authority: University constitutes the framework for plural thought and the authority for producing scientists, who can become potential experts¹⁷.

Well, in short, the contemporary process of globalisation of finance, economy and technology generates a dependence chain working against the future interest, well being and living together of the world's population. It generates two major phenomena: the financial logic predominance and the erosion of the local or traditional ways of market regulations, knowledge creation and innovation. Like the other enterprises or institutions, the university as well the other scientific institutions must be « economically correct ». In other words, for instance, the student becomes a customer, the professor, a distributor, the researcher, a short-term competitive engineer, and the authorities, preformatted managers¹⁸.

Building up global sustainability

However, the hard reality should not be fatal! The history of science and technology shows that there is no such thing as technological determinism. Researchers and engineer can only foresee evolution and change from intellectual tools which they control according to their momentary mentality. The user is also producer. The hard reality can be braved and bent, or even converted into

¹⁵ Ugur Muldur, *Les formes et les indicateurs de la globalisation*, Bruxelles, FAST/Monitor, EC-DG Science, Research and development, 1993.

¹⁶ Riccardo Petrella, « Introduction: A New World Making », in U. Muldur and R. Petrella, with the collaboration of M.G. Colombo, *The European Community and the Globalisation of Technology and the Economy*, op.cit., IX-XX.

¹⁷ Georges Thill et Françoise Warrant, *Plaidoyer pour des universités citoyennes et responsables*, op.cit., particularly « Marché global et expertise scientifique », 36-47.

¹⁸ Georges Thill, « Towards socio-cultural mastery of economic and technoscientific mastery as condition of sustainable human (co-)development », European Conference: « Cultural Renaissance and Cities Innovation », University of Brighton (UK), 13-14 September 1997.

an effective interdependence and social equity through planetarium responsible solidarity by summoning up all countries or regions resources, i.e. local or traditional knowledge, know how, expertise in managing and communicating and by valorising accumulated experiences and historical, social and cultural potentialities, cultivating creativity and appropriation capacities¹⁹.

The before evoked seattle event and a lot of signs of the present time allow to think that global sustainability, depending on physical sustainability which in its turn is predicated upon social sustainability, can be seriously built up. Alternative processes are actually emerging towards sustainable global integration, which passes through a new social and cultural contract. The imperative of free market competitiveness is replaced by the imperative of socially and environmentally accountable co-operative economy. Global problems are so enormous that the unique way to cope with them is to design at the various appropriate levels mechanisms, strategies, rules, procedures enabling an effective global governance and responsible planetarian solidarity.

For instance, all the recent UN Summits (Rio de Janeiro, Copenhagen, Cairo, Beijing, Istanbul) and the presence of NGO's are official indicators of alternative global approaches, resulting from the emergence of another global society, and principally from various social, cultural, ecological movements of the civilian society. Even if the actors seem to be an immense nebula carrying a broad range of concerns and militancy's (protection of biodiversity, human rights, gender equality, etc.), this process binds us to think in the plural, to be open-minded for tackling the question of complexity, globality and flexible novelty towards an effective global environment and social governance²⁰.

To aim global sustainability on a local, regional, planetary scale, requires the adoption of an holistic and fractal approach, focusing on global ethics and intercultural dialogue, public and contradictory discussions and debates on global quality, inter-personal and inter-cultural communication. We need to develop individual and social projects, which researchers who take ethical and collective responsibility are need to develop responsibility (in contrast to a thing or a technique) experienced and irreplaceable (without being indispensable)²¹, and can help society to control science and technology. Global governance takes culture into account as a deciding factor. Our societies, stresses Javier Perez de

¹⁹ For instance, Kakule Kasonia, Michal Ansay (sous la direction de), *Métissages en santé animale. De Madagascar à Haïti*, Namur, Presses Universitaires de Namur/CTA/ACCT, Collection « PRELUDE », n° 2, 1994; Mamadou Sawadogo, Georges Thill, *Pratiques interculturelles en médecine et santé humaines*, Namur, Presses Universitaires de Namur/ACCT, Collection « PRELUDE », n° 3, 1995.

²⁰ Groupe de Lisbonne, *op.cit.*; Georges Thill, « D'une dépendance globale à une solidarité planétaire responsable »; Sophie BESSIS, « Gouverner autrement », *Vivre autrement*, Special Issue : « Istanbul 96, Numéro bilan », ENDA, Dakar, Paris, 1996.

²¹ Peter Kemp, *Das Unersetzliche. Eine Technologie-Ethik*, Berlin, Wichern Verlag, 1992.

Cuellar, need not only control of equipment's, capital, technology or expertise but should also control of that control (« une maîtrise de la maîtrise »)²².

Consequently, all social actors (State, industry, social and cultural movements, research and educational institutions, etc.) must be involved in order to promote codetermination and sustainable codevelopment through global quality. The variety of perceptions play an important role and the cultural approach within the fractal and holistic vision, focuses on the values or frames of reference which underlie peoples behaviour, mental, social and institutional. It tries to show from which angle the different interests are perceived²³.

Proactive speaking, it is decisive to emphasise the very narrow interactions between technological and social innovation²⁴. Shared perceptions and behaviour of people to weal and woe must be integrated in technology and risk management and assessment : to wealth but also to security, solidarity, health, social and cultural identity. Advanced technologies, in revolutionising manufacturing, education and daily life, produce at the same time new pathogeneous structures, which develop their own dynamics and internal coherence through perceptions of life's harmful situations.

With regard, in particular, to the University, University, as stressed in 1978 by the World Health Organisation (WHO), is in keeping with an autonomy which passes through effective diversified partnerships with other social codevelopment actors. It goes beyond a strictly shaped enterprise logic in order to innovate by promoting and valorising the « mastery of mastery », as said Javier Perez de Cuellar, i.e. not only competence or technical expertise in the different fields of social life (also integrating economy and technology), but more general competence's. Today responsibility requires technical mastery combined with a global view, which aims at the creation and repatriation of global quality in each society, recognising and mobilising all the resources and competencies for sustainable societies. More than eluding the question of stability and of diversification of the University financing resources, associative networking activities, notably in regional poles, strengthen the human and financial capacities. In particular, associative networks reintroduce into policies for developing material and logistic networks the finalities and the options of the actors concerned. Doing so they are highly contributing for creating and diffusing global quality in each society.

Beyond total quality management characterised by the type ISO 9000 or ISO 14001 (integrating quality and environmental management) for a competitive business and sustainable market, Total Quality Control System (TQCS), en-

²² Javier Perez de Cuellar, « La culture, clé du XXI^e siècle », *Le Monde*, 25 février 1994.

²³ Richard Van der Wurff, *Sustainable Development. A Cultural Approach*, Brussels, EC/FAST, FOP 336, August 1992.

²⁴ Ch. Freeman, « Japan a new national system of innovation », in : G. DOSI et al. (eds), *Technical Change and Economics*, London, Pinter, 1988.

asures global quality offers a framework and practical conditions of self-management and self-regulations. It also offers standing security for the consumer as well as stable markets for companies. This security is based on looking at concrete finalities or projects, global quality dealing with the globality, the complexity and flexible novelty. It is not transferable, even if ideas and scientific and technological skills are transferable and can be appropriated. It requires negotiated cooperations between all partners in the whole society in order to take into account the different cultural perceptions (« les perçus et les vécus »), memories (with the idea of foundation)²⁵, social and physical environments. Consequently technology is not assessed on an unique scale of reference units despite the need of technical standards and norms²⁶.

In doing so, global quality responds to social and cultural interest of all concerned groups or populations as well as to social equity and ecological viability. It is essential to make it a rule to promote the local competencies in terms of science and technology strategy, both industrially and in global perspective. Industrially thinking, the competence development is also very relevant for technology design in the largest sense, particularly for the more direct and immediate issue, for instance, of the machine-user interface considered not in hierarchical terms (control and decision-making embedded in the machine or in the using/producing system) but in relational terms (in which employment presupposes the labor environment of the user and relies upon practical and tacit inputs as well as preformulated operational logic's)²⁷.

Yes indeed, global quality and global sustainability require new ways of mediation/mediance and crossbreeding and pass through new alternative typologies for solving concrete problems: hybridisation of knowledge's and know how, collective expertise's, local solutions from all countries and regions of the world through pluralist forms of technological, economic and social development projects.

Human associative networking as mediation

According PRELUDE's experience and the recent literature about networks, associative human networks, especially in complementing institutions

²⁵ Olivier Mongin, « Une mémoire sans histoire ? Vers une autre relation à l'histoire ? », *Esprit*, mars-avril 1993, 102-103.

²⁶ Georges Thill, *Impact de la qualité globale sur le développement technologique. Importance et implémentation*, Rapport final (non publié), Namur, Convention entre la Région Wallonne et les Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix, Namur, juin 1994.

²⁷ Georges Thill, « The Relevance of Associative Networks for/in a Sustainable Information and Communication Society », *AI & Society. The Journal of Human-Centred Systems and Machine Intelligence*, Vol. 8, Number 1, 1994, 70-77; G. Gordon, J. Kriegl/Capim (International Network on Culture and Production), *World Production Cultures*, Country Report on Anthropocentric Systems in the United States, Brussels, EC/FAST-Monitor, FOP 262, APS Research Paperseries, Vol. 18, December 1990.

and established companies, are relays/flexible intermediaries for making known pilot experiments and allowing them to be assessed from every point of view (scientific, technical, industrial, economic, social, ecological, cultural, ethical, educational). They give institutions and enterprises new performance. In so doing, they displace acquired balances and increase their capacity to innovate by fitting technology for existing local skills and potentialities of knowledge, know how, communication which is globally sustainable.

Facilitating fractal and holistic approaches, associative networking (every human network is a network of networks) offers optimal theoretical and practical conditions for answering the question: how can local pilot experiments or local studies be universalised? Namely how is it possible to go out of the particularity by reaching a global and general proposal? A fractal is some kind of structure which is selfsimilar: at each level people can discover the same, or approximately the same structure. It is a sort of global-local articulation without any emerging hierarchy. The local is the « law of the locality without any priority ». At the different scales, need of unity and diversity of coherence of the whole and relative autonomy of the parts has to be satisfied²⁸. A fractal approach is often present in turbulent requirements or near critical points. My assumption is that critical points or requirements are the most important focus of attention in human networking²⁹.

This networking allows the mediation and crossbreeding to be built up that have become planetarily necessary if we are to steer our way through the unforeseen and unexpected events that occur. Without flexible intermediaries and socially/ecologically appropriate hybridisation, real communication and concrete efficiency cannot take place: we have to move away from the idea that messages are interpreted in the same way by the recipient and by the sender, that clear-cut distinctions can be made, whether these concern the message or the persons involved.

Associative human networking approach enables complex, highly heterogeneous situations to be tackled in a systemic fashion:

- through the multiplicity of technological forms that are simultaneously present;
- by putting into perspective the different symbolic, economic, educational, ethical, social, political, organisational, ecological components and dimensions;
- by going beyond the classical conformist contrast: traditional/modern, North/South, endogeneous/exogeneous, technical/social, producer/user, lo-

²⁸ Pierre Calame, *Un territoire pour l'homme*, La Tour d'Aigues (France), Editions de l'Aube, Collection « Monde en cours », 1994.

²⁹ Georges Thill, in collaboration with Dominique Lambert, « Towards a responsive and Responsible Reshaping of Bio-Eco-Ethics. Animal Experimentation and Production in Question and Enlightenment on Animal Rights, Welfare and Epistemology », International Conference « Bioethics and Biolaw », Copenhagen, 29 May - 1 June 1996.

cal/global, science/culture-politics, environment/development, etc. For instance through local activity it is possible to construct, through associative networking, a globality, without unifying or rendering homogeneous (as global financial, economic, technological approaches do), and handle a multiplicity of different types of interaction (with varied effects of varying significance) over the whole planet via paths where the unexpected and the uncertain are always cropping up. Moreover, since associative networks can be made visible, they anticipate various temporal dimensions traced by the phrases in technology processes and the stages of innovation at the same time as they adopt them. They include: those who invent, those who come up innumerable traditions and those who use the technologies, plus those who enjoy the benefits of their technical, political, economic, social and ecological impact and cost.

All these characteristics make associative networks open areas of mutual, global learning. (It is thus that they differ from other types of more enclosed groups, such as certain private clubs that focus on specific objectives.) Telecommunications, for example, are not of necessity technical channels of information operating from a distance. They can very well fit into cultural systems or reciprocal exchange; and in so doing they give the cultural dimension of development back its full force, with active, two-way communication occurring, thus permitting participants to raise themselves to a higher level of being³⁰.

Because of their heterogeneous nature and of their representing outstanding advanced detectors, associative networks correct strategic logic of actual industrial development with the aid of tactics that function dialogically and ecologically. In this perspective, all the social actors (State, industry, research laboratories, institutions for educational training, associative of the civilian society...) are respected in their own cultures in every country and region. This key position of associative networking enables actors to set up sustainable codevelopment at regional as well interregional world-wide levels. They operate as a fundamental support process in giving back to institutions their institutional dimension to build up real global sustainability through efficient cross-cultural ways of international co-operation, in which scientific, technological and social innovation imply necessarily new epistemological, axiological and institutional global quality choices.

History, memory, culture as well as science, technology, production system and market must be interactively copresent within the temporal dynamics traced out by all the phases in technological processes and the stages of innovation. Moreover, through the fact that they can be made spatially visible, associative networks anticipate the various temporal dimensions at the same time as

they adopt them. As stressed by PRELUDE, through case studies, about the transfer of scientific and technological skills and expertise and their appropriation, the relevance of associative networks is characterised by the fact that they are all there: those to invest, those who come up with new ideas, those who are responsible for production, those who inherit innumerable traditions (for instance, the specialist in biomedicine as much as the local healer is a carrier of stories, culture, memories, institutions) and those who use the technologies, plus those who enjoy the benefits of their technical, political, economic, social and ecological impact and cost. In that way, the user is no longer a customer; he is very much a subject. Associative human networking has become an optimal place for users to appropriate and administer the conceptual and evaluative phases of the projects that concern them. They make it possible to decompartmentalise the different sectors and to play a negotiated part in the goals of a project or programme³¹.

ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОВ НАРАБОТКИ МАШИНЫ НА ОТКАЗ НА ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ КОЭФФИЦИЕНТ ЕЕ ГОТОВНОСТИ И КОЛИЧЕСТВО НЕОБХОДИМЫХ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ

Кравченко В.М. («Азовмаш», г. Мариуполь, Украина)

Influence of nonfailure operating time laws of machine on its efficient availability and random failures amount is investigated.

Одним из основных показателей надежности, определяющих эффективность работы горных машин как восстанавливаемых объектов, является коэффициент готовности. Факторами, существенно влияющими на характер изменения этого коэффициента во времени, являются число внезапных отказов элементов машины, зависящее от закона ее наработки, а также время, затрачиваемое на устранение этих отказов, которое в значительной мере зависит от обеспеченности требуемым количеством запасных частей на соответствующий момент времени эксплуатации. Поэтому изучение влияния законов наработки машины на отказ на формирование коэффициента оперативной готовности и необходимое количество запасных частей имеет важное значение.

Величина оперативного коэффициента готовности машины может быть определена по зависимости:

³⁰ Instructive in this respect is the annotated biographical selection of UNESCO, produced by Luke Kellerman of ARCI (Association de Recherche Coopérative Internationale): *La dimension culturelle du développement*, Paris, UNESCO, 1991.

³¹ PRELUDE/Georges Thill (ed.), *The Transfer of Scientific and Technological Skills and Expertise and their Appropriation. The Relevance of Associative Networks*, op.cit.

$$k_z(t) = \frac{1}{1 + \bar{T}_e \omega(t)}. \quad (1)$$

где $\bar{T}_e$ - среднее время восстановления одного отказа на интервале наработки $(t, t + \Delta t)$; $\omega(t)$ - параметр потока отказов машины при наработке t и отсутствии плановых (упреждающих) замен элементов.

При известной функции частоты отказов машины $\alpha(t)$ функция параметра потока отказов однозначно определяется путем решением уравнения Вольтера второго рода:

$$\omega(t) = \alpha(t) + \int_0^t \omega(\tau) \alpha(t - \tau) d\tau$$

Для его решение может быть использован численный метод, базирующийся на использовании рекуррентной формулы с шагом интегрирования уравнения Δt , величина которого определяет точность получаемых результатов:

$$\omega(i) = a \times \alpha(i) + b \sum_{j=2}^{i-1} \omega(j) \alpha(i - j), \quad i = 2, N_i \quad (2)$$

Здесь $\omega(i)$ - i -тое значение параметра потока отказов, соответствующее времени $t_i = (i - 1) \Delta t$; $\alpha(i)$ - значение частоты отказов в момент времени t_i ; a и b - постоянные коэффициенты интегрирования; N_i - количество значений параметра потока отказов, заданное при решении уравнения. Значения коэффициентов a и b вычисляются по зависимостям:

$$a = \frac{1 + \omega(1) \frac{\Delta t}{2}}{1 - \alpha(1) \frac{\Delta t}{2}} \quad \text{и} \quad b = \frac{\Delta t}{1 - \alpha(1) \frac{\Delta t}{2}}, \quad \text{где } \alpha(1) = \alpha(t=0) = \alpha(1) \quad (3)$$

Для оценки влияния законов наработки на отказ машины на эффективность ее работы были получены зависимости (см. рис. 1) коэффициентов готовности k_z для $k_3 = 0,2$ и $\bar{T}_e = 0,1 k_3$ в функции относительной наработки на отказ $\frac{t}{T_p}$ для законов Вейбулла, Реллея, экспоненциального и

усеченного нормального, характеризующихся следующими параметрами: k - коэффициент формы (для элементов, наработка на отказ которых подчинена закону Вейбулла); ν - коэффициент вариации t_p (для элементов, наработка на отказ которых подчинена усеченному нормальному закону).

На рис.1 приняты следующие обозначения: t - наработка на отказ; k_3 -

относительная величина математического ожидания наработки на отказ

$k_3 = \frac{t_p}{T_p}$, где t_p - математическое ожидание наработки на отказ элемента, T_p - ресурс машины.

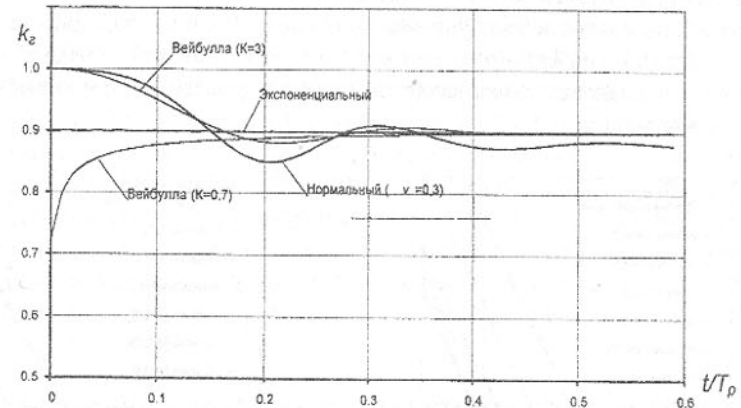


Рис. 1 - Изменение значений оперативного коэффициента готовности k_z от относительной наработки, для элементов с различными законами наработки на отказ при $k_3 = 0,2$ и $\bar{T}_e = 0,1 k_3$

Графики были построены с использованием зависимостей (1, 2, 3).

Анализ приведенных зависимостей показывает, что для законов распределения Вейбулла при $k > 1$ и усеченного нормального закона имеет место снижение коэффициента готовности машины во времени. Т.е. для поддержания эффективной работы горной машины целесообразно предусматривать плановые замены деталей наработка на отказ которых подчиняется этим законам. Для деталей с законом распределения Вейбулла при $k < 1$ целесообразно выполнять этап начальной их приработки, так как в этом случае возможно увеличение k_z за счет устранения дефектных деталей.

Для прогнозирования требуемого количества замен элементов в процессе эксплуатации в функции $\frac{t}{T_p}$ были построены зависимости математического ожидания количества деталей, исчерпавших свой ресурс, для различных законов наработки (см. рис. 2) при $k_3 = 0,2$ и $k_3 = 0,5$. Расчет был выполнен по зависимости:

$$N = \int_0^{\frac{t}{T_p}} \omega(\tau) d\tau.$$

Анализ приведенных графиков (рис. 2) показывает, что увеличение k_z с 0,2 до 0,5 не влияет на характер формирования числа внезапных отказов, но приводит к их снижению во времени. Кроме того, для закона Вейбулла при увеличении коэффициента формы математическое ожидание количества требуемых замен элементов (неплановые замены) уменьшается и зависит от длительности эксплуатации. Так для $k_z=0,2$ и $t/T_p=0,2$ (рис.2а) при $k=0,7 - N=1,45$, при $k=1 - N=1$, при $k=1,5 - N=0,65$, при $k=3 - N=0,5$. Т.е. на величину неплановых замен влияет не только параметр k_z , но и коэффициент формы закона.

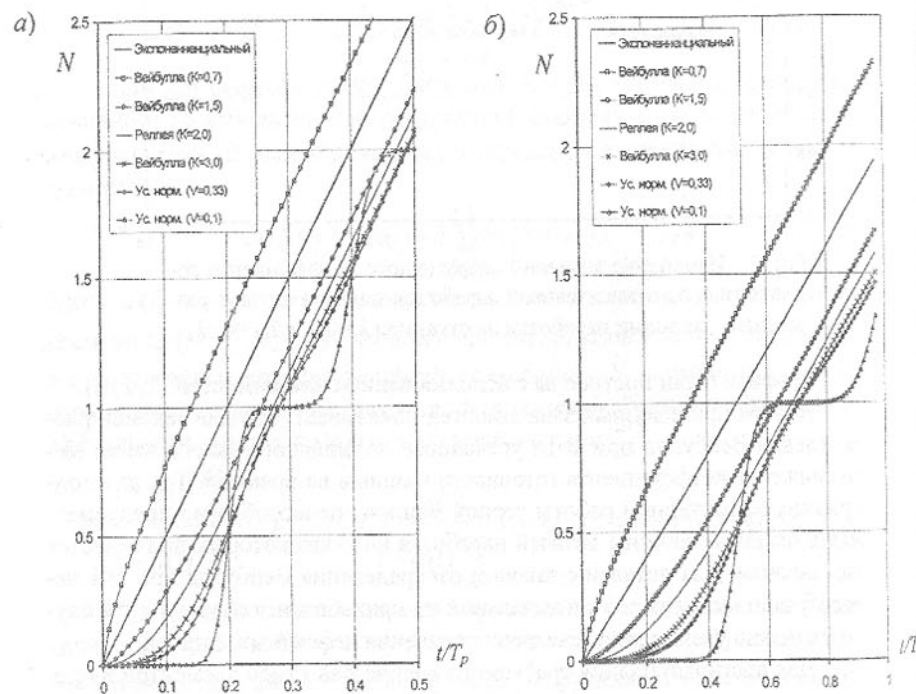


Рис. 2. Математическое ожидание неплановых замен от относительной наработки на отказ для элементов с различными законами наработки на отказ а) $k_z=0,2$; б) $k_z=0,5$

Для нормального закона распределения изменение математического ожидания неплановых замен, обусловленных исчерпанием ресурса элементов также определяется не только величиной k_z , но и коэффициентом вариации v . Так при $v=0,1$ (рис.2а) процесс формирования неплановых замен характеризуется явной периодичностью и относительно малым ожи-

даемым выходом элементов до $t/T_p \approx 0,75 k_z$ с последующим ступенчатым ростом до $N=1$ при $t/T_p \approx k_z$. Увеличение коэффициента вариации обуславливает более интенсивное нарастание математического ожидания количества неплановых замен и дальнейшую стабилизацию их темпов.

Анализ этих зависимостей подтверждает нецелесообразность плановых замен для деталей с законом распределения Вейбулла при $k \leq 1$. Наоборот, для закона Вейбулла при $k > 1$ и усеченного нормального закона целесообразно проведение планово-предупредительных ремонтов.

Таким образом, закон наработки машины на отказ и его параметры оказывают существенное влияние на характер и величину изменения во времени ее коэффициента готовности и ожидаемое число внезапных отказов. Этот фактор должен учитываться при оценке технической производительности машины, определении необходимого резерва запасных частей и организации планово-предупредительных ремонтов в процессе ее эксплуатации.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ

Ковалев В.Д. (ДГМА, г. Краматорск, Украина)

The results of parametric researches of flat liquid friction bearing are considered. The dependences of operating performances on design parameters are reduced.

Опоры и передачи жидкостного трения позволяют значительно повысить работоспособность станочного оборудования по точности, долговечности, надежности, виброустойчивости. По разработанной общей математической модели рабочего процесса [1], имеющего место в опорных узлах всех применяемых в станках типов и форм, проведены обширные параметрические исследования зависимостей эксплуатационных характеристик от конструктивных параметров.

Результаты систематизированы и в качестве примера для плоских опор показаны на рис 1. Здесь K_H - безразмерный коэффициент, характеризующий несущую способность опоры, K_Q - коэффициент, характеризующий расход смазочного материала, K_{Nnp} - коэффициент, характеризующий мощность на прокачку смазки. В основу положены отношение суммарной площади камер к площади рабочей поверхности опоры $K_F = \sum F_{кам} / F_{опоры}$ и отношение ширины опоры к длине B/L . Как видно из приведенного, нагрузочная способность направляющих возрастает с увеличением K_F и

практически не зависит от B/L . Расход смазочного материала увеличивается с ростом K_F и уменьшается с увеличением B/L , то есть с приближением направляющих к квадратной форме. Оптимальными с точки зрения минимальной мощности, затрачиваемой на прокатку смазочного материала при минимальных расходах, будут направляющие с $K_F = 0,2-0,5$.

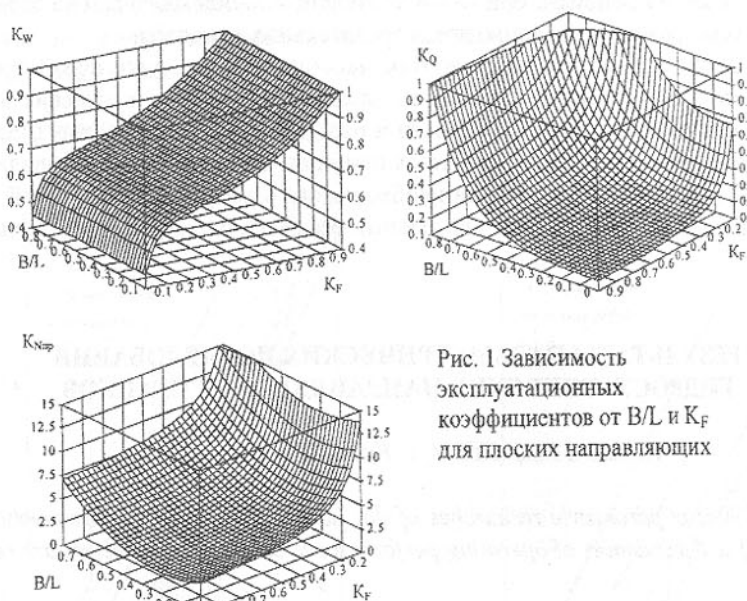


Рис. 1 Зависимость эксплуатационных коэффициентов от B/L и K_F для плоских направляющих

Наиболее рациональным размещением камеры на рабочей поверхности опоры является симметричное ее положение на участке опоры – части рабочей поверхности, отделяемой линиями, проходящими через центры перемычек между камерами. При этом несущая способность достигает максимума при достаточно низких расходах и мощности на прокатку смазочного материала.

Это иллюстрируется на рис. 2 зависимостью эксплуатационных коэффициентов от коэффициента симметричности положения камеры на своем участке $K_{сим}$, выражающего относительное смещение центра камеры по отношению к центру участка опоры ($K_{сим}$ увеличивается при смещении камеры от центра участка к границе опоры, уменьшается при смещении к центру, $K_{сим}=1$, когда центр камеры совпадает с центром участка камеры).

Размеры и количество камер выбираются из условия, чтобы деформация на участке камеры была минимальной. Исходя из этого, камеры не должны быть длиннее чем 400-500 для тяжелых станков, 200-300 мм для легких и средних. Целесообразно принимать соотношение $B/L = 1,2-2,5$,

при этом при ширине направляющих $B \geq 350-400$ мм камеры следует располагать в два ряда. Минимальное расстояние между камерами не должно быть меньше 80-150 мм. Размещение камер на направляющих более чем в два ряда производить не следует, так как это не дает никаких преимуществ, а только усложняет конструкцию и уменьшает ее надежность.

Для станочных опор жидкостного трения одной из важнейших характеристик является жесткость слоя смазочного материала, которая зависит, в основном от применяемой системы питания. На рис. 3 приведены зависимости жесткости незамкнутых гидростатических направляющих от параметра $\beta = \bar{p}_j / \bar{p}_c$ для различных гидравлических компенсаторов. Из нерегулируемых в процессе эксплуатации дросселей наиболее высокую жесткость при прочих равных условиях обеспечивают диафрагмы, причем максимальная жесткость для капилляров и диафрагм достигается при $\beta = 0,6-0,8$. Наиболее высокую жесткость слоя смазочного материала обеспечивают системы питания типа «насос-карман», автоматические регуляторы расхода (например, золотникового или мембранного типа).

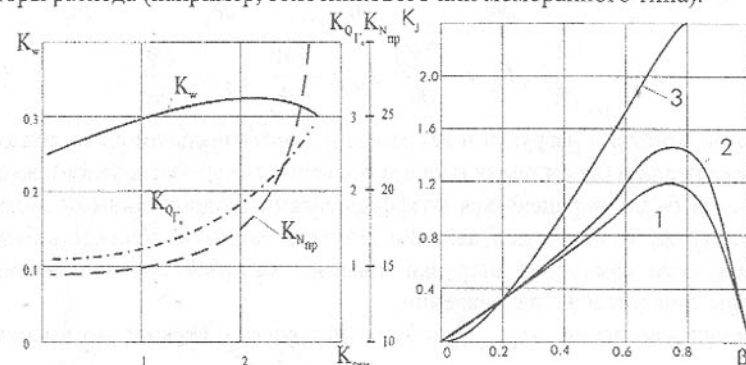


Рис. 2 Изменение эксплуатационных характеристик для четырех-камерной опоры в зависимости от положения камер на опоре.

Рис. 3 Зависимости безразмерного коэффициента, характеризующего жесткость незамкнутых направляющих от параметра β при различных системах питания: 1- капилляр; 2- диафрагма; 3- система «насос-карман».

Жесткость определяется как величина, характеризующая изменение несущей способности опоры W в зависимости от толщины слоя смазки h :

$$J = -\frac{dW}{dh}, \quad (1)$$

где знак минус означает уменьшение параметра с увеличением нагрузки,

$$J = \frac{L^2 p_c}{h} K_J, \quad (2)$$

где K_J – безразмерный коэффициент, характеризующий жесткость смазки:

$$K_J = -\frac{dK_W}{dh}. \quad (3)$$

В зависимости от формы опор, могут возникать случаи, когда направление смещения опоры может не совпадать с направлением нагрузки, которую она воспринимает. При этом вводятся показатели жесткости J_{ab} , где первый элемент индекса – проекция силы на координатную ось, второй – проекция относительного перемещения взаимосоприкасаемых поверхностей опоры.

Для определения показателей жесткости используется метод малых возмущений из положения равновесия, который заключается в том, что исследуется изменение соответствующей проекции несущей способности при малом смещении из положения равновесия в одном из направлений.

В общем случае, переходя к прямоугольной системе координат, жесткость можно характеризовать девятью показателями:

$$\begin{aligned} J_{xx} &= -\frac{\partial W_x}{\partial h_x}; J_{yy} = -\frac{\partial W_y}{\partial h_y}; J_{zz} = -\frac{\partial W_z}{\partial h_z}; J_{xy} = -\frac{\partial W_x}{\partial h_y}; J_{xz} = -\frac{\partial W_x}{\partial h_z}; \\ J_{yx} &= -\frac{\partial W_y}{\partial h_x}; J_{yz} = -\frac{\partial W_y}{\partial h_z}; J_{zx} = -\frac{\partial W_z}{\partial h_x}; J_{zy} = -\frac{\partial W_z}{\partial h_y}. \end{aligned} \quad (4)$$

При действии нагрузки в направлении, ортогональном слою смазочного материала h (как в подавляющем большинстве опорных узлов), жесткость слоя будет определяться коэффициентами с одноименными индексами xx, yy, zz , то есть в направлении действия нагрузки. Жесткость будет высокой, если изменение нагрузки повлечет за собой малое изменение толщины слоя в том же направлении.

Если изменение $\Delta h_{xx(yy,zz)} \approx 0$, то жесткость – бесконечно высокая.

Если увеличение нагрузки приводит к увеличению толщины слоя смазочного материала – то жесткость слоя отрицательная (подвижный узел будет смещаться в направлении нагрузки). Эти случаи возможны при применении автоматических регуляторов с обратными связями по давлению в кармане, толщине слоя h , по положению подвижного узла.

Показатели жесткости с разноименными индексами xu, ux, xz, zx, yz, zy должны иметь малые величины, чтобы они не вызывали потерю устойчивости системы «подвижный узел – опора». Кроме этого, для опорных узлов, воспринимающих нагрузку, которая изменяется по направлению (для цилиндрических, конических, сферических опор), желательно, чтобы показатели жесткости с одноименными индексами были постоянными при изменении направления нагрузки. В противном случае несимметричность показателей будет являться дестабилизирующим фактором, нарушающим равновесие системы «подвижный узел – опора».

Для определения связи общей жесткости и ее показателей суммируются показатели жесткости по смещению в одном направлении по силам, действующим в разных направлениях, например по координате Z :

$$J_z = J_{zz} + J_{xz} + J_{yz} = -\frac{p_c L^2}{h_0} (K_{J_{zz}} + K_{J_{xz}} + K_{J_{yz}}) = -\frac{p_c L^2}{h_0} K_{J_z} \quad (5)$$

где $K_{J_z} = \frac{\partial K_{W_z}}{\partial z} + \frac{\partial K_{W_x}}{\partial z} + \frac{\partial K_{W_y}}{\partial z}$ – безразмерный коэффициент, характеризующий жесткость в направлении z .

Жесткость замкнутых направляющих характеризует изменение общей несущей способности в зависимости от изменения толщины слоя смазочного материала на основной направляющей. При этом жесткость слоя смазочного материала в замкнутых опорах оценивается показателями жесткости по изменению проекций несущей способности по координатным осям по перемещению вдоль этих координат, как изменение несущей способности в зависимости от изменения толщины слоя смазки:

$$J_{\text{замкн.напр}} = J_{\text{осн.}} + J_{\text{доп.}} \quad (6)$$

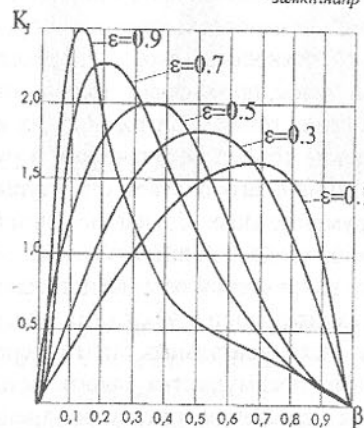


Рис. 4 Зависимость жесткости слоя смазки замкнутых направляющих от параметра β при капиллярном дроселировании

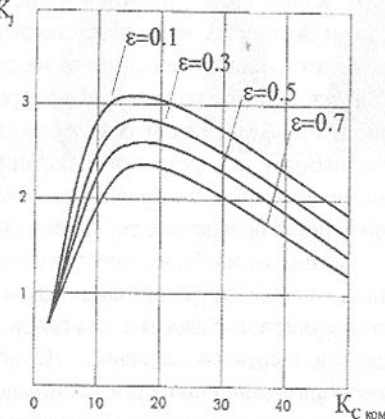


Рис. 5 Зависимость жесткости замкнутых направляющих от параметров системы питания (капиллярное дроселирование)

Исходя из этого выражения жесткость замкнутых направляющих выше, чем незамкнутых. На рис. 4 представлены зависимости жесткости замкнутых направляющих от β при различных значениях ϵ . Для небольших смещений ϵ жесткость максимальна при $\beta = 0.5-0.8$, при больших ϵ максимум жесткости смещается в зону малых β . На рис. 5 показана зависимость жесткости замкнутых направляющих от $K_{Q_{ком}}$ при капиллярном дроселировании. Максимальной жесткостью слоя смазочного материала будет при $K_{Q_{ком}} = 15-20$.

Список литературы: 1. Ковалев В.Д. Общий алгоритм расчетов опор жидкостного трения/ Трение и износ. – 1997. – Том 18, №6, с. 750-760.

ТЕХНОЛОГИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГИДРОШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК ИНСТРУМЕНТОВ

Мерзуг Д., Спужанюк А.В.

(Дон ФТИ НАН Украины, г. Донецк, Украина)

Hydrostamping is used to produce the inserts for pressing and drawing dies, press-forms. The following parameters are provided using this method: high precision of the inner part geometry, good quality surface, hardening of steels, increase of instrument durability, economy of production labor.

Технико-экономические показатели производства продукции прессованием, волочением, объемной и листовой штамповкой, методами порошковой металлургии во многом зависят от технологического прогресса в производстве инструментов типа матриц, волок, пресс-форм. Использование методов пластического формообразования точных заготовок таких инструментов обеспечивает резкое сокращение объема механической и ручной обработок, а в результате формирования благоприятной структуры и термомеханического упрочнения инструментальных сталей достигается значительное повышение эксплуатационной стойкости инструментов.

Одним из наиболее перспективных направлений совершенствования технологии пластического формообразования полостей указанных инструментов является обработка заготовок из инструментальных сталей в среде жидкости высокого давления. Основные преимущества такого метода формообразования полостей заключаются в снижении контактного трения, повышении технологической пластичности заготовок и стойкости мастер-пуансонов. Однако, до настоящего времени работы в этом направлении не получили должного развития, исследован, главным образом, способ вдавливания мастер-пуансона в заготовку, но высокий уровень давления штамповки и сложность устройств затрудняют его промышленное использование.

Перспективным представляется использование процесса гидроштамповки, заключающегося в раздаче заготовки с радиальным течением металла в среде жидкости высокого давления при вдавливании мастер-пуансона в предварительно подготовленное отверстие.

Технологический процесс производства инструментов с использова-

нием метода гидроштамповки включает следующие основные операции:

1. Термическая обработка исходного материала (при необходимости).
2. Механическая обработка исходных заготовок.
3. Нанесение подмазочных покрытий и смазочных веществ.
4. Гидроштамповка.
5. Механическая обработка штампованных заготовок.
6. Термическая обработка заготовок.
7. Окончательная механическая обработка изделий.

Термическая обработка исходного материала производится при необходимости и возможности снижения сопротивления деформированию сталей и повышения технологической пластичности заготовок.

Методика проектирования исходных заготовок, получаемых механической обработкой, и операций технологического процесса приведена на примере гидроштамповки вставок матриц с сигмовидной конфигурацией полости заходной части. Эскизы исходной, штампованной и механически обработанной перед закалкой заготовок приведены на рис. 1.

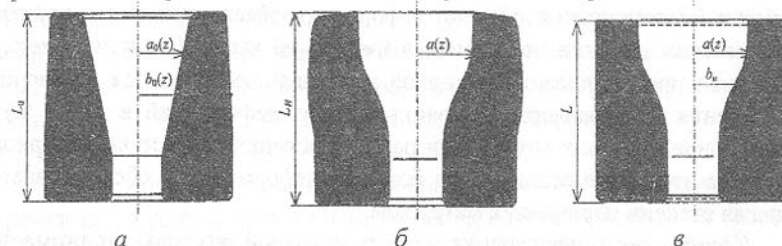


Рис. 1. Исходная заготовка (а), после гидроштамповки (б) и механической обработки перед закалкой (в)

Расчет размеров заготовок начинается с установления припусков на шлифовку вставки матрицы по наружной поверхности. Эскиз такой заготовки приведен на рис. 1в. Шлифовка внутренней поверхности не предусматривается в связи с достаточно высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности штампованных заготовок. При термической обработке заготовок принимаются меры для сохранения качества их внутренней поверхности с использованием известных способов и средств.

Исходная заготовка (рис. 1а) изготавливается механической обработкой с отверстием, состоящим из цилиндрического и конического участков. Размеры конической полости исходной заготовки определяются из условия обеспечения рациональной степени деформации стали. При предварительной термомеханической обработке (ПТМО) штамповых и быстрорежущих сталей рекомендуются степени холодной пластической деформации заготовок в условиях повышенного гидростатического давления, равные $\varepsilon=0,14...0,50$ в зависимости от марки стали и необходимого комплекса

свойств инструментов [1].

На основании указанных рекомендаций принимается рациональный интервал степени деформации сдвига ($\Delta = \sqrt{3}\varepsilon$) при штамповке заготовки.

При переменном значении радиуса внутреннего отверстия $a_0(z)$, как показано на рис. 1а, степень деформации сдвига в процессе штамповки определяется выражением

$$\Delta = \ln \frac{b_u^2}{b_u^2 + a_0^2(z) - a^2(z)}. \quad (1)$$

С учётом выбранных значений Δ , по соотношению (1) и размерам $a(z)$ полости штампованной заготовки (рис. 1в) определяются значения $a_0(z)$. Величина b_u в этих расчётах принимается равной размерам механически обработанной заготовки (рис. 1в). Затем полученная кривая, описывающая профиль полости исходной заготовки при рассчитанных значениях $a_0(z)$, заменяется прямой таким образом, чтобы степень деформации материала соответствовала выбранному интервалу. При этом по возможности наиболее благоприятные степени деформации обеспечиваются в выбранных участках воронки, например, в нижней её части. Следует отметить также, что проектирование исходной заготовки производится из расчёта обеспечения рациональных, указанных выше, деформаций в слоях заготовки, прилегающих к внутренней рабочей поверхности вставки матрицы. Именно в этой зоне реализуются большие деформации и обеспечивается большая степень упрочнения материала.

Коническая конфигурация полости исходной заготовки принимается из соображений упрощения технологии ее изготовления механической обработкой. Если необходимо всё же обеспечить заданное распределение деформаций по высоте воронки, может быть целесообразным изготовление исходной заготовки с профильной конфигурацией полости.

Аналогичная процедура определения размеров полости исходной заготовки используется при штамповке вставок с конической, выпуклой либо вогнутой конфигурациями воронок.

Следующим этапом проектирования является определение конфигурации и размеров наружной поверхности исходной заготовки. Из условий постоянства объёма и радиального течения металла размеры заготовок до и после штамповки связаны соотношением

$$b_0^2(z) - a_0^2(z) = b_u^2 - a^2(z). \quad (2)$$

Чтобы получить цилиндрическую поверхность штампованной заготовки (рис. 1б, изображена пунктирной линией), конфигурация наружной поверхности исходной заготовки должна быть криволинейной (пунктирная линия на рис. 1а). Определив значения $b_0(z)$, участок кривой линии заменяют прямой с целью упрощения технологии изготовления исходной за-

готовки механической обработкой (сплошной контур наружной поверхности на рис. 1а). После этого по соотношению (2) определяют размеры наружной поверхности штампованной заготовки (сплошной контур на рис. 1б).

При установленных размерах наружной и внутренней поверхностей исходной заготовки производится уточнённая оценка степеней деформации материала, сопоставление полученных значений с выбранным интервалом (из соображений термомеханического упрочнения сталей) и при необходимости – соответствующая корректировка размеров.

При угле раствора воронки $2\theta < 20^\circ$ высота исходной заготовки L_0 равна высоте штампованной заготовки L_H и больше на 2...3% высоты механически обработанной заготовки L (рис. 1). При обследовании штампованных заготовок установлено, что у поверхности воронки высота заготовки после штамповки оставалась практически равной исходной, а на наружной поверхности при больших деформациях уменьшалась на 2...3%.

При значениях конусности воронки, соответствующих $\theta = 10...20^\circ$, необходимо учитывать уменьшение высоты заготовки вследствие возможной осадки. Большее уменьшение высоты наблюдалось при больших значениях θ и штамповке сталей с меньшей твёрдостью в исходном состоянии. При $\theta = 20^\circ$, глубине воронки порядка $z = 5a_0$ и твёрдости менее $HV160$ уменьшение соответствовало степени деформации при осадке $\varepsilon_{ос} = 10...12\%$.

На исходной заготовке протачивают фаски либо скругляют острые кромки по радиусу с целью уменьшения вероятности появления трещин в зонах концентрации напряжений.

С целью снижения сил контактного трения, создания более благоприятных условий штамповки на внутреннюю поверхность заготовок и наружную поверхность мастер-пуансонов перед штамповкой наносят покрытия и смазочные вещества. В результате отработки технологии изготовления вставок матриц установлено, что в условиях гидроштамповки достаточно эффективный смазочный слой обеспечивается при использовании таких известных веществ как КТИОЛ-15 с наполнителями (графит, дисульфид молибдена, сера), петролатум с наполнителями (графит, дисульфид молибдена). Необходимость нанесения покрытий на заготовки и мастер-инструмент возникает при высоких локальных контактных давлениях. Экспериментально подтверждена эффективность подсмазочных покрытий, получаемых по известным технологиям фосфатирования и оксалатирования заготовок [2].

Гидроштамповка заготовок может осуществляться в контейнере высокого давления при переменном уровне давления рабочей жидкости. Схема устройства для гидроштамповки заготовок приведена на рис. 2. В контейнере высокого давления 1 размещена заглушка 8 с уплотнительным

элементом, а на ней – подставка 7. Заготовка 4 устанавливается на подставку 7, причём необходимая соосность отверстий заготовки 4 и подставки 7 обеспечивается с помощью кольца 6. Внутренний диаметр кольца 6 выполнен большим, чем наружный диаметр заготовки 4 таким образом, чтобы последняя свободно могла устанавливаться на подставку 7 и извлекаться после деформации даже при увеличении наружного диаметра в результате возможной осадки. Это может случиться, например, при ошибочной, большей чем необходимо, деформации заготовки.

Вместе с тем, с помощью кольца 6 гарантированно обеспечивается центрирование деталей для свободного вхождения передней части мастер-пуансона 3 в отверстие подставки 7.

После загрузки заготовки в контейнер заливается рабочая жидкость 5, в полость заготовки устанавливается мастер-пуансон 3 и производится сжатие рабочей жидкости плунжером 2 с уплотнительным элементом.

В некоторых случаях мастер-пуансон удобно вставлять в полость исходной заготовки и совместно загружать в рабочую камеру.

При штамповке заготовок в данном устройстве необходимо подобрать рабочую жидкость и определить её объём, заливаемый в рабочую камеру, из условия создания необходимого давления жидкости в процессе деформирования. Повышенный уровень гидростатического давления создаётся с целью снижения интенсивности развития дефектов структуры типа микропор и микротрещин, обеспечения условий деформации заготовок без разрушений. Минимальный уровень давления жидкости в конце процесса штамповки P_K принимается вначале расчёта равным пределу текучести стали, а если по результатам анализа он оказывается недостаточным, то определяется необходимый больший уровень $P_K > \sigma_T$.

Для определения P_K расчётные значения степени деформации сдвига

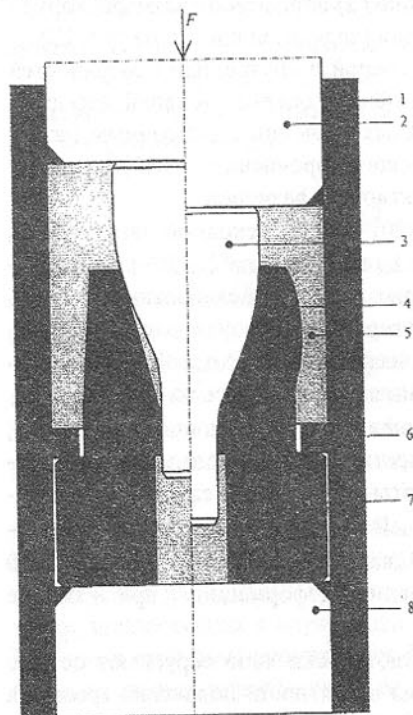


Рис. 2. Схема устройства для гидроштамповки заготовок.

Λ заготовки на наружной и внутренней поверхностях сопоставляются с предельными значениями степени деформации сдвига Λ_r при задаваемом значении давления $P_K \geq \sigma_T$. Предельные значения Λ_r устанавливаются с использованием известных диаграмм пластичности сталей.

Определение условий предотвращения разрушений на наружной поверхности заготовки не вызывает особых проблем, так как при уровне давления, пропорциональном величине σ_T стали, значение коэффициента жёсткости напряжённого состояния K остаётся в процессе штамповки постоянным и по диаграмме пластичности можно определить соответствующее ему значение Λ_r .

Путём подбора соответствующей жидкости и начального её объёма Q_0 , заливаемого в рабочую камеру, можно обеспечить не только уровень давления P_K в конце процесса, но и высокий уровень P_H в начальной стадии штамповки, т.е. создать более благоприятные условия деформации заготовки.

Такая возможность имеется в связи с тем, что жидкости имеют различный коэффициент объёмного сжатия. На рис. 3 в качестве примера приведены зависимости давления масел «Индустриальное 50» (обозначено

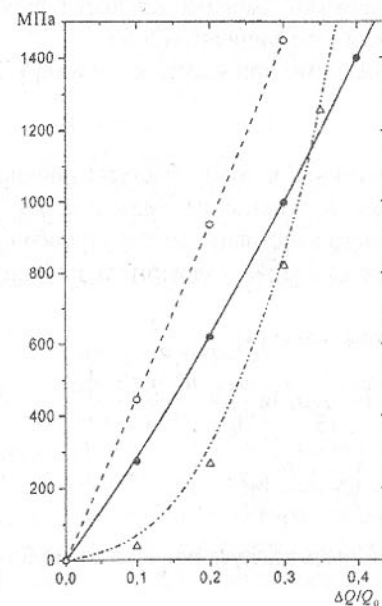


Рис. 3. Зависимость давления жидкости от относительного уменьшения объёма при сжатии

кружками), «Индустриальное 20» (чёрные кружки) и турбинного от относительного уменьшения объёма при сжатии [3]. При одной и той же величине $\Delta Q/Q_0$ в зависимости от свойств жидкостей достигается различный уровень давления, различна интенсивность повышения давления при дальнейшем увеличении $\Delta Q/Q_0$. При штамповке в данном устройстве зависимость давления жидкости от $\Delta Q/Q_0$ должна соответствовать закономерности изменения предельной степени деформации сдвига Λ_r материала от показателя напряжённого состояния $K = \sigma/T$.

Методика выбора рабочей жидкости и определения Q_0 предусматривает следующую

последовательность расчётов. По геометрическим размерам рабочей камеры, мастер-пуансона и заготовки определяют объём сжатой жидкости в конце процесса штамповки Q_K . С использованием значений давления в конце процесса штамповки P_K и коэффициентов предлагаемой жидкости B , m , характеризующих степень повышения давления [3], определяют объём жидкости при атмосферном давлении Q_0 по зависимости

$$Q_0 = \frac{Q_K}{1 - (P_K/B)^m}.$$

С учётом хода h_x , перемещения плунжера из положения в начале сжатия жидкости до момента контакта плунжера с мастер-пуансоном или окончания какой-то стадии деформации заготовки определяют уменьшение объёма рабочей жидкости ΔQ_x в виде

$$\Delta Q_x = \frac{\pi D_K^2}{4} \cdot h_x,$$

а из выражения $\Delta Q_x/Q_0 = (P_x/B)^m$ — уровень давления P_x , соответствующий ходу плунжера h_x . Полученная зависимость $P_x(h_x)$ анализируется из условия предотвращения разрушения заготовки как описано выше и принимается решение о пригодности предлагаемой рабочей жидкости либо подборе другой с подходящими значениями коэффициентов B и m .

Усилие штамповки F , которое необходимо приложить к плунжеру 2 (рис. 2), равно

$$F = F_1,$$

где F_1 — сила, которую необходимо приложить к торцу мастер-пуансона для формообразования полости заготовки; P — давление жидкости; D_K — диаметр полости контейнера; $D_{МП}$ — диаметр хвостовика мастер-пуансона; K_T — коэффициент, учитывающий потери на трение уплотнительных элементов плунжера о стенки контейнера.

Значение силы F_1 определяется выражением [4]

$$F_1 = \sigma_T \pi \left\{ \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{b_u}{a_0} + \frac{P}{\sigma_T} \right) (a_1^2 - a_2^2) - \frac{2}{\sqrt{3}} a_1^2 \ln \frac{a_1}{a_0} + \frac{a_1^2 - a_0^2}{\sqrt{3}} + \right. \\ \left. 2\mu \int_0^{z_1} a(z) \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{b_u}{a(z)} + \frac{P}{\sigma_T} \right) dz + \frac{P}{\sigma_T} (a_2^2 - a_1^2) \right\},$$

где μ — коэффициент трения; $a(z)$ — зависимость радиуса полости от глубины внедрения мастер-пуансона.

Максимальное значение усилия штамповки определяется при максимальной глубине вдавливания мастер-пуансона и максимальном уровне давления жидкости в этот момент. При уровне давления жидкости порядка $P=0,5 \dots 1,5$ ГПа согласно справочным данным $K_T=1,10 \dots 1,15$.

После гидроштамповки осуществляются проточка заготовок по наружной боковой поверхности, верхнему торцу, термическая обработка в режиме, соответствующем параметрам ПТМО, операции по доводке поверхности полости.

Разработанный технологический процесс, основанный на применении метода гидроштамповки, обеспечивает изготовление вставок матриц, волок и пресс-форм высокого качества.

Для практического использования разработаны прикладные программы, обеспечивающие возможность расчёта параметров процесса гидроштамповки заготовок на персональном компьютере.

Анализ результатов использования разработанной технологии при изготовлении деталей технологической оснастки показал, что экономическая эффективность производства связана прежде всего со снижением трудоёмкости изготовления при сложной конфигурации полости и повышением долговечности при эксплуатации. Повышение стойкости является следствием как применения более легированных инструментальных сталей, холодная пластическая деформация которых традиционными методами затруднена, так и повышением их свойств в результате ПТМО, улучшением качества рабочих полостей инструментов при изготовлении их с применением метода гидроштамповки. В результате повышения долговечности сокращается расход изготавливаемых инструментов, уменьшаются потери времени на их переналадку.

Выводы. Показана эффективность использования процесса гидроштамповки, заключающегося в раздате заготовки мастер-пуансоном в среде жидкости высокого давления, при изготовлении инструментов типа матриц и пресс-форм. Разработаны простое устройство для гидроштамповки заготовок типа гидростата и методические рекомендации по проектированию технологического процесса.

Список литературы: 1. Волков К.В., Капустин А.И., Спусканюк В.З., Черный Ю.Ф. Упрочнение материалов методами гидропрессования. — К.: Наукова Думка. 1991 — 200 с. 2. Черный Ю.Ф., Спусканюк В.З., Лядская А.А., Опанащук А.И. Гидропрессование инструментальных сталей. — К.: Техніка. 1987 — 216с. 3. Богоявленский К.Н., Вагин В.А., Кобышев А.Н. и др. Гидропластическая обработка металлов. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение; София: Техника. 1988. — 256с. 4. Мерзуг Д., Бейгельзимер Я.Е., Спусканюк В.З. Анализ процесса штамповки заготовок вставок матриц в среде жидкости высокого давления — ФТВД, 1995, №2, с.52-58.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМА МЕТАЛЛА И ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ

Тамаркин М.А., Сидилева А.И.
(ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, Россия)

Определение времени обработки является одной из важнейших задач технологии машиностроения, без решения которой невозможно проектирование технологических процессов.

При проведении оптимизации технологических параметров обработки в качестве целевой функции чаще всего используют производительность либо себестоимость процесса, что в свою очередь вызывает необходимость получения как можно более точной математической модели расчета времени обработки. Производительность процесса обработки деталей свободными абразивами определяется съемом металла с поверхности в процессе получения заданной шероховатости.

Определение объема материала располагающегося выше произвольного уровня в пределах размаха профиля шероховатости, учитывая плосковершинный характер получаемой поверхности при обработке деталей свободными абразивами, позволяет решить задачу расчета времени обработки для достижения определенного показателя шероховатости поверхности.

Выделим на шероховатой поверхности единичный квадрат (со стороной, равной базовой длине профилографирования) и пересечем ее рельеф горизонтальной плоскостью на уровне p , отсчитанном от линии (плоскости) выступов. Координатные оси и направим вдоль сторон квадрата. Тогда объем материала, лежащего выше уровня p , в пределах единичного квадрата будет равен:

$$V(p) = \sum_{i=1}^{k_p} \int_0^p S_i(p) \cdot dp.$$

где: k_p - число выступов, пересеченных горизонтальной плоскостью уровня

p ,

$S_i(p)$ - площадь сечения i - выступа на уровне p .

Функциональная зависимость дает возможность аналитически или численно определить $V(p)$.

В работах Рудзита Я.Н. и Лукьянова В.С. соотношения между t_p и $S(p)$ получены только для нормального закона распределения с допущением о полной анизотропии поля шероховатости. Однако большинство методов обработки не дают такого поля шероховатости, хотя могут быть успешно

проанализированы путем профилографирования полученной шероховатости.

Прежде всего примем, что шероховатая поверхность достаточно протяжена, ее рельеф достаточно однородный, а в пределах единичного квадрата достаточно много микровыступов, так что возможно ввести понятие среднего объема выступа, расположенного выше уровня p :

$$(V(p)) = \frac{V(p)}{k_p}.$$

При этом как $(V(p))$, так и k_p подлежат определению.

Прежде всего рассмотрим величину k_p . Она, естественно, зависит от степени анизотропии шероховатой поверхности. Если поверхность имеет выделенное направление (продольная и поперечная шероховатость), можно без ограничения общности считать, что ось x направлена вдоль этого выделенного направления. Тогда величина k_p будет определяться произведением $k_p = k_{px} \cdot k_{py}$, где k_{px} и k_{py} - соответственно числа выступов, пересеченных горизонтальными прямыми, параллельно осям x и y на уровне p . Относительно величин k_p , k_{px} , k_{py} следует также принять допущение о существовании средних значений в пределах рассматриваемого единичного квадрата. Причем здесь и далее k_p , k_{px} , k_{py} будут обозначать именно средние значения. Для изотропной поверхности, естественно, $k_{px} = k_{py}$ и $k_p = k_{px}^2$. Для поверхностей, представляющих собой однонаправленные борозды, $k_p = k_{px}$. В общем случае величины k_p , k_{px} , k_{py} должны быть определены экспериментально по результатам профилографирования, причем следует полагать, что измеренные в пределах базовой длины значения этих параметров равны своим средним значениям.

Так как величины k_p , k_{px} , k_{py} не определяются действующим ГОСТом на шероховатость, целесообразно выразить их через шаговые параметры из соотношения:

$$l_{x(y)} = S_{px(y)} \cdot k_{px(y)}^I,$$

где $l_{x(y)}$ - базовая длина вдоль направления $x(y)$,

$S_{px(y)}$, $k_{px(y)}^I$ - соответственно шаг и число неровностей на уровне p .

Тогда:

$$k_{px(y)}^I = \frac{l_{x(y)}}{S_{px(y)}},$$

а число выступов вдоль единичной базовой длины будет в $l_{x(y)}$ раз меньше:

$$k_{px(y)} = \frac{1}{S_{px(y)}}.$$

В рамках принятых допущений интересующий нас объем материала выше уровня p определится:

$$V(p) = k_p \cdot (V(p)) = \frac{V(p)}{S_{px} \cdot S_{py}}$$

В то время, как экспериментальное определение шаговых параметров S_{px} и S_{py} легко производится по профилограмме с использованием отработанного пакета для расчета ее комплексных характеристик, для определения величины $(V(p))$ необходим в десятки раз больший объем экспериментов, теоретическое же ее определение требует информации о законе распределения случайного процесса, реализующего профиль шероховатости. Радикальное упрощение задачи, позволяющее получить удовлетворительную оценку $(V(p))$ по результатам 1-2 профилографирований, может быть сделано только после введения определенных предположений о форме микровыступов. Как это обычно принято в работах специалистов по триботехнике и контактной жесткости, примем, что микровыступы имеют форму конусов. Будем также считать, что эксцентриситет эллиптических сечений микровыступов горизонтальной плоскостью имеет для каждой заданной поверхности некоторое среднее значение, зависящее от степени анизотропии шероховатости. Причем большие полуоси упомянутых эллипсов преимущественно ориентированы в направлении продольной шероховатости. Проведенные исследования рельефа реальной шероховатой поверхности, показывают, что эти допущения достаточно хорошо отражают реальную картину вблизи линии выступов, но по мере приближения к линии впадин все менее правомерны.

Поставим следующую задачу: считая, что все эллиптические сечения имеют известный одинаковый эксцентриситет на всех уровнях p , определить площадь среднего эллипса на каждом уровне, располагая величиной шага неровностей S_{px} и относительной опорной длиной профиля t_p , полученными из одной профилограммы. Легко видеть, что средняя длина хорды эллипса, полученная при профилографировании вдоль x на уровне p равна:

$$(h) = t_p \cdot S_{px}$$

Так как ориентация профилограммы относительно выделенного направления шероховатости произвольна, можно ожидать, что величина $(h)^2$ даст оценку произведения полуосей среднего эллипса $(a \cdot b)$, и, следовательно, $\pi(h)^2$ - оценку площади $\pi \cdot (a \cdot b)$. Для установления предполагаемой вероятностной связи была проделана серия численных экспериментов по методу Монте-Карло. Экспериментальные исследования включают несколько тысяч случайных бросаний перпендикулярных прямых на эллипс заданно-

го эксцентриситета с последующей оценкой площади эллипса. Эксцентриситет эллипсов изменялся от 0,2 до 0,8 с шагом 0,1.

В результате поставленного машинного эксперимента было выяснено следующее. Для однозначной оценки площадей эллипсов в наибольшей степени подходит бета-распределение, так как оно работает для случайных величин, ограниченных снизу и сверху. Действительно, вычисляемая каждый раз площадь эллипса всегда больше нуля, но не превосходит πa^2 .

Бета-распределение определяется формулой:

$$P_x(x) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta + 2)}{\Gamma(\alpha + 1)\Gamma(\beta + 1)} x^\alpha (1 - x)^\beta$$

где $0 < x < 1$; $\alpha > -1$; $\beta > -1$.

В ходе машинного эксперимента параметры бета-распределения были выражены через отношение a/b . Тогда центр и дисперсия бета-распределения будут функциями a/b .

Центр бета-распределения (измеряемое значение $\pi(p)^2$) смещен относительно площади $\pi \cdot (a \cdot b)$, причем величина этого смещения λ зависит от эксцентриситета. Таким образом, если полученную после профилографирования величину

$$\pi \cdot (h)^2 = \pi \cdot (t_p \cdot S_{px})$$

умножить на λ , определенную из численного эксперимента, получим оценку площади среднего эллипса:

$$s_{el} = \pi \cdot \lambda \cdot (t_p \cdot S_{px})^2$$

Теперь объем материала одного микровыступа выше уровня p определится из соотношения:

$$(V(p)) = \pi \cdot \lambda \cdot \int_0^p (t_p \cdot S_{px})^2 dp$$

а общий объем материала в пределах единичного квадрата:

$$V(p) = \frac{\pi \lambda}{S_{px} \cdot S_{py}} \cdot \int_0^p t_p^2 \cdot S_{px} \cdot S_{py} \cdot dp = \pi \lambda \cdot \Phi_2(p)$$

В отсутствие данных по продольной и поперечной шероховатости выражение $S_{px} \cdot S_{py}$ в приведенной выше формуле заменится на S_{px}^2 :

$$V(p) = \frac{\pi \lambda}{S_{px}^2} \cdot \int_0^p t_p^2 \cdot S_{px}^2 \cdot dp = \pi \lambda \cdot \Phi_1(p)$$

Следует отметить, что вынесение $S_{px} \cdot S_{py}$ за знак интеграла и сокращение недопустимы, т.е. это произведение является функцией t_p .

Тот факт, что бета-распределение хорошо изучено, позволяет привести соотношения по точности полученной оценки. Действительно, пользуясь выражением для дисперсии бета-распределения, как функции параметров a, b , имеем:

$$\Delta V(p) = \pi \cdot \delta \cdot \Phi(p).$$

При этом оценка опорных площадей и вышележащих объемов дается с достаточной для практических расчетов точностью. Дисперсия оценки составляет для изотропных поверхностей 5-10%, для анизотропных поверхностей 30-40%.

Для достижения установившейся шероховатости при обработке свободными абразивами необходимо полностью удалить профиль исходной шероховатости.

При этом объем металла, удаленного над площадью квадрата упаковки, можно рассчитать по зависимости:

$$W = k_{np}^0 2R_a^{ucx} 4R^2$$

где k_{np}^0 – объемный коэффициент профиля;

R_a^{ucx} – среднее арифметическое отклонение профиля исходной шероховатости поверхности;

R – радиус абразивной частицы.

Время необходимое для достижения установившейся шероховатости определяется по зависимости:

$$t_{R_a^{ucx}} = \frac{4k_{np}^0 R_a^{ucx} R^2}{P_1 P_2 f_s V}$$

где P_1 – геометрическая вероятность события, заключающегося в том, что любая точка квадрата упаковки покрывается пятном контакта за один цикл воздействия массы абразивных частиц;

P_2 – вероятность события, заключающегося в том, что взаимодействие абразивной частицы с поверхностью детали приведет к микрорезанию;

f_s – частота циклов воздействия массы абразивных частиц на поверхность детали;

V – объем металла, удаленного за один удар абразивной частицы.

Объем металла удаляемый с поверхности детали может быть рассчитан по представленной зависимости или получен в результате машинного эксперимента с большей степенью точности. Данные машинного эксперимента позволяют также более точно рассчитать объем металла, удаляемый для достижения заданной шероховатости отличной от установившейся, а, следовательно и необходимое время обработки.

СОДЕРЖАНИЕ

Акименко В.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ В ЗАДАЧЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО РЕГИОНА3

Алейкин В.Д.

СЕРТИФИКАЦИЯ ПРОДУКЦИИ НА СООТВЕТСТВИЕ СТАНДАРТАМ ISO СЕРИИ 90008

Аноприенко А.Я., Кривошеев С.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РЕЧНОГО СУДНА НА БАЗЕ СИСТЕМЫ MATLAB/SIMULINK13

Белоцерковский М.А., Сухоцкий П.Г.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЙ АКТИВИРОВАННЫМ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ ПРОВОЛОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ20

Братан С.М.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМА ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ШЛИФОВАНИИ ТОКОПРОВОДНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ24

Васин В.М., Ширинкин А.И.

НЕПРЕРЫВНОЕ СМЕШИВАНИЕ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ32

Гладчук Е.А.

ГРАФИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В МНОГОМАССОВОЙ РЯДНОЙ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ42

Дворников В.И., Манакин Е.А.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА49

Долгин В.П.

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА55

Заплетников И.Н., Алейкин В.Д. РАСЧЕТ ГРАНИЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИОПОМЕХ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ	69
Засевский В.П., Яремчук М.А., Толкачев О.Э. НОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПОДАЧИ ВОЗДУШНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕНЫ.....	73
Захарчук А.С. РЕГУЛИРУЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЕМ АСИНХРОННЫЕ МОТОР-ВЕНТИЛЯТОРЫ С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В ОБМОТКЕ РОТОРА	77
Кавун Ю.М. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОМФОРТА ОПЕРАТОРА.	83
Каинов Д. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СЪЕМА МАТЕРИАЛА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОПЕРАЦИЕЙ КОМБИНИРОВАННОГО ШЛИФОВАНИЯ.....	88
Клягин Г.С., Зубенко Ю.Д. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ СИСТЕМА В МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ЦИКЛАХ.....	92
Клягин Г.С., Зубенко Ю.Д. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ В ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ И В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ	99
Кузнецова О.Н., Зори А.А. СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СРЕДНЕОБЪЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ КАРАМЕЛЬНОЙ МАССЫ И АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОНДИТЕРСКОГО ПРОИЗВОДСТВА	104

Куликов Ю.А., Лахно В.А., Котнов А.С., Быкадоров В.В., Красношлык Ф.В. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕПЛОВОЗОВ	109
Новоселов Ю.К., Братан С.М., Крылов И.В. СТРАТЕГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ОПЕРАЦИЕЙ ШЛИФОВАНИЯ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ.....	116
Осокин В.В., Жидков В.В., Селезнева Ю.А. О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА НА ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ БХП "НОРД-428"	123
Павлыш В.Н., Шамаев В.В., Кулиш Е.В. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ.....	129
Покинтелица Н.И. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕПЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ТЕРМОФРИКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ	136
Скидан И.А., Гайдарь О.Г. АНАЛИТИЧЕСКИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ МОДЕЛИ	141
ЦИКЛИД ДЮПЕНА ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА	141
Скидан І.А., Коломісць О.А. ЗАСТОСУВАННЯ НОРМАЛЬНИХ КООРДИНАТ В ЗАДАЧАХ ОБРОБКИ ПОВЕРХОНЬ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПУ	145
Справедливый В. И. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА С СОЛНЕЧНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ.....	150
Тамаркин М.А., Сидилева А.И., Халын Ю.Г. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ	155

Тищенко П.И. РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СВОДА ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ.....	158
---	-----

Чичикало Н.И. УСТАНОВЛЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОПТИМАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ	164
--	-----

Котельников В.С., Короткий А.А., Симонов Д.Н., Микушевич Ф.Э., Шишков Н.А., Панасенко Н.Н., Шестакова И.А., Синельщиков А.В., Синельщикова Л.С., Жиякова Н.Ю., Хахов А.А., Веселев В.Н., Юзиков В.П. РИСК АВАРИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ КРАНОВ	171
--	-----

Kolev B.V. HARDENABILITY IN NEW HIGH WEAR RESISTANT MULTICOMPONENT STEELS AND CAST IRONS	174
--	-----

Georges Thill FROM GLOBAL DEPENDENCE TO SUSTAINABLE INTERDEPENDENCE TOWARDS GLOBAL QUALITY THROUGH HUMAN ASSOCIATIVE NETWORKING	188
--	-----

Кравченко В.М. ВЛИЯНИЕ ЗАКОНОВ НАРАБОТКИ МАШИНЫ НА ОТКАЗ НА ИЗМЕНЕНИЯ ВО ВРЕМЕНИ КОЭФФИЦИЕНТ ЕЕ ГОТОВНОСТИ И КОЛИЧЕСТВО НЕОБХОДИМЫХ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ.....	199
---	-----

Ковалев В.Д. РЕЗУЛЬТАТЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ СТАНКОВ.....	203
---	-----

Мерзуг Д., Спусканюк А.В. ТЕХНОЛОГИЯ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ГИДРОШТАМПОВКИ ЗАГОТОВОК ИНСТРУМЕНТОВ.....	208
--	-----

Тамаркин М.А., Сидилева А.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЪЕМА МЕТАЛЛА И ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННОЙ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ	216
---	-----

ПРАВИЛА

представления рукописей в международный сборник научных трудов
Донецкого государственного технического университета
«Прогрессивные технологии и системы машиностроения»

Содержание рукописей должно отражать новые достижения науки и техники в области машиностроения, их практическое значение, соответствовать технической направленности сборника и представлять интерес для широкого круга специалистов.

В рукописи должно быть кратко изложено то новое и оригинальное, что разработано авторами, показано преимущество перед аналогами предлагаемых разработок, описаны их особенности и практическая значимость. Результаты работы не должны представляться в виде тезисов.

Языки представления рукописей: украинский, русский, английский и немецкий.

Сборник научных трудов является специальным изданием в котором могут публиковаться результаты диссертационных работ, так как он включен в перечень ВАК Украины (Перелік № 1 наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Додаток до постанови президії ВАК України від 9 червня 1999 р. № 1 – 05/7).

ОСНОВНАЯ ТЕМАТИКА СБОРНИКА

1. Практика и перспективы создания и применения прогрессивных технологий.
2. Информационные технологии (CAD/CAM/CAE). Механизация и автоматизация производственных процессов. Проблемы мехатроники и мехатронные технологии.
3. Проблемы проектирования и применения инструментов, прогрессивные инструментальные материалы и их обработка.
4. Автоматизация конструкторской и технологической подготовки производства, прогрессивное оборудование.
5. Управление качеством, метрология, сертификация, диагностика, надежность и эксплуатация технологических систем.
6. Специальные и нетрадиционные технологии, экономические проблемы машиностроения.

7. Вопросы моделирования и расчетов сложных технических систем.
8. Эргономические и экологические проблемы машиностроения.

В рамках сборника можно представлять рекламу продукции, которая будет помещена после рукописей статей.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Для принятия решения о включении рукописи Вашей статьи в сборник необходимо выслать в адрес редакционной коллегии следующее:

- заявку и сведения об авторах статьи;
 - рукопись статьи в двух экземплярах (второй экземпляр статьи должен быть подписан всеми авторами);
 - акт экспертизы (один экземпляр);
 - дискету 3,5 дюйма с записью текста статьи.
- Публикация статей в данном сборнике платная.

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ

1. Текст рукописи статьи от 5 до 10 страниц на белой бумаге формата А4 (210х297 мм) с полями: верхнее и нижнее 30 мм, левое и правое 25 мм. Страницы не нумеровать (нумерацию выполнить карандашом в нижнем правом углу). Рукопись статьи оформить с применением редактора WinWord (не ниже версии 6,0) шрифтом Times New Roman размером 14, распечатать в двух экземплярах с высоким качеством печати.
2. Порядок оформления. Материалы должны отвечать следующей структурной схеме: название, фамилии и инициалы авторов, сокращенное название организаций, города, страны, аннотация на английском языке, основной текст, выводы, список литературы. **Название** печатать прописными(жирными) буквами, не отступая от верхнего поля, без переносов, центрировать. Через 1,5 интервала строчными буквами – **фамилии и инициалы** авторов (жирными), в круглых скобках курсивом – сокращенное название *организаций*, название *городов, стран* (через запятую, центрировать). Через 1,5 интервала – материалы статьи (язык изложения – по выбору авторов, межстрочный интервал 1). См. образец оформления материалов.

3. Графический материал (рисунки, графики, схемы) следует выполнять в формате *.bmp, *.gif, *.pcx, *.dwg размерами не менее 60х60 мм внедренными объектами (по ходу материалов). Все позиции, обозначенные на рисунке, должны быть объяснены в тексте. Позиции на рисунке должны располагаться по часовой стрелке. Под каждым рисунком указывается его номер и название, например: Рис. 3. Схема устройства. Каждый рисунок должен иметь один интервал сверху и снизу.

4. Формулы и математические знаки должны быть понятны. Показатели, степени и индексы должны быть меньше основных знаков и выполняться в соответствии с редактором формул Microsoft Equation. Формулы номеруются (справа в круглых скобках, не отступая от правого поля), только в том случае, если на них в тексте имеются ссылки. Между крайними знаками формулы и текстом должен выполняться один интервал. Формулы выполняются курсивом.

Размер формул для Microsoft Equation

Full (обычный).....	14 pt
Subscript/Superscript (крупный индекс).....	10 pt
Sub-Subscript/Superscript (мелкий индекс).....	8 pt
Symbol (крупный символ).....	16 pt
Sub-Symbol (мелкий символ).....	12 pt

5. Все таблицы должны иметь название и порядковый номер и располагаться после упоминания по тексту, например: Таблица 2. Классификация муфт. Каждая таблица должна иметь один интервал сверху и снизу.

6. **Список литературы** должен быть приведен в конце статьи в соответствии с образцом. Перечень ссылок должен быть составлен в порядке упоминания в тексте. Ссылки на литературу заключаются в квадратные скобки.

7. Текст рукописи статьи требуется записать на дискету 3,5 дюйма, которую нужно подписать следующим образом: фамилии и инициалы авторов, название статьи.

8. Материалы рукописи представляются без изгибов.

9. Материалы, не отвечающие перечисленным требованиям и тематике данного сборника, а также поступившие в редакционную коллегию с опозданием, опубликованы не будут.

ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА СБОРОЧНЫХ СИСТЕМ

Иванов И.И., Петров П.П. (ДонГТУ, БГТУ, г. Донецк, г. Брянск, Украина, Россия)

The efficient design of assembly machinery is vitally importantas noun description of functions of presented in the paper

Сборочные системы являются сложными иерархическими системами. Одним из условий [1] повышения производительности ... сборочных технологических систем (рис. 5).

Список литературы: 1. Ким И.П. Исследование эффективности роторных машин. – К.: КПИ, 1985. – 123 с. 2. Устюгов А.В. Надежность технологических машин. – Донецк: ДонГТУ, 1998. – 425 с.

Адрес редакционной коллегии:

Украина, 83000, г. Донецк, ул. Артема. 58, ДонГТУ, Кафедра «Технология машиностроения», Редакционная коллегия сборника.

Тел. (022) 93-60-02, факс (0622) 93-60-02

E-mail: tm@mech.dgtu.donetsk.ua

http:// www.dgtu.donetsk.ua

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Международный
сборник научных трудов

Макет подготовил Белоконь О.М.

Подп. к печати 15.01.2000г.	Формат 60×84 $\frac{1}{16}$	Бумага polspeed.
Ризографическая печать.	Усл.-печ. л. 11,47.	Усл. кр.-отт. 11,77.
Уч.-из. л. 12,51.	Тираж 300 экз.	Заказ № 4.

Издательско-полиграфический центр «Технополис»

83000, г. Донецк, пр. Дзержинского 1