

УДК 539.3

Г. А. Старушенко, Б. Е. Рогоза

ОБЗОР И АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ МОДЕЛИ В МЕХАНИКЕ КОМПОЗИТОВ.

ЧАСТЬ I

Введение. Трехфазная модель композита была впервые использована в 1956-58 г.г. Кернером [12] и Ван дер Полем [14]. Суть этой модели состоит в замене всей периодической структуры, кроме одной ячейки, однородной осредненной средой с неизвестными приведенными характеристиками. Далее искомые эффективные параметры определяются из энергетического принципа: энергии, запасенные в композите и эквивалентной гомогенной среде, равны.

К достоинствам трехфазной модели следует отнести:

- возможность применения к исследованию композитов различной формы и структуры: волокнистых – с включениями различного профиля; пространственно неоднородных композитных массивов – со сферическими и кубическими включениями и др.;
- независимость общей схемы применения модели от геометрических и физических характеристик матрицы и включений композита;
- возможность применения и обобщения для широкого класса задач: полидисперсных моделей; периодически неоднородных сред с одинаковыми включениями различного профиля; к структурам с более сложной геометрией – произвольным (непериодическим) характером расположения включений; с включениями различных размеров и др.

1. Трехфазные модели композитов с цилиндрическими и сферическими включениями

Решения задач для композитов с цилиндрическими и сферическими включениями с использованием трехфазной модели приведены в трудах Р.М. Кристенсена [3,8]. Изложим основные

принципы построения трехфазной модели и полученные на ее основе результаты.

1. Рассматривается непрерывная упругая среда с упругими сферическими включениями различного размера и определяется решение задачи о нахождении эффективного модуля сдвига этой структуры. Распределение размеров включений не случайное, а имеет определенный частный характер: отношение радиуса a вставки Ω^- к радиусу b матрицы Ω^+ принято постоянным для каждой составной частицы независимо от ее абсолютного размера (рис. 1.1). Это означает, что распределение размеров частиц должно быть таково, чтобы весь объем был заполнен составными частицами с $a/b = \text{const}$. Очевидно, что такое распределение требует, чтобы размеры частиц уменьшались до бесконечно малых. Такая модель была предложена Хашином [9].

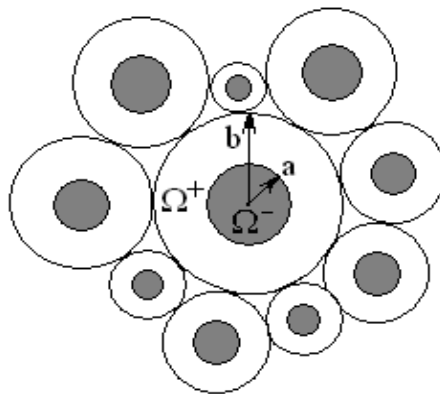


Рисунок 1.1 – Непрерывная упругая среда с упругими сферическими включениями с отношением радиусов $a/b = \text{const}$

Для решения задачи используется трехфазная модель композита, суть которой состоит в том, что заменяются все, за исключением одной, составные сферические частицы эквивалентной гомогенной средой (рис. 1.2).

Предполагается также, что бесконечная область подвержена однородной деформации на большом расстоянии от начала координат. Внешний слой $\tilde{\Omega}$, будучи эквивалентной гомогенной средой, имеет неизвестные эффективные свойства $\tilde{\mu}$ и \tilde{k} . Модель композита, представленная на рис. 1.2, эквивалентна эффективной гомогенной среде при условии, что энергия деформирования обеих систем одинакова при равенстве осредненных деформаций. Таким образом, искомые эффективные свойства входят в обе задачи о критерии

эквивалентности, а не только в задачу о нагружении эквивалентной гомогенной среды.

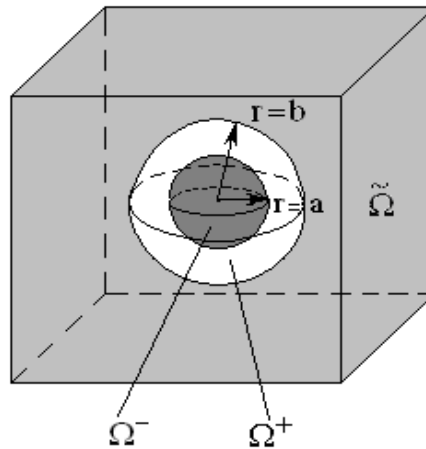


Рисунок 1.2 – Трехфазная модель композита со сферическими включениями

Метод решения задачи с использованием трехфазной модели аналогичен решению для упругих сред с малой объемной долей сферических частиц. В условиях деформации чистого сдвига на большом расстоянии от начала координат выражения для перемещений в сферических координатах r, θ, φ представляются в виде:

$$u_r = u_r(r) \sin^2 \theta \cos 2\varphi; \quad u_\theta = u_\theta(r) \sin \theta \cos \theta \cos 2\varphi; \quad u_\varphi = u_\varphi(r) \sin \theta \sin 2\varphi, \quad (1.1)$$

где u_r, u_θ, u_φ – неизвестные функции r , подлежащие определению из уравнений равновесия.

Определение отдельно решения для всех трех областей, показанных на рис. 1.2 (области включения Ω^- , области матрицы Ω^+ и эквивалентной гомогенной среде $\tilde{\Omega}$), приводит к следующим результатам:

$$u_r^- = A_1 r - \frac{6\nu^-}{1-2\nu^-} \cdot A_2 r^3; \quad u_\theta^- = A_1 r - \frac{7-4\nu^-}{1-2\nu^-} \cdot A_2 r^3; \quad u_\varphi^- = -u_\theta^-; \quad (1.2)$$

$$u_r^+ = B_1 r - \frac{6\nu^+}{1-2\nu^+} \cdot B_2 r^3 + \frac{3B_3}{r^3} + \frac{5-4\nu^+}{1-2\nu^+} \cdot \frac{3B_4}{r^2}; \quad (1.3)$$

$$u_\theta^+ = B_1 r - \frac{7-4\nu^+}{1-2\nu^+} \cdot B_2 r^3 - \frac{2B_3}{r^3} + \frac{2B_4}{r^2}; \quad u_\varphi^+ = -u_\theta^+;$$

$$\tilde{u}_r = D_1 r + \frac{3D_3}{r^4} + \frac{5-4\tilde{\nu}}{1-2\tilde{\nu}} \cdot \frac{D_4}{r^2}; \quad \tilde{u}_\theta = D_1 r - \frac{2D_3}{r^4} + \frac{2D_4}{r^2}; \quad \tilde{u}_\varphi = -\tilde{u}_\theta, \quad (1.4)$$

где $A_1, A_2, B_1, B_2, B_3, B_4, D_1, D_3, D_4$ – константы интегрирования.

Константа D_1 в соотношении (1.4) рассматривается как заданная, т. к. она определяет состояния чистого сдвига на большом расстоянии от начала координат, т. е. при $r \rightarrow \infty$. Остальные восемь постоянных находятся из системы восьми уравнений, определяющих условия непрерывности перемещений и напряжений на границах раздела фаз:

$$u_r^- = u_r^+; \sigma_{rr}^- = \sigma_{rr}^+; \sigma_{r\theta}^- = \sigma_{r\theta}^+; \sigma_{r\varphi}^- = \sigma_{r\varphi}^+ \quad \text{при } r = a; \quad (1.5)$$

$$u_r^+ = \tilde{u}_r; \sigma_{rr}^+ = \tilde{\sigma}_{rr}; \sigma_{r\theta}^+ = \tilde{\sigma}_{r\theta}; \sigma_{r\varphi}^+ = \tilde{\sigma}_{r\varphi} \quad \text{при } r = b. \quad (1.6)$$

В полученные для констант интегрирования выражения входят эффективные свойства $\tilde{\lambda}, \tilde{\mu}, \tilde{\nu}$, из которых только два являются независимыми.

Критерий для определения эффективных свойств заключается в следующем: энергии, запасенные в композите и эквивалентной гомогенной среде, равны. В силу такого предположения определяется значение константы $D_4 = 0$. Этот результат дает возможность приравнять нулю выражение для D_4 , полученное из решения системы уравнений (1.5)-(1.6), и свести тем самым задачу определения эффективного модуля сдвига $\tilde{\mu}$ (остальные эффективные коэффициенты $\tilde{\lambda}, \tilde{\nu}$, как устанавливается в процессе решения, сокращаются) к решению квадратного уравнения вида:

$$A(\tilde{\mu}/\mu^+)^2 + 2B(\tilde{\mu}/\mu^+) + C = 0, \quad (1.7)$$

где через A, B, C обозначены некоторые постоянные величины, зависящие от известных физических характеристик матрицы и вставок $\mu^-/\mu^+, \nu^-/\nu^+$ и объемной доли включений $c = (a/b)^3$.

2. Рассматривается композит с цилиндрическими включениями, волокна которого в поперечном сечении носят стохастический характер (рис. 1.3).

Среды такого типа обладают симметрией свойств в плоскости, перпендикулярной к направлению ориентации волокон, и называются трансверсально изотропными. Такие структуры имеют пять независимых эффективных характеристик: \tilde{E}_{11} – модуль упругости при одноосном нагружении (модуль Юнга); $\tilde{\nu}_{12} = \tilde{\nu}_{13}$ – коэффициенты Пуассона; \tilde{K}_{23} – объемный модуль упругости при плоском деформированном состоянии; $\tilde{\mu}_{12} = \tilde{\mu}_{31}, \tilde{\mu}_{23}$ – модули сдвига. Задача состоит в представлении в аналитическом виде пяти эффективных

констант через свойства компонентов композита (матрицы и включения) и их объемное содержание.

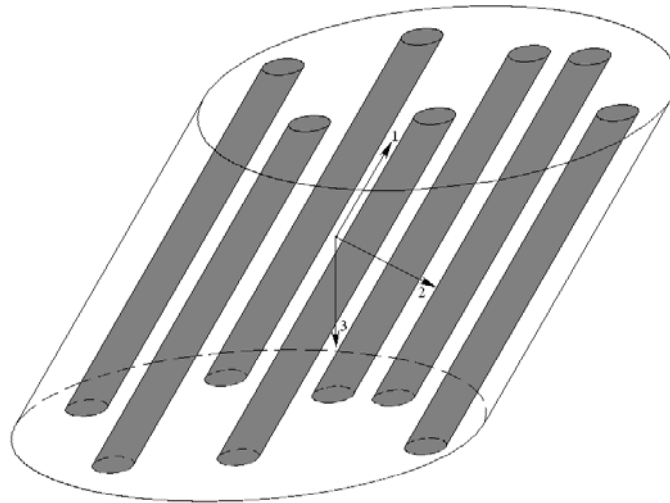


Рисунок 1.3 – Композит со стохастическими в сечении цилиндрическими включениями

Для решения задачи вводится структурная модель композита, называемая полидисперсной, и описанная Хашином и Розеном [10]. Эта модель является двумерным аналогом трехмерной полидисперсной модели среды со сферическими включениями, рассмотренной выше. Предполагается, что волокна (область Ω^-) представляют собой бесконечно длинные круговые цилиндры, заключенные в непрерывную матрицу (область Ω^+). Модель схематически представлена на рис. 1.4.

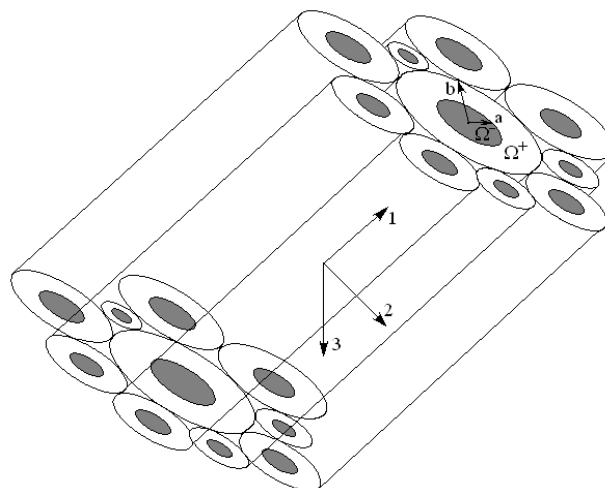


Рис. 1.4 – Полидисперсная модель композита с цилиндрическими включениями

Согласно этой модели, с каждым отдельным волокном радиуса a связана оболочка из материала матрицы радиуса b . Каждая отдельная комбинация волокна и матрицы называется составным цилиндром. Абсолютные значения радиусов a и b цилиндров различны, что создает конфигурацию, целиком заполненная этими цилиндрами. Отношение радиусов цилиндров a/b должно тем не менее оставаться постоянным. Естественно, абсолютный размер отдельных цилиндров при этом меняется вплоть до бесконечно малого. Практическое значение полидисперсной модели состоит в том, что с ее помощью определяются четыре из пяти эффективных характеристик представительного элемента объема – \tilde{E}_{11} , $\tilde{\nu}_{12}$, \tilde{K}_{23} , $\tilde{\mu}_{12}$; при этом достаточно рассматривать лишь отдельный составной цилиндр.

Однако полидисперсная модель не дает возможности определить пятый эффективный модуль трансверсально изотропной среды – модуль сдвига в плоскости изотропии $\tilde{\mu}_{23}$. Поэтому вводится трехфазная модель композитной структуры, позволяющая найти точное решение для модуля сдвига $\tilde{\mu}_{23}$.

Аналогично тому, как и в пространственном случае, все, кроме одного, составные цилиндры заменяются эквивалентной гомогенной средой (рис. 1.5).

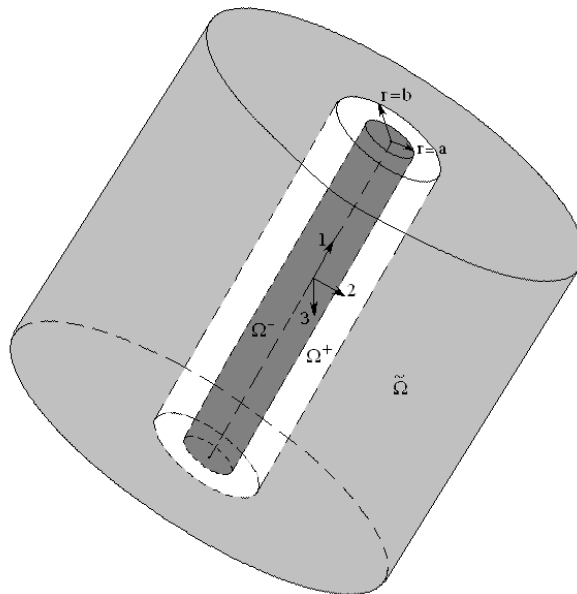


Рисунок 1.5 – Трехфазная модель композита с цилиндрическими включениями

Схема решения задачи с помощью трехфазной модели для композита с цилиндрическими включениями аналогична случаю структуры со сферическими включениями. Рассматривается представительный элемент объема, подверженный деформации сдвига. В полярных координатах r, θ деформированное состояние в волокне (область Ω^-), матрице (область Ω^+) и эквивалентной гомогенной среде $\tilde{\Omega}$ выражается соответственно в виде:

$$u_r^- = \frac{b}{4\mu^-} \left[(\eta^- - 3) \frac{r^3}{b^3} A_1 + \frac{r}{b} A_2 \right] \cos 2\theta; \quad u_\theta^- = \frac{b}{4\mu^-} \left[(\eta^- + 3) \frac{r^3}{b^3} A_1 - \frac{r}{b} A_2 \right] \sin 2\theta; \quad (1.8)$$

$$u_r^+ = \frac{b}{4\mu^+} \left[(\eta^+ - 3) \frac{r^3}{b^3} B_1 + \frac{r}{b} B_2 + (\eta^+ + 1) \frac{b}{r} B_3 + \frac{b^3}{r^3} B_4 \right] \cos 2\theta$$

$$u_\theta^+ = \frac{b}{4\mu^+} \left[(\mu^+ + 3) \frac{r^3}{b^3} B_1 - \frac{r}{b} B_2 - (\mu^+ - 1) \frac{b}{r} B_3 + \frac{b^3}{r^3} B_4 \right] \sin 2\theta \quad ; \quad (1.9)$$

$$\tilde{u}_r = \frac{b}{4\tilde{\mu}_{23}} \left[\frac{2r}{b} + (\tilde{\eta} - 1) \frac{b}{r} D_1 + \frac{b^3}{r^3} D_2 \right] \cos 2\theta$$

$$\tilde{u}_\theta = \frac{b}{4\tilde{\mu}_{23}} \left[-\frac{2r}{b} - (\tilde{\eta} - 1) \frac{b}{r} D_1 + \frac{b^3}{r^3} D_2 \right] \sin 2\theta \quad , \quad (1.10)$$

где

$$\eta^\pm = 3 - 4\nu^\pm; \quad \tilde{\eta} = 3 - 4\tilde{\nu}_{23}. \quad (1.11)$$

Легко показать, что соотношения (1.8)-(1.10) удовлетворяют уравнениям равновесия. При $r \rightarrow \infty$ соотношения (1.10) описывают заданное состояние чистого сдвига. Модуль $\tilde{\mu}_{23}$ и коэффициент Пуассона $\tilde{\nu}_{23}$ являются неизвестными эффективными константами эквивалентной гомогенной среды.

Восемь неизвестных констант $A_1, A_2, B_1, B_2, B_3, B_4, D_1, D_2$ определяются из условий неразрывности перемещений и напряжений $u_r, u_\theta, \sigma_r, \sigma_{r\theta}$ на границах раздела фаз $r = a, r = b$. Эти условия приводят к системе восьми независимых уравнений.

Принятый критерий определения эффективных свойств требует равенства энергий деформирования гетерогенной среды и эквивалентной гомогенной среды. Использование этого условия позволяет найти, что константа D_1 обращается в ноль. Соотношение, полученное приравниванием нулю выражения для D_1 , преобразуется к квадратному уравнению

$$A(\tilde{\mu}_{23}/\mu^+)^2 + 2B(\tilde{\mu}_{23}/\mu^+) + C = 0, \quad (1.12)$$

из которого и определяется модуль сдвига в плоскости изотропии $\tilde{\mu}_{23}$ для модели композита, представленной на рис. 1.4; при этом, в выражения для констант A, B, C входят величины, характеризующие физические параметры структуры и объемные доли компонент $c = (a/b)^2$. Важно отметить, что выражение $\tilde{\mu}_{23}$ (1.12) не зависит от других эффективных констант, несмотря на то, что $\tilde{\nu}_{23}$ входит в исходные уравнения задачи (1.10), (1.11).

Таким образом, анализируя приведенные решения, заключаем, что наибольшие трудности возникают именно при определении эффективного модуля сдвига композита в плоскости изотропии, и именно при нахождении этого параметра целесообразно использование трехфазной модели, позволяющей получить точное аналитическое решение задачи.

Отметим при этом, что с математической точки зрения рассмотренная задача об определении эффективного модуля сдвига идентична задаче о теплопроводности композитного массива [6]. В этой связи представляется целесообразным использование трехфазной модели для исследования теплопроводности композитного массива с периодически расположенными цилиндрическими включениями. Предлагаемый далее подход основан на сочетании трехфазной модели композитной среды с теорией осреднения.

Получено 06.04.2007 г.

УДК 669.013.002.5

Д.З. Шматко, Е.В.Кочнева

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАГРУЖЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ПОРТАЛЬНОЙ МАШИНЫ НА ПНЕВМОКОЛЕСНОМ ХОДУ

Научно-технический прогресс во многих отраслях промышленности тесно связан с разработкой и внедрением новых технологических линий, для которых обязательными являются транспортные операции. В условиях реконструируемых и вновь строящихся цехов необходимы компактные, маневренные машины, не требующие больших производственных площадей, способных работать в автономном режиме. Этим требованиям вполне удовлетворяют порталные машины на пневмоколесном ходу, которые благодаря своей компоновке приспособлены для транспортирования контейнеров, поддонов, термосов в зависимости от вида груза и его температуры. Это все характеризует порталные подъемно-транспортные машины как машины напольного безрельсового транспорта (МНБТ), которые относятся к погрузочно-разгрузочным машинам циклического действия и производят следующие операции: захват груза, его подъем и опускание, транспортирование, освобождение груза с захвата. МНБТ обладают универсальностью вследствие возможности применения широкой номенклатуры быстро заменяемых грузозахватных приспособлений в сочетании с мобильностью, автономностью привода и отсутствия привязки к определенному месту.

В ряде работ [1,2,3] были задачи по созданию математической модели расчета реальных нагрузок в процессе эксплуатации порталных подъемно-транспортных машин, которая базируется на существующих методах их оценки и учитывает динамическое нагружение несущей системы при преодолении дорожных препятствий и неровностей технологических дорог металлургических заводов.

Поскольку некоторые параметры разработанной математической модели можно определить только экспериментальным путем, была поставлена задача экспериментального исследования в лабораторных

условиях прототипа подъемно-транспортной порталной машины на пневмоколесном ходу.

В разработанной математической модели [2,3] получены расчетные нагрузки на лонжероны в продольной вертикальной плоскости, на поперечины вертикальной плоскости, динамическая нагрузка, направленная на складывание рамы в своей плоскости. Поэтому целью экспериментальных исследований ставилась проверка адекватности математической модели и расчетных схем действительным режимам нагружения машины при ее работе.

В качестве прототипа подъемно-транспортной порталной машины на пневмоколесном ходу при проведении экспериментального исследования была создана лабораторная установка, представляющая собой сварную раму с поддоном на четырёх штангах, при этом вся конструкция на пневмоколесном ходу (рис. 1). Для нашего случая были приняты колёса с покрышками типа 185/70 R14

В качестве метода экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния силовых элементов конструкций, в частности прочностных испытаний, был принят электротензометрический метод.

Для проведения экспериментального исследования использовалась стандартная тензометрическая аппаратура, а именно: усилитель «Топаз – 3» и осциллограф К12 – 22.

Указанная аппаратура позволяет регистрировать процессы в диапазоне частот 0...500 Гц.

Для замера напряжений в силовых элементах конструкции использовались проволочные тензорезисторы и специальные гибкие месдозы.

Тарировка тензорезисторов производилась косвенным способом с использованием балочки равного сопротивления. Гибкие месдозы в рабочее положение устанавливались при помощи точечной сварки по контуру.



Рисунок 1 - Лабораторная установка на пневмоколесном ходу

Тарировка тензорезисторов производилась косвенным способом с использованием балочки равного сопротивления. Гибкие месдозы в рабочее положение устанавливались при помощи точечной сварки по контуру.

Нагружение силовых элементов портальной несущей системы производилось при трех характерных режимах: 1) движении по неровностям горизонтального участка дороги завода (расчетный случай для лонжеронов рамы); 2) косом наезде на препятствия (расчетный случай для поперечины рамы и стоек несущей системы в поперечной вертикальной плоскости; 3) фронтальном наезде на бордюр высотой 100 мм одним колесом со скоростью 5км/ч (расчетный случай для рамы против складывания в своей плоскости).

На рис.2 представлена схема портальной несущей системы, указаны места, где устанавливаются тензорезисторы. Тензорезисторы 1, 2 устанавливались на верхней полке лонжерона и фиксировали напряжения чистого изгиба в продольной вертикальной плоскости по первому режиму нагружения. Тензорезисторы 3, 4 устанавливались на верхней полке поперечины и фиксировали напряжения при изгибе в поперечной вертикальной плоскости по второму режиму нагружения. Тензорезисторы 5, 6 устанавливались в корневых сечениях стоек и фиксировали напряжения при изгибе стоек в поперечной вертикальной плоскости по второму режиму нагружения. Тензорезистор 7, 8 устанавливался в корневом сечении стойки, которая наезжала на бордюр и фиксировала напряжения при изгибе стойки в продольной вертикальной плоскости по третьему режиму нагружения. Тензорезистор 9 устанавливался на боковой стенке лонжерона рамы и фиксировал напряжения по первому режиму нагружения.

Первый режим нагружения. Запись напряжений производилась на характерном горизонтальном участке дороги протяженностью 10 м на котором перевозился груз. Эксперимент повторялся трижды.

Второй режим нагружения. Нагружение производилось при преодолении бордюра дороги высотой 100 мм. Номинально груженная лабораторная установка подъезжала к бордюру под углом до 5°. Эксперимент повторялся трижды.

Третий режим нагружения. Запись напряжений производилась при фронтальном наезде левым передним колесом на бордюр высотой 100 мм со скоростью $v_0 = 0,5$ м/с.

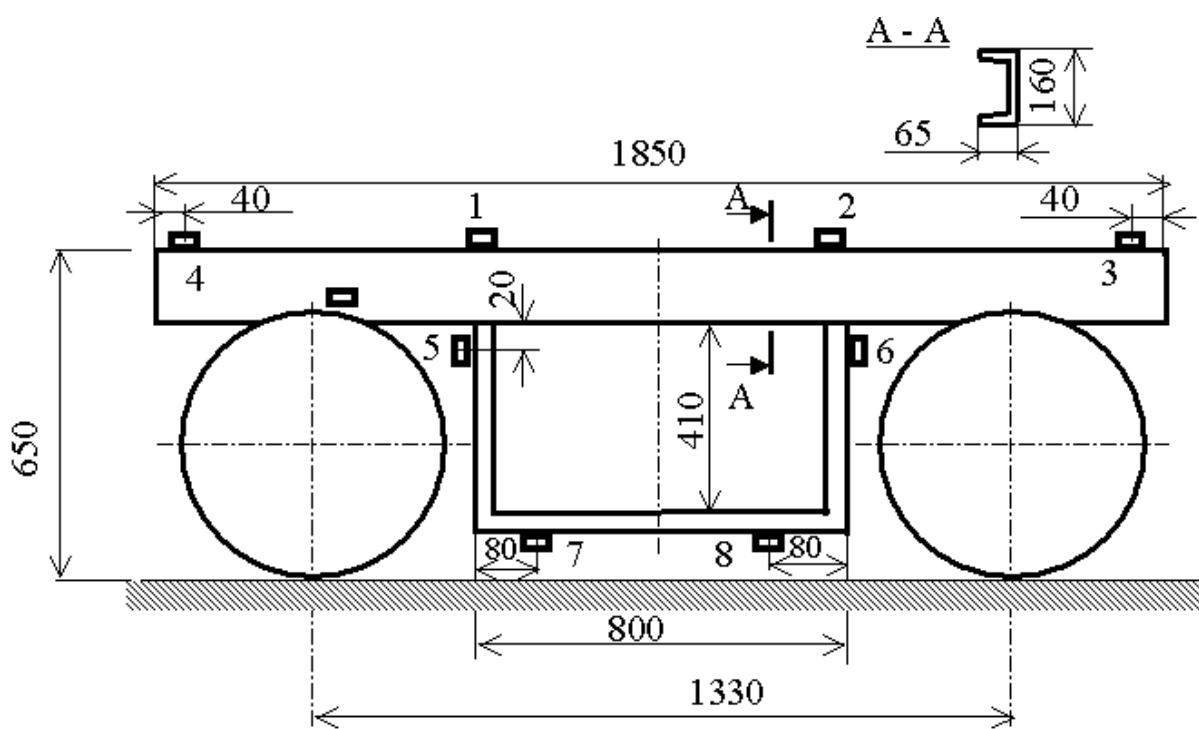


Рисунок 2 - Схема расположения тензорезисторов на лабораторной установке

Экспериментальное исследование нагружения portalной несущей системы выполнено в соответствии с приведенной выше программой и методикой. Кривые, построенные по характерным осциллограммам напряжений в точках 1 и 2 лонжерона (рис. 2), представлены на рис.3, где приняты следующие обозначения: σ_{ci} – статическое напряжение в сечении установки i – го тензорезистора; σ_{di} – динамическое напряжение в сечении установки i – го тензорезистора. Коэффициент динамичности

$$K_d = \frac{P_d}{P_c}, \text{ или } K_d = \frac{\sigma_d}{\sigma_c}. \quad (1)$$

Оценка адекватности математической модели производилась по формуле

$$\delta = \frac{K_{\partial T} - K_{\partial \partial}}{K_{\partial T}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где δ – показатель адекватности;

$K_{\partial T}$ – теоретический коэффициент динамичности;

$K_{\partial \partial}$ – экспериментальный коэффициент динамичности.

При определении значений теоретического коэффициента динамичности $K_{\partial T}$, значения динамической нагрузки P_{∂} , определялись по выражению расчетной вертикальной нагрузки для лонжеронов портальной машины [3].

$$P_p = \frac{m_r g}{4} \left\{ 1 + \frac{16 C_u m_r \Omega^2 h_0}{m_r g [m_r m_k (\Omega^2)^2 / C_k - (m_r + m_k) \Omega^2 + 4 C_u]} \right\} \quad (3)$$

Значения статической нагрузки P_c принимаются из характерных осциллограмм напряжений статического нагружения рамы несущей системы лабораторной установки

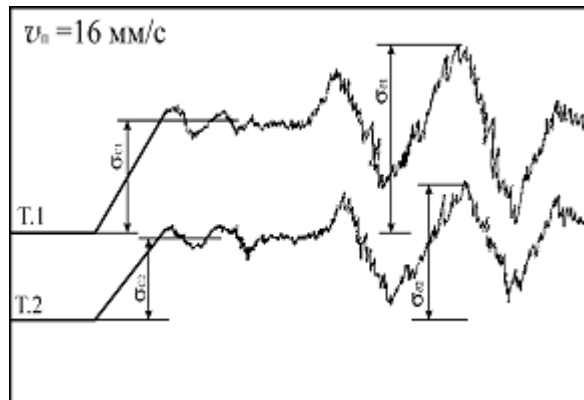


Рисунок 3 - Кривые по осциллограммам напряжений в лонжеронах по первому режиму нагружения

На рис.4 представлены кривые, построенные по характерным осциллограммам напряжений в штангах и поперечине несущей системы по второму режиму нагружения.

Показатель адекватности

$$\delta = \frac{\sigma_T(i) - \sigma_{\partial}(i)}{\sigma_T(i)} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $\sigma_T(i)$ – теоретическое значение напряжения в i -й точке;

$\sigma_{\partial}(i)$ – экспериментальное значение напряжения в i -й точке.

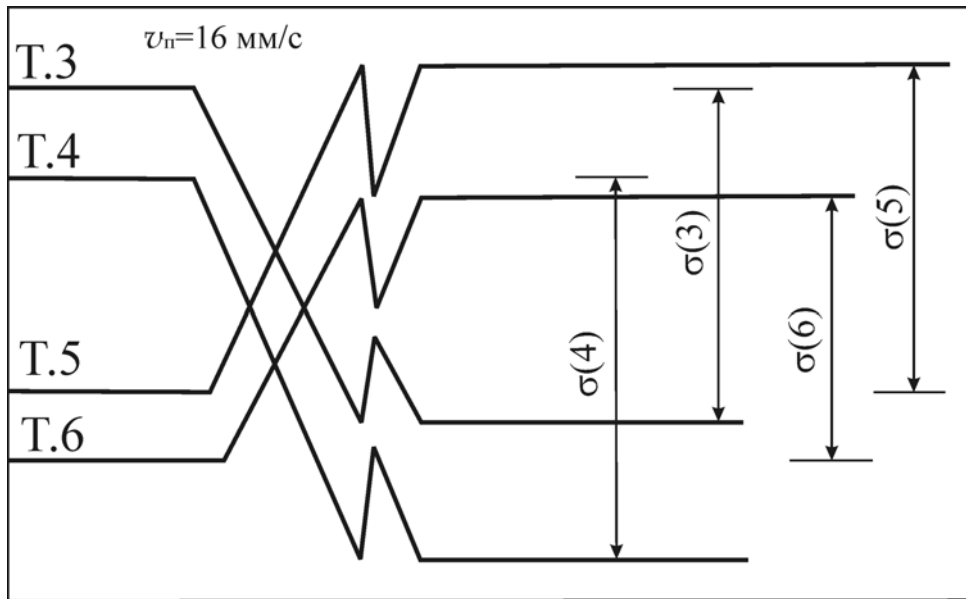


Рисунок 4 - Кривые по осциллограммам напряжений в стойках поддона и поперечине по второму режиму нагружения

На рис. 5 представлены кривые, построенные по осциллограммам напряжений в раме поддона, воспринимающей удар при наезде на бордюр, и в примыкающем к стойке лонжероне. По третьему режиму нагружения.

Усредненные по трем замерам значения напряжений, а также оценка адекватности математической модели сведены в таблице 1.

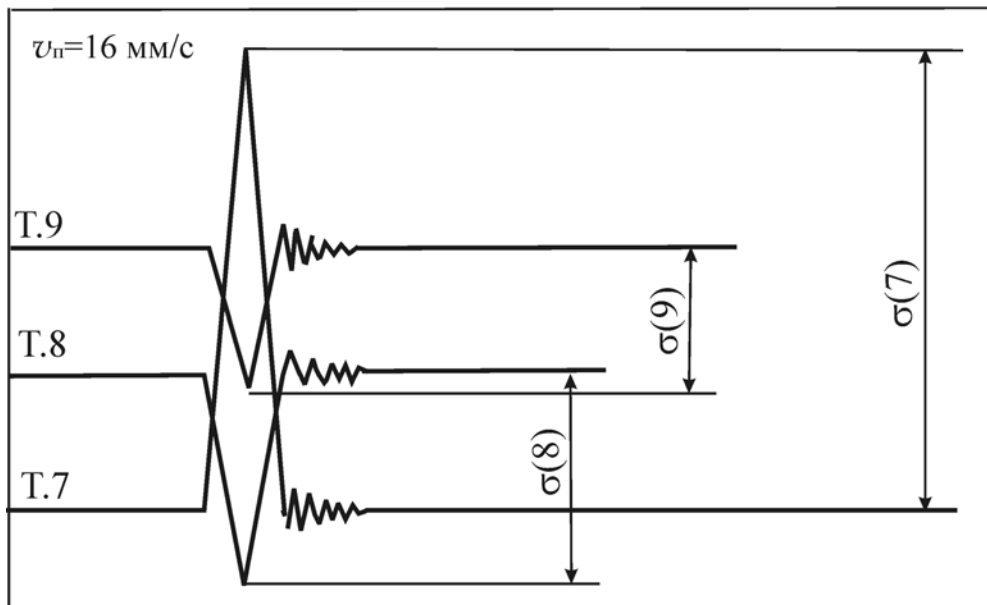


Рисунок 5 - Кривые по осциллограммам напряжений в стойке, поддоне и лонжероне по третьему режиму нагружения

Таблица 1

Оценка адекватности математической модели по трем режимам нагружения

Параметр	Номер тензорезистора								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N_T									
σ_{c1} , МПа	8,56	8,56	8,56	8,56	10,32	10,32	12,5	12,5	8,42
σ_{g1} , МПа	10	10,4	10,7	10,6	12,7	12,8	15,6	15,3	10,1
$K_{гэ}$	1,2	1,21	1,25	1,24	1,23	1,24	1,25	1,22	1,2
$K_{гт}$	1,29	1,27	1,32	1,32	1,29	1,29	1,32	1,32	1,3
δ , %	5,6	3,7	6,4	6,4	6,8	5,8	7,0	7,0	5,8

Экспериментальные исследования на лабораторной установке подтвердили правильность разработанной математической модели формирования величин нагрузок и принятой расчетной схемы несущей системы. Расхождение между теоретическим и экспериментальным значениями профилирующих нагрузок по первому расчетному случаю не превышает - 5,6%, по второму – 6,8%, по третьему – 7,0%, причем экспериментальные значения ниже теоретических.

Такое соотношение приемлемо, поскольку идет в запас прочности несущих систем и в запас надежности порталной машины в целом.

Напряжения в т. 1 т. 2 лонжероне (рис. 2) на первом режиме нагружения (рис. 3) свидетельствуют о том, что максимальные вертикальные нагрузки на несущую конструкцию реализуются во время колебаний “подпрыгивания”, что подтверждает правильность аналитического выражения (3) расчетной вертикальной нагрузки. Это явление объясняется компоновкой порталной машины, когда присутствуют колебания “галопирования”, которые продуцируют существенные линейные перемещения в продольной плоскости.

Таким образом, проведенные лабораторные исследования позволяют сделать следующий вывод.

Результаты экспериментов подтвердили адекватность разработанной математической модели, описывающей нагруженность порталной несущей системы, принятым расчетным схемам. Точность результатов экспериментов находится в пределах точности стандартной измерительной аппаратуры при использовании тензометрического метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шматко Д.З. Разработка инженерной методики проектирования несущих систем металлургических порталных машин на пневматическом ходу // Системні технології. – Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП “Системні технології”, 2002. – Вип. 5 (22). – С. 119–127.
2. Шматко Д.З. Исследование поперечных колебаний несущей системы технологического порталного автомобиля // Системні технології. – Регіон. міжвуз. зб. наук. праць. – Дніпропетровськ: ДНВП “Системні технології”, 2002. – Вип. 2(19). – С. 82-86.
3. Бейгул О.О., Шматко Д.З., Коробочка О.М., Лепетові Г.Л. Технологічні і конструктивні параметри несучих систем порталних підйомно-транспортних машин: Монографія. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 167 с.

Получено 03.09.2007 г.

УДК 621.002:681.324

Е.Л. Первухина, Т.Л. Степанченко, В.В. Голикова

**ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕДУРЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Решение актуальной задачи принятия решений о годности готовых машиностроительных изделий к эксплуатации, являющейся частью более общей задачи управления качеством, во многом зависит от математического обеспечения автоматизированных систем стендовых испытаний на завершающем этапе производства [1]. В ходе испытаний экспериментально определяют количественные и качественные характеристики свойств изделий, т.е. проводят оценку конструкции и проверяют соответствие техническим требованиям. К сожалению, многие отечественные предприятия, обладая автоматизированными системами управления качеством, не располагают методологией создания для них необходимого математического обеспечения, отвечающего современному уровню сложности изделий и ужесточающимся требованиям к качеству, в том числе, надежности и безопасности. Основой математического обеспечения систем испытаний должны быть модели многомерных процессов, учитывающие причинно-следственные зависимости между основными диагностическими параметрами изделий и позволяющие по результатам анализа экспериментальной информации с наименьшими ошибками отбраковывать изделия, несоответствующие техническим требованиям.

К настоящему времени существует развитая теория принятия решений по результатам статистического контроля сложных объектов и систем, в том числе, на основе временных рядов измерений параметров. Однако большинство методов разработано в предположении независимости и нормального распределения наблюдаемых случайных величин, что редко выполняется на практике. Среди публикаций, раскрывающих принципы анализа временных рядов с учетом автокорреляций и других систематических воздействий, можно указать работу [2]. Основная идея подхода связана с заменой алгоритмов анализа процессов измерений

параметров стандартными процедурами и диаграммами статистического контроля для анализа ошибок моделирования. Однако рассматриваются только одномерные случайные процессы и результаты не могут быть распространены на случай исследования многомерных процессов.

Целью работы является организация процедуры принятия решений по результатам мониторинга технического состояния машиностроительных изделий в ходе их стендовых испытаний. Базой предлагаемого подхода являются стохастические многомерные модели, построенные по результатам измерений диагностических параметров изделий с учетом связей между ними. Модели используются для анализа коэффициента линейной зависимости между нестационарными процессами изменения параметров. Разработанное программное обеспечение позволяет принимать решения о годности изделий к эксплуатации в реальном времени испытаний.

При ограничении класса испытаний приемосдаточными и контрольными испытаниями после сборки, в ходе которых наблюдения за рабочими процессами готовых изделий проводят пассивно без применения регулировочных схем и звеньев, термин «контроль» используют в значении мониторинга технического состояния и под обратной связью понимают рекомендации сборочному цеху. При формализации задач испытаний учитывают их специфику. С одной стороны, технологический процесс изготовления стабилен и контролируемые параметры при работе изделий на номинальных режимах группируются вокруг некоторого эталона, репрезентативного для изделий данного класса. Учитывают приведенные к стандартным условиям значения параметров, исключая влияние атмосферных условий и регламентируя режимы испытаний [3]. Отклонения параметров от эталонных уровней имеют вид экстремальных индивидуальных наблюдений (хвостов) или аномальных последовательностей (отклонений выше и ниже некоторого уровня). Их обнаруживают по графикам изменения параметров во времени или при обзоре контрольных диаграмм, как например Шухарта, кумулятивных сумм, экспоненциально взвешенного скользящего среднего. Окончательное решение о годности изделия к эксплуатации принимают по результатам

проверки нулевой гипотезы о совпадении характеристик законов распределения параметров на текущем и эталонном режимах функционирования [2]. Отклонение нулевой гипотезы (принятие альтернативной) равносильно отнесению испытуемого изделия к классу негодных к эксплуатации.

С другой стороны, для более полного представления о техническом состоянии изделий и, следовательно, готовности к эксплуатации, измерения параметров, например, в ходе приемосдаточных испытаний, ведут на различных режимах. При этом установлено [4,5], что в отсутствие конструкторских или технологических дефектов статистические связи между параметрами при изменении режимов функционирования изделий остаются стабильными. При наличии дефектов или развивающихся повреждений связи нарушаются.

Кроме описанной специфики испытаний следует учитывать неконтролируемые дополнительные погрешности результатов, обусловленные неадекватностью используемых моделей процессам и изделиям (особенно новым или модернизированным) при неполном учете технологических факторов. Эти погрешности, как показывает практика испытаний, могут быть значительными и превосходить погрешности измерений [6].

Таким образом, в ходе испытаний измерительная информация представляет случайные процессы измерения диагностических (косвенных) параметров, характеризующих рабочие процессы изделий, в равноотстоящие моменты времени. Задача принятия решений формулируется в виде выбора одного из двух вариантов (пригодно изделие к эксплуатации или нет) в зависимости от результатов наблюдения этих случайных процессов.

В общем случае процесс принятия решений организован как система, состоящая из набора типовых подсистем и их элементов, взаимодействующих между собой, число и состав которых может меняться в зависимости от условий испытаний, контролируемых параметров и критерия выбора. Входным элементом системы является информация о номинальных (эталонных) значениях контролируемых параметров, выходным - оптимальное (относительно выбранного критерия) решение.

Исходя из специфики испытаний, для оптимальной (по времени и достоверности результатов) организации процесса принятия решений представляется важным наряду с обычным контролем параметров установить причинно-следственные зависимости между параметрами и отслеживать динамику этих зависимостей [7,8]. Поэтому по-прежнему актуальным является использование моделей временных рядов, поскольку они делают возможным изучение автокоррелированных процессов и случайных величин, поведение которых описывается законом распределения, отличным от нормального. При этом многомерные случайные процессы последовательных измерений основных параметров следует рассматривать не просто как совокупности взаимосвязанных элементов – скалярных процессов, а как единые динамические процессы. Появившиеся в последнее время в теории временных рядов новые методы анализа позволяют установить зависимости между такого рода нестационарными случайными процессами. Пример выявления зависимости между случайными процессами измерений трех параметров, характеризующих работу карбюраторного двигателя внутреннего сгорания в ходе контрольных испытаний: удельного расхода топлива g_e (г/э.лс.ч), разряжения давления во впускном коллекторе H (мм.рт.ст.), содержания СН в отработавших газах (млн-1) – приведен в работе [7]. Все три процесса являются нестационарными со стационарными приращениями, между которыми, как показали исследования, существует линейная зависимость. Эта зависимость характеризуется коэффициентом линейной комбинации между исходными нестационарными процессами, представляющим стационарную случайную величину (на рис. 1 процесс ее изменения представлен жирной линией) с эмпирическим распределением, близким к нормальному (рис.2).

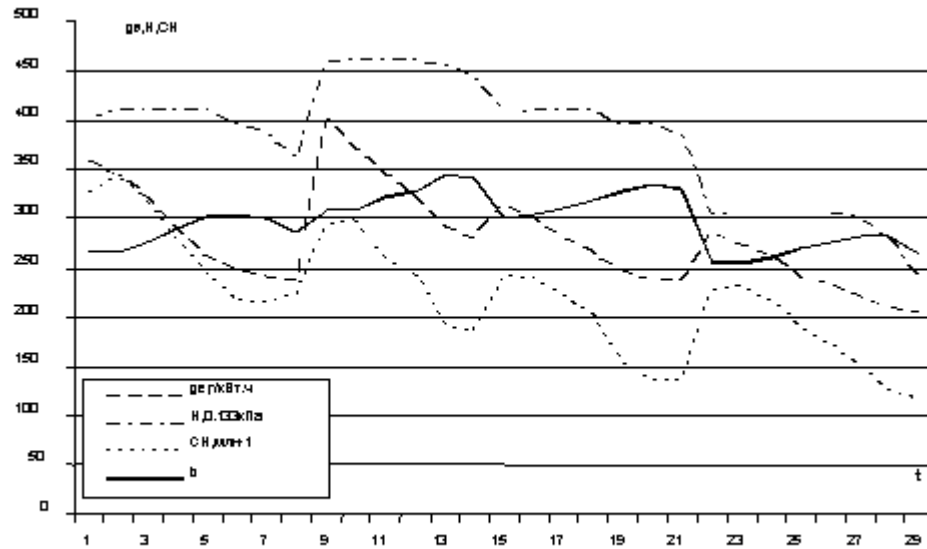


Рисунок 1 – Коинтегрированные временные ряды измерений параметров ДВС и коэффициент линейной комбинации между ними

Исследования показали, что подобные зависимости можно установить между основными диагностическими параметрами двигателей внутреннего сгорания, измеряемыми в ходе приемосдаточных и контрольных испытаний. Наличие зависимостей проверено с использованием стандартных характеристик (нагрузочных, скоростных, регулировочных) двигателей, создаваемых операторами испытаний по результатам обработки экспериментальной информации.

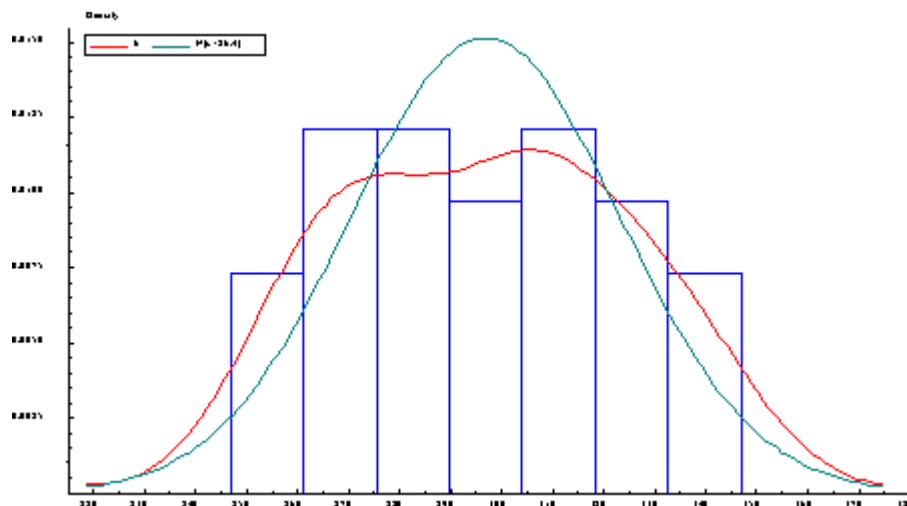


Рисунок 2 – Гистограмма величины, характеризующей зависимость между исследуемыми рядами

При установлении факта существования таких зависимостей между диагностическими параметрами испытуемых изделий для

организации процедуры принятия решений по результатам испытаний есть смысл использовать не только информацию об изменении каждого параметра в отдельности, отслеживая превышение ими предельно допустимых значений, но и анализируя динамику изменения коэффициентов линейных комбинаций между основными группами диагностических параметров. Они должны находиться в пределах $\pm 3\sigma$ от эмпирического среднего.

Преимущества указанного подхода заключаются в возможности создания автоматического алгоритма моделирования и процедуры принятия решений по результатам определения коэффициентов линейных зависимостей между элементами многомерного нестационарного процесса, описывающего изменение технического состояния испытуемого изделия. Это позволит исключить оператора из процесса принятия решения, что, в значительной степени снизит вероятность принятия неверного решения (отнесения годного изделия к классу негодных и наоборот).

Направление будущих исследований может быть связано с организацией процедуры принятия решений для испытаний, когда результаты измерений параметров отображаются критически малыми объемами статистических выборок (10-20 значений параметров), т.к. обработка выборок таких размеров требует принципиально новых статистических подходов с целью извлечения максимума информации о техническом состоянии испытуемых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скурихин В.И. Информационные технологии в испытаниях сложных объектов / Скурихин В.И., Квачев В.Г., Валькман Ю.Р., Яковенко Л.П. // – К.: Наук. думка, 1990. – 320 с.
2. Alwan L.C., Roberts H.V. Time Series Modeling for Statistical Process Control / L.C. Alwan, H. V. Roberts. - Journal of Business and Economics Statistics, 1988, vol.6, N1. - P. 87-95.
3. Первухина Е.Л. Информационные технологии в задачах оценки технического состояния машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, Т.Л. Степанченко, А.В. Первухин // Сборка в машиностроении, приборостроении. - №8 - 2006. – С. 31 – 40.
4. Рыбалко В.В. Параметрическое диагностирование энергетических объектов на основе факторного анализа в среде Statistica / В.В. Рыбалко // Exponenta Pro, 2004. – С. 78 – 83.
5. Первухина Е.Л. Оценка технического состояния машиностроительных объектов по термогазодинамическим параметрам / Е.Л. Первухина, П.К. Сопин // Сборка в машиностроении, приборостроении. - №2 - 2004. – С. 26 – 29.

6. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
7. Первухина Е.Л. Вычислительные аспекты поиска причинно-следственных зависимостей между параметрами сложных систем / Е.Л. Первухина, В.В. Голикова // Статья. Системные технологии, 2006. - №5 (46). – С. 101-112.
8. Первухина Е.Л. Векторные авторегрессионные модели в задачах исследования сложных машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, В.В. Голикова П.К. Сопин // Межд. Сб. научн. тр. Донецкого национального технического университета «Прогрессивные технологии и системы машиностроения», 2007. – Вып. 33. – С. 64-69.

Получено 30.08.2007 г.

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ СЕТЕЙ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Совершенствование технологии производства микропроцессоров привело к интенсивному развитию специализированных локальных сетей промышленных сетей на базе микроконтроллеров. На их основе строятся системы передачи данных и распределенные системы управления автоматизированными производствами. Следовательно, актуальными становятся вопросы эффективности и особенности их применения в различных областях [1]. Таким образом, появление нового типа локальных сетей сетей микроконтроллеров требует построения моделей, учитывающих характерные особенности таких сетей.

Сеть микроконтроллеров является большой и сложной многофункциональной системой, характеризующейся множеством параметров, которые определяют различные аспекты ее функционирования. При анализе и синтезе сложных систем обычно используют ряд иерархически упорядоченных моделей, каждая из которых описывает объект на определенном уровне абстракции. Взаимосвязанную совокупность таких частных моделей назовем системной моделью. В настоящей работе предлагается системная модель сетей микроконтроллеров и рассматривается задача оптимального распределения трафика.

Системная модель определяет организационное и функциональное построение сети в целом, не уточняя, как именно реализуются функции сети, программно или аппаратно [2]. В системной модели выделим три основные составляющие: аналитические и программные модели; архитектуру протоколов; топологию сети (рисунок 1). Рассмотрим каждую составляющую.

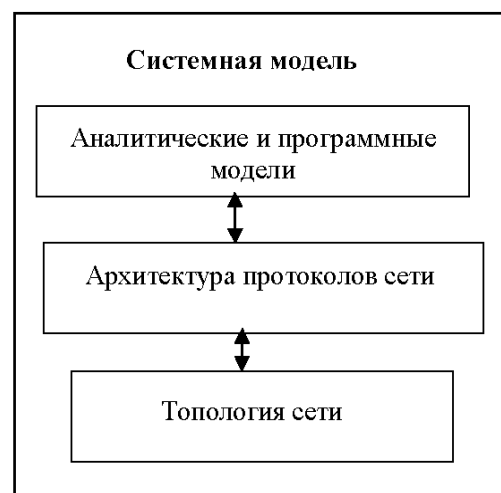


Рисунок 1- Системная модель сети микроконтроллеров

Топология – это местоположение узлов сети и связи между ними. В теории сетей существует несколько основных или базовых топологий [2]. Такими топологиями являются шинная, кольцевая и звездообразная топологии (рисунок 2).



Рисунок 2- Основные топологии

При шинной топологии все узлы подключаются непосредственно к линейной среде передачи или шине. Передача от любого узла распространяется в обоих направлениях по всей длине среды и может приниматься всеми остальными узлами. Время передачи не зависит от количества подключенных к шине узлов.

Одновременно только один из узлов сети может вести успешную передачу данных. Подключение или отключение узлов от сети не влияет на взаимодействие остальных ее элементов. Разрыв структуры приводит к разбиению сети на сегменты, каждый из которых также имеет шинную топологию. Минимально возможное число узлов – два.

При кольцевой топологии каналы связи являются однонаправленными; т.е. данные передаются только в одном направлении. Пакет данных проходит через все узлы сети и либо уничтожается приемником, либо передается далее до источника, тем самым, подтверждая целостность сети. Разрыв кольца, либо отказ одного из элементов приводит к нарушению возможности приема и передачи данных для значительной части узлов сети. Среднее время

передачи пакетов между узлами сети равно половине суммы всех времен передачи между соседними узлами, то есть, возрастает с увеличением числа узлов. Минимально возможное число узлов – три.

Топология «звезда» предусматривает выделение центрального узла, который связан со всеми остальными узлами сети. При этом связь между периферийными узлами реализуется через центральный. Разрыв сети приводит к отсоединению одного узла. Отказ центрального узла приводит к отказу всей сети, отказ периферийного узла не влияет на работу остальных узлов. Пропускная способность сети ограничивается производительностью центрального узла. Существует две альтернативы работы центрального узла. Один подход состоит в широковежательной работе. Передача кадра от любого узла центральному ретранслируется по всем исходящим каналам. В этом случае звездообразная топология по сути превращается в шинную. Передача от любого узла принимается всеми другими узлами, и в каждый момент времени только один узел может успешно передавать. Другой подход — это использование центрального узла как устройства коммутации каналов. Поступивший кадр заносится в буфер центрального узла, после чего передается в канал, ведущий к нужному узлу. Время передачи данных между периферийными узлами составляет удвоенное время передачи центральному узлу. Минимально возможное число узлов – три.

Архитектура протоколов локальных сетей регламентируется стандартом IEEE 802 и включает три уровня: физический уровень, уровень управления доступом к среде и уровень управления логическим каналом.

На физическом уровне выполняется кодирование/декодирование сигналов, прием/передача битов и генерирование/удаление битов синхронизации. Управление доступом к среде обеспечивает эффективное и бесконфликтное использование ресурсов сети. Управление доступом к среде может быть централизованным или децентрализованным. Централизованное управление более уязвимо с точки зрения надежности, но позволяет проще организовать соответствующие процедуры. Кроме того, в зависимости от топологии, управление доступом может быть синхронным и асинхронным. В общем случае более предпочтительным является асинхронный подход, который делится на три категории:

циклический обход, резервирование и состязания. Управление логическим каналом обеспечивает передачу данных между узлами сети, контроль правильности передачи и повторную передачу данных, которые были приняты с ошибками.

Основным моментом исследования любой системы является анализ изменения выходных параметров и их влияния на общий показатель эффективности функционирования системы в целом. Для задач оптимизации больших систем, как правило, используются три критерия: время, стоимость, качество (или эффективность функционирования). Отметим, что качество является многокритериальным показателем.

При построении математических моделей сеть представляют направленным взвешенным графом, вершины которого соответствуют узлам сети, а ребра-линиям (каналам) связи. В зависимости от целей исследования узлам и ребрам назначаются веса, характеризующие надежность, пропускную способность, стоимость, загрузку каналов связи и памяти узлов сети, интенсивность отказов, расстояние между узлами и т.д. Указанные характеристики относятся к классу характеристик функционирования отдельных элементов сети.

Эффективность функционирования сети в целом характеризуют следующими показателями: пропускная способность сети, загрузка сети, вероятностно-временные характеристики качества обслуживания абонентов сети, надежность сети.

Пропускная способность сети определяет количество сообщений, проходящих обработку (либо передаваемых) в сети в единицу времени. Загрузка сети определяет эффективность использования коммутационных и вычислительных ресурсов сети. Надежность (живучесть) сети определяет степень достоверности показателей и характеристик функционирования сети.

К вероятностно-временным характеристикам качества обслуживания абонентов сети относятся среднее время пребывания или задержки сообщений в сети (время доставки сообщений), время реакции сети на запрос пользователя (время от момента отправки запроса пользователя в сеть до момента получения ответа), среднее время доступа в сеть, которая в совокупности со средним временем задержки определяет суммарную задержку сообщений. Время реакции отражает не только процесс передачи информации по сети,

но и ее обработку в узлах, и, в этом смысле, является более общим, чем среднее время пребывания сообщений в сети.

Современные микроконтроллеры оснащены несколькими интерфейсами, предназначенными для организации связи и передачи данных. Кроме того, существуют специальные микросхемы, с помощью которых можно расширить множество поддерживаемых интерфейсов. Следовательно, при построении сети возможна передача информации между узлами с помощью разных интерфейсов. Это означает, что на канальном уровне возможно одновременное существование нескольких топологий.

В таком случае сеть микроконтроллеров предлагается рассматривать как суперпозицию однородных по интерфейсу сетей [3]. Если топология сетей, объединяющих микроконтроллеры по каждому интерфейсу одинакова, то сеть может быть представлена одноуровневой моделью, в которой между каждой парой узлов существует несколько каналов (рисунок 3). Здесь каждый канал связывает микроконтроллеры по соответствующему интерфейсу.

Если топологии сетей для различных интерфейсов различаются, то модель сети становится многослойной или многоуровневой (рисунок 4).

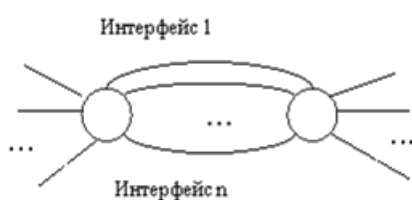
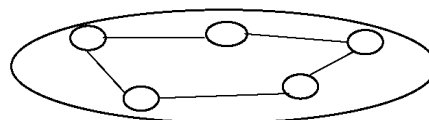
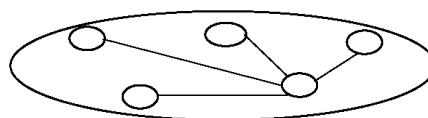


Рисунок 3 - Одноуровневая модель сети

Уровень 1-интерфейс 1



Уровень 2- интерфейс 2



Уровень n- интерфейс n

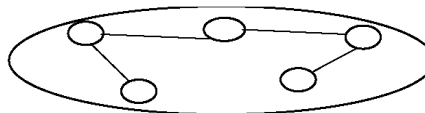


Рисунок 4- Многоуровневая модель сети

Следует учитывать, что микроконтроллеры могут не поддерживать все типы интерфейсов и, следовательно, не являться узлами во всех слоях. Каждый слой в этой модели соответствует

объединению микроконтроллеров в сеть по соответствующему интерфейсу.

Характерной особенностью предлагаемой модели является то, что сообщения, передаваемые между одной парой узлов сети с помощью одного интерфейса, между другими узлами могут передаваться по другим интерфейсам, т.е. сообщения могут «переходить» из одного слоя в другой. Причем количество таких переходов не ограничено. Переходы между слоями, а, следовательно, между однородными по интерфейсу сетями, осуществляются в узлах сети и поэтому каждый микроконтроллер (узел сети) является шлюзом. Сообщения по различным интерфейсам передаются независимо друг от друга. Такой подход позволяет разделить, к примеру, трафик информационный и управляющий.

Выделим три уровня анализа характеристик сетей микроконтроллеров: уровень отдельных узлов сети, уровень слоя и уровень сети в целом. На первом уровне решаются задачи определения конфигурации и параметров отдельных компонентов сети, в первую очередь, задачи выбора оптимального объема буферной памяти узлов, производительности, скорости и режима передачи данных по каналам связи. Анализ вероятностно-временных характеристик на уровне отдельного слоя сети включает вопросы выбора топологии (в том числе и местоположения узлов сети), оценки пропускной способности сети по отдельным интерфейсам, а также количество и местоположение шлюзов. Анализ характеристик сети в целом рассматривает вопросы формирования ограничений на входной трафик, разработки алгоритмов управления потоками данных и ресурсами сети. При этом процедуры оценки сети в целом использует, как правило, результаты анализа отдельных ее компонентов, но в обобщенном виде, отвечающем верхнему уровню формализации описания всей системы.

При использовании указанного подхода возникает целый ряд специфических задач, например, построение сети с минимальной суммарной длиной линий связи; разделение трафика по интерфейсам; минимизация общей стоимости узлов сети при ограничениях на их технические характеристики и другие. Задача построения сети с минимальной суммарной длиной линий связи рассмотрена автором в

[4]. Рассмотрим задачу разделения трафика, выбрав в качестве критерия оптимальности минимальную стоимость передачи.

Пусть x - объем информации, требующей передачи; n - количество интерфейсов или слоев сети; x_i - доля входного трафика, направляемая по i -ому интерфейсу; v_i - скорость передачи по i -ому интерфейсу; t_i - время передачи по i -ому интерфейсу; t_{max} - максимально допустимое время передачи в сети; c_i - стоимость передачи единицы информации по i -ому интерфейсу.

Требуется определить x_i для всех $i=1,2,\dots,n$, которые минимизируют суммарную стоимость передачи

$$c = \sum_{i=1}^n x_i c_i$$

$$x = \sum_{i=1}^n x_i ;$$

при ограничениях:

$t_i \leq t_{max}$; $x_i \leq v_i t_i$ и $x_i \geq 0$ для всех $i=1,2,\dots,n$.

В такой постановке задача относится к задачам линейного программирования и решается соответствующими методами.

В дальнейшем предполагается использование предложенной модели для оценки параметров и получения количественных характеристик сетей микроконтроллеров в системах управления автоматизированными производствами, а также решение задачи минимизации общей стоимости узлов сети при ограничениях на их технические характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Третьяков С.А. Controller Area Network (CAN) - локальная сеть контроллеров / С.А. Третьяков // Электроника. - 1998. - №9.-с.14-16.
2. Умрихин Ю.Д. Проектирование систем передачи данных и сетей ЭВМ / Ю.Д. Умрихин.-М: Министерство радиопромышленности, 1981.-108с.
3. Бобылев С.Н. Модель сети микроконтроллеров на основе принципа суперпозиции / С.Н. Бобылев, Е.М. Шалимова // В сб. трудов международной научно-практической конференции ИНФОТЕХ-2007. Часть 1.- Севастополь, 10 - 16 сентября 2007.-с.43-44.
4. Бобылев С.Н. К вопросу построения оптимальной топологии сетей / С.Н. Бобылев., Е.М.Шалимова // В сб. трудов международной научно-практической конференции ИНФОТЕХ-2004. - Севастополь, 20 - 24 сентября 2004.-с.80.

Получено 26.07.2007 г.

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
НАПРЯЖЕНИЙ В ГОРНОМ МАССИВЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ
«ПИОНЕР-КАМЕРЫ» ЛЕЖАЧЕГО БОКА**

Введение. Потери руды при подземной разработке месторождений полезных ископаемых системами разработки с обрушением руды и вмещающих пород вызваны тем, что часть отбитой руды при выпуске остается на лежачем боку залежи, формируя так называемую «мертвую зону». Для уменьшения объема руды, остающейся на лежачем боку залежи разработана технология предварительной отработки в лежачем боку залежи очистной «пионер-камеры», имеющей сводообразную потолочину с наклонной плоскостью свода [1]. Формирование в лежачем боку залежи очистной «пионер – камеры» для извлечения «условно потерянных» руд «мертвой зоны», вызывает изменение естественного гравитационно-тектонического поля напряжений рудного массива.

Постановка задачи. Проблема установления поля напряжений, которое возникает в массиве горных пород в результате проведения подземных выработок, является важнейшим фактором при определении напряженно-деформированного состояния горного массива. Результаты этих исследований являются необходимым звеном при аналитическом решении задач по определению устойчивости обнажений подземных горных выработок.

Метод решения. Результаты численного моделирования представляются в виде распределения изолиний главных минимальных и максимальных напряжений и относительных деформаций горного массива, окружающего очистную «пионер – камеру» лежачего бока.

Напряжения в массиве горных пород вокруг очистной «пионер – камеры» лежачего бока со сложной формой поперечного сечения вычислялись при помощи метода конечных элементов с использованием специального программного обеспечения на базе программного комплекса ANSYS 6.1.

Использование метода конечных элементов дает возможность учитывать неоднородность свойств деформируемой области, включая свойства рудного и породного массивов, а также свойства налегающих обрушенных пород.

Данный метод позволяет рассчитывать области сколь угодно сложной конфигурации, в том числе и при условии многофакторного влияния горногеологических, технологических и физико-механических параметров исследуемого массива.

Для корректного сравнения распределения напряжений в горном массиве при формировании «пионер – камер» сложной конфигурации, вместо абсолютной величины напряжений принимались соотношения действующего в данной точке напряжения к аналогичным напряжениям в нетронutom массиве на границе формирования «пионер – камеры» лежачего бока.

При математическом моделировании горного массива исходными характеристиками исследуемых руд явились модуль упругости Юнга, находящийся в пределах $E = 3,64 - 5,45 \cdot 10^{10}$ н/м² и коэффициент Пуассона $\mu = 0,18 - 0,31$. Для обрушенных налегающих пород $E = 10,0 \cdot 10^7$ н/м², $\mu = 0,30$.

Численные исследования проведены для двух вариантов очистной «пионер – камеры» лежачего бока.

Первоначально моделировался горный массив с формированием в лежащем боку очистной «пионер – камеры» треугольной формы, рис. 1. Данная форма была выбрана как более простая в оформлении при ведении буровзрывных работ.

Размеры вертикальных и горизонтальных обнажений зависят от высоты обрабатываемой панели и угла наклона залежи. Для удобства сравнения вместо абсолютных величин рассматривается отношение высоты камеры h_k к ее ширине l_k на уровне потолочины.

Характер распределения напряжений в потолочине зависит, прежде всего, от ее толщины. Для удобства вычислений толщина потолочины задавалась условной величиной, равной отношению абсолютной толщины потолочины h_n к ее ширине $l_n = l_k$.

Картина распределения изолиний главных максимальных σ_1 и главных минимальных σ_3 напряжений представлена на рис. 1. Напряжения со знаком (+) являются растягивающими.

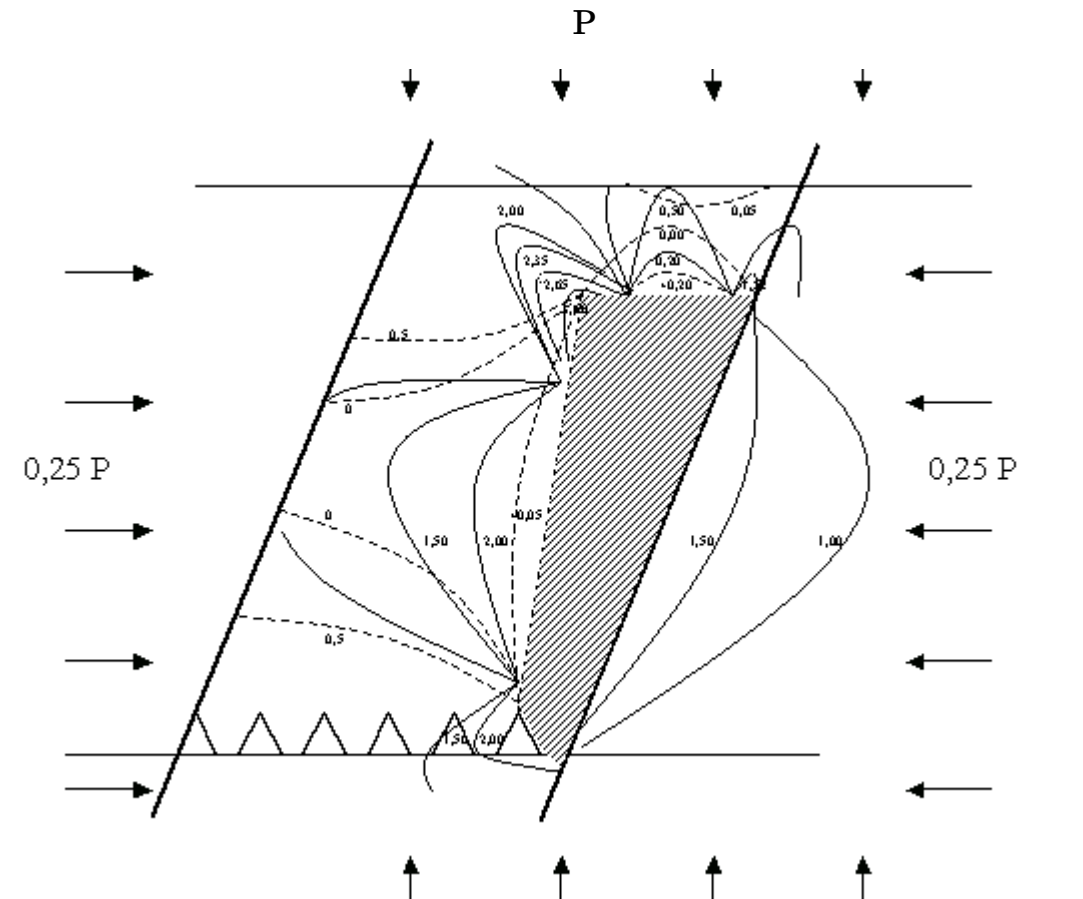


Рисунок 4.2 - Изолинии главных напряжений σ_1 (сплошная) и σ_3 (пунктирная) в горном массиве вокруг «пионер – камеры» лежачего бока

Наибольшей абсолютной величины напряжения достигают вблизи углов образованной очистной камеры со стороны рудного массива и налегающих обрушенных пород. Коэффициент концентрации напряжений зависит от радиуса закругления угла камеры β . Наблюдается небольшая концентрация напряжений в углах на днище камеры. Появление значительных максимальных напряжений σ_1 в углах камеры объясняется действием сжимающих напряжений. С удалением в глубь рудного массива напряжения σ_1 уменьшаются, а их характер распределения становится более равномерным.

При отношении $h_k / l_k > 1$ боковые обнажения очистной камеры характеризуются тем, что в центральной части боковой образующей появляются растягивающие напряжения σ_3 . Напряжения σ_1 в этом случае уменьшаются от границы камеры в глубь рудного массива.

В то же время, сжимающие напряжения σ_1 в потолочине на контуре «пионер – камеры» равны нулю, увеличиваясь по мере удаления от контура камеры.

Под действием продольных деформаций боковая поверхность и кровля камеры становятся выпуклыми и в них появляются растягивающие напряжения.

При размерах потолочины $h_n / l_n < 0,5$ на контакте между потолочиной и налегающими обрушенными породами также возникают растягивающие напряжения σ_3 , которые могут значительно ослабить потолочину, а в некоторых случаях привести к ее обрушению.

При приближении размера потолочины к $h_n / l_n = 1$ распределение напряжений приближается к распределению в однородной рудной среде и толщина потолочины практически не оказывает влияния на величину напряжений.

Как видно из рис. 1, имеющие место растягивающие напряжения в кровле камеры оказывают наибольшее влияние на их устойчивость. Растягивающие напряжения σ_3 наблюдаются по всему контуру потолочины, за исключением сопряжений с боковой поверхностью. Из рисунка видно, что растягивающие напряжения распределяются в средней части потолочины практически по прямолинейному закону распределения. При удалении от контура потолочины «пионер – камеры» растягивающие напряжения σ_3 становятся сжимающими.

Численное моделирование главных нормальных напряжений σ_1 и σ_3 позволяет сделать вывод, что плоские горизонтальные потолочины обладают слабой устойчивостью горизонтальных пролетов и не допускают значительных обнажений, которые могут привести к полному или частичному их обрушению.

Следовательно, напряженное состояние массива при формировании очистной «пионер – камеры» лежачего бока зависит от формы поперечного сечения кровли камеры и радиуса закругления сопряжения боковой поверхности с кровлей очистной камеры.

Придавая кровле камеры сводообразную форму с различным радиусом закругления можно в определенных пределах влиять на общую устойчивость формируемой потолочины «пионер – камеры» лежачего бока, обеспечивая ей необходимую устойчивость.

С целью подтверждения высказанных предположений моделировался рудный массив с очистной «пионер – камерой» лежачего бока имеющей сводообразную кровлю.

Распределения напряжений в горном массиве при формировании «пионер – камеры» лежачего бока, согласно разработанной нами технологии, рис. 2.

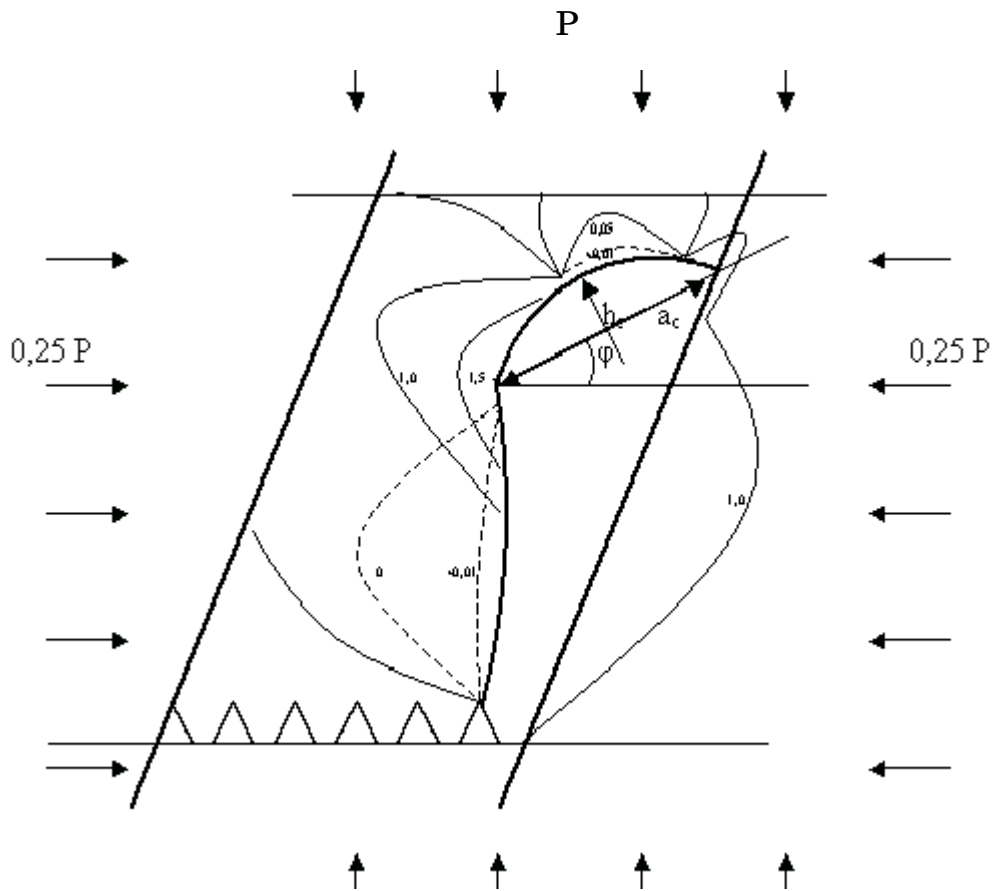


Рис. 2. Изолинии главных напряжений σ_1 (сплошная) и σ_3 (пунктирная) в горном массиве вокруг «пионер – камеры» лежачего бока

Исходные горногеологические характеристики массива горных пород принимались равными предыдущему эксперименту.

Размеры очистной «пионер – камеры» были адекватны эксперименту с камерой треугольной формы.

Анализ распределения напряжений σ_3 и σ_1 в горном массиве вокруг «пионер – камеры» лежачего бока позволил утверждать, что изменения напряжений по сравнению с предыдущим вариантом наблюдаются в основном в области сопряжения боковой образующей поверхности и сводообразной верхней части.

В сводообразной потолочине изменяется величина растягивающих напряжений на контуре потолочины, которая зависит от кривизны сводообразной поверхности (h_c / a_c) и угла наклона основания плоскости свода (φ) к горизонтальной поверхности.

Выводы

Формирование сводообразной потолочины снижает величину растягивающих напряжений по сравнению с плоскими потолочинами. Величина растягивающих напряжений уменьшается на 14 – 42 % при кривизне свода $h_c / a_c = 0,1$ при углах наклона плоскости свода соответственно $\varphi = 10^\circ$ и $\varphi = 25^\circ$.

При кривизне свода $h_c / a_c = 0,4$ растягивающие напряжения σ_z уменьшаются на 28 – 84 % при углах наклона плоскости свода соответственно $\varphi = 10^\circ$ и $\varphi = 25^\circ$.

Таким образом, изменение кривизны свода и угла наклона плоскости свода влияет не только на величину растягивающих напряжений, но и на область их распространения.

При сводчатой кровле «пионер – камер» лежачего бока, область распространения и абсолютная величина растягивающих напряжений в потолочине уменьшается с увеличением кривизны свода и увеличением угла наклона плоскости потолочины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат.48630 А, ИА, Е21С41/00. Спосіб розробки рудних покладів / Калініченко В.О., Калініченко О.В. №2001107316; Заявлено 26.10.2001; Опубл. 15.08.2002. Бюл.№8.

Получено 17.09.2007 г.

ВИЗНАЧЕННЯ ВИДІВ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СТРУКТУР ГВС

Вступ. Сучасні темпи науково-технічного прогресу викликають суттєві зміни у сфері виробництва. Це пов'язано головним чином з постійним вдосконаленням та оновленням продукції, яка випускається, що у свою чергу, викликає необхідність постійної перебудови виробництва. У зв'язку з цим визначальне значення набуває використання гнучких виробничих систем (ГВС), які побудовані на базі окремих гнучких виробничих модулів (ГВМ) і являють собою якісно новий рівень технічного оснащення та організації виробництва [1].

Широке впровадження ГВС потребує вирішення ряду задач, які виникають при їх проектуванні. Однією з таких задач є вибір необхідної кількості ГВМ, закріплення за ними відповідних операцій та пошук раціональних компонувальних рішень. Суть цієї задачі полягає в тому, щоб виходячи з заданого опису операцій технологічних структур (ТС) окремих групових операцій та безпосередніх зв'язків між ними отримати інформацію про ТС ГВС у цілому та визначити основні її структурні компоненти [2].

Аналіз попередніх досліджень. Отримані в роботах [3,4] групові операції $GrOP = \{GrOP_j\}, j = [1, J]$ та їх технологічні структури $TS_{Gr} = \{TS_{Gr_i}\}, i = [1, I]$ можуть бути використані для вивчення питань, які пов'язані з закріпленням операцій за ГВМ. Математичний опис структурних співвідношень між операціями $GrOP$ дає можливість побудувати формальні процедури та машинні алгоритми їх структурного аналізу, які дозволять чітко визначити різні структурні утворення та провести закріплення їх за ГВМ.

В залежності від глибини структурного дослідження групових операцій приймаються до уваги ті або інші групи факторів, які визначають відношення між операціями. Так, при первинному аналізі технологічної структури TS_{Gr_k} групової операції $GrOP_k$ вже достатнім є встановлення самого факту наявності зв'язків між тими

або іншими операціями [5]. Більш глибоке дослідження технологічної структури $TS_{Гр_k}$ потребує врахування напрямку цих зв'язків, а при подальшому поглибленні структурного аналізу і взаємозв'язків між операціями.

Мета роботи – визначення та побудова формального опису різних видів взаємозв'язків між операціями, які концентрують у собі дані про технологічні структури групових операцій ГВС.

Матеріал і результати дослідження. Для визначення видів взаємозв'язків між елементами технологічних структур ГВС розглянемо пару операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$, $i, k = 0, 1, \dots, P$, які належать j -й технологічній структурі і пов'яжемо з ними двомісний предикат [5]

$$\alpha(i, k) = \beta(i, k) \vee \gamma(i, k), \quad (1)$$

де $\beta(i, k)$ - компонента вхідних зв'язків операції $ОП_{ji}$ від операції $ОП_{jk}$, а $\gamma(i, k)$ - компонента вихідних зв'язків операції $ОП_{ji}$ до операції $ОП_{jk}$. Тоді, якщо

$$[\alpha(i, k) \vee \alpha(k, i)] = 1, \quad (2)$$

то операції $ОП_{ji}$ та $ОП_{jk}$ мають назву безпосередньо пов'язаних в даній структурі. Очевидно, що в силу (1) співвідношення (2) еквівалентне

$$[\beta(i, k) \vee \beta(k, i) \vee \gamma(i, k) \vee \gamma(k, i)] = 1. \quad (3)$$

Виконання співвідношень (2) або (3) означає, що хоча б одна із множин $[X^{(i,k)}]$, $[Y^{(i,k)}]$, $[X^{(k,i)}]$ або $[Y^{(k,i)}]$ є не пустою ($[X^{(i,k)}]$ - множина вхідних зв'язків $ОП_{ji}$ від $ОП_{jk}$, $[Y^{(i,k)}]$ - множина вихідних зв'язків $ОП_{ji}$ до $ОП_{jk}$, $[X^{(k,i)}]$ та $[Y^{(k,i)}]$ - відповідно множини вхідних та вихідних зв'язків від $ОП_{jk}$ до $ОП_{ji}$), тобто між двома елементами ТС є безпосередній зв'язок. На прикладі ТС, яка наведена на рис. 1 операція $ОП_1$ безпосередньо зв'язана з операціями $ОП_2$ та $ОП_3$, операція $ОП_6$ - з операціями $ОП_3$, $ОП_5$, $ОП_7$, $ОП_{10}$ і т.д.

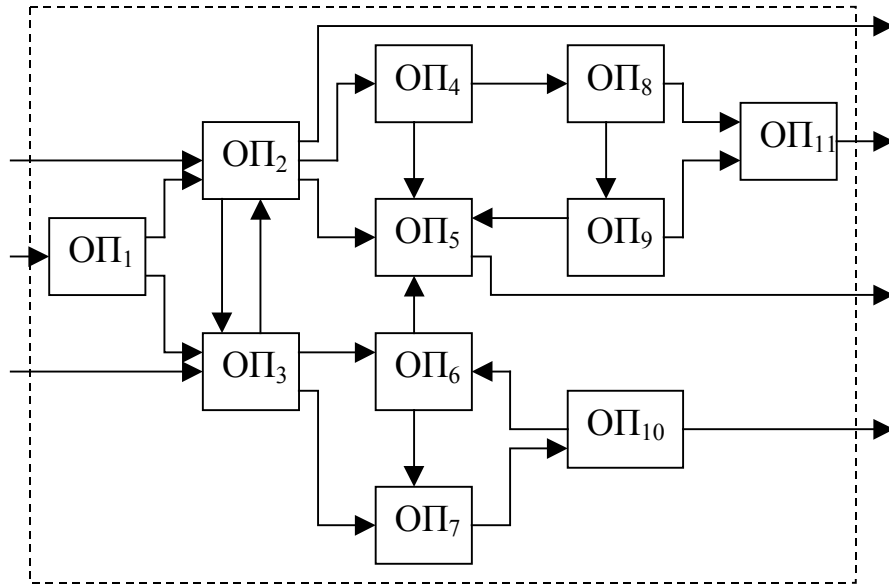


Рисунок 1 - Приклад ТС групової операції

Безпосередні зв'язки між елементами ТС можна наочно відобразити у вигляді неорієнтованого графа, вершини якого відповідають операціям відповідної групової операції, а ребра – зв'язкам між ними. Граф безпосередніх зв'язків для попереднього прикладу ТС наведений на рис. 2.

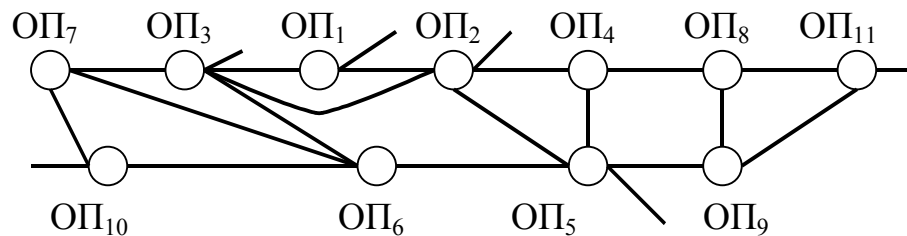


Рисунок 2 - Граф безпосередніх зв'язків між елементами ТС

Для проведення аналізу ТС суттєве значення мають види безпосередніх зв'язків між її елементами.

Будемо вважати, що операція $ОП_{jk}$ безпосередньо іде слідом за операцією $ОП_{ji}$ (операція $ОП_{ji}$ безпосередньо передуює операції $ОП_{jk}$), якщо

$$\gamma(i, k) = 1. \quad (4)$$

Це означає, що вихідні зв'язки, які йдуть від елемента $ОП_{ji}$ до інших елементів ТС, потраплять і до $ОП_{jk}$. Причому сприймаються

останньою як вхідні зв'язки (наряду із вхідними зв'язками, які йдуть від інших елементів ТС та зовнішнього середовища).

Очевидно, що даний елемент, якщо він навіть є зовнішнім елементом, може безпосередньо йти слідом за декількома (безпосередньо передувати декільком) елементам ТС.

Звернімось до прикладу ТС, який представлений на рис. 1. Операція ОП₁ безпосередньо передує операціям ОП₂, ОП₃; операція ОП₂ безпосередньо йде слідом за операціями ОП₁ та ОП₃ і в той же час безпосередньо передує операціям ОП₃, ОП₄ та ОП₅; операція ОП₇ безпосередньо йде слідом за операціями ОП₃ та ОП₆ і безпосередньо передує операції ОП₁₀ і т.д.

Безпосередні зв'язки цього виду відображаються за допомогою орієнтованих графів (напрямки дуг співпадають із напрямками послідовностей виконання операцій). Для прикладу ТС, який розглядається, орієнтований граф зв'язків між її елементами зображений на рис. 3.

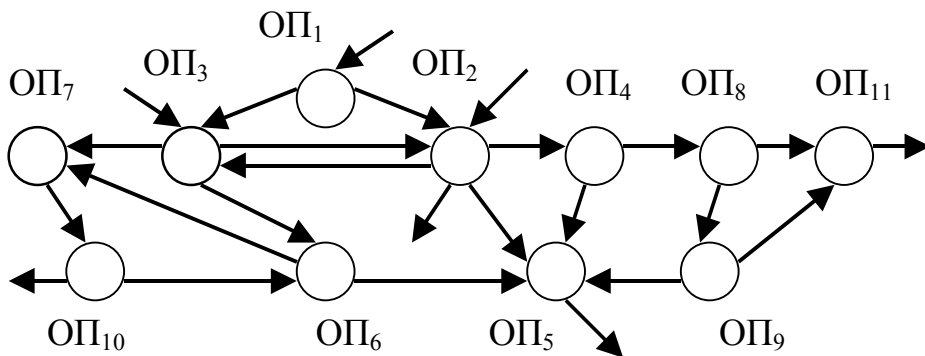


Рисунок 3 - Орієнтований граф зв'язків між елементами ТС

З точки зору аналізу ТС великий інтерес представляють різні види зв'язків між її елементами, які здійснюються не на пряму, а через інші елементи.

В технологічній структурі $TS_{Гр_k}$, яка має операції ОП_{ji} та ОП_{jk}, $i, k = 1, 2, \dots, N$, утворимо сукупність операцій E_m виду ОП_{ji}, ОП_{jl_1}, ОП_{jl_2}, ..., ОП_{jl_r}, ОП_{jk} розміщуючи між ОП_{ji} та ОП_{jk} будь-які сукупності з операцій, що залишились. Пронумеруємо отримані сукупності E_m в деякому фіксованому для даної ТС порядку $m = 1, 2, \dots, s$. Крім того, уведемо нумерацію операцій $\{ОП_{jp}\}$ в кожній

сукупності E_m , $p = 0, 1, \dots, f_m$. При цьому під OP_{j_0} будемо розуміти OP_{j_i} , а під $OP_{j f_m} - OP_{j_k}$. Уведені означення будемо використовувати для опису відносин між елементами ТС.

Будемо вважати, що операції OP_{j_i} та OP_{j_k} слабо зв'язані в даній ТС, якщо в цій ТС існує хоча б одна сукупність операцій E_m така, що будь-які дві її сусідні (p -а та $p+1$ -а, $p = 0, 1, 2, \dots, f_m$) операції безпосередньо зв'язані.

Відношення слабого зв'язку між елементами ТС можуть бути представлені за допомогою ланцюгів (послідовностей ребер графа, в яких кожен два сусідніх ребра мають загальну кінцеву точку) на графі безпосередніх зв'язків (рис. 2). На цьому графі, наприклад, між операціями OP_3 та OP_5 існують наступні ланцюги: $OP_3OP_6OP_5$, $OP_3OP_1OP_2OP_5$, $OP_3OP_2OP_5$, і т.д. Таким чином, порівнюючи ці означення можна зробити висновок, що безпосередньо зв'язані операції слабо зв'язані, тобто, що відношення безпосереднього зв'язку є поодиноким випадком відношення слабого зв'язку (коли сукупність E_m складається тільки з двох операцій OP_{j_i} та OP_{j_k}).

Наведене вище означення відношення слабого зв'язку для будь-яких двох операцій OP_{j_i} та OP_{j_k} потребує, щоб існувала хоча б одна сукупність операцій E_m така, яка має наступні властивості:

- 1) операція OP_{j_i} є першим елементом E_m , а OP_{j_k} - останнім;
- 2) для будь-якого p за умови $0 \subseteq p \subseteq f_m$ впливає наявність безпосереднього зв'язку між $OP_{j n(p,m)}$ та $OP_{j n(p+1,m)}$.

Першу з цих властивостей можна описати тримісним предикатом

$$\xi(i, k, m) = (\{n(0, m) = i\} \wedge \{n[f_m, m] = k\}). \quad (5)$$

Другу властивість можна описати за допомогою двох предикатів: предиката умови

$$\mu(p, m) = [0 \subseteq p \subseteq f_m], \quad (6)$$

та предиката наслідку

$$(\alpha[n(p, m), n(p+1, m)] \vee \alpha[n(p+1, m), n(p, m)]). \quad (7)$$

Використовуючи квантори існування ($\exists E_m$) - “існує така сукупність E_m ” та загальності ($\forall p$) - “для будь-якого p ” відношення

слабкого зв'язку між операціями OP_{ji} та OP_{jk} даної ТС можна описати двомісним предикатом

$$\nu(i, k) = (\exists E_m) [\xi(i, k, m) \wedge (\forall p) (\mu(p, m)) \rightarrow \{\alpha[n(p, m), n(p+1, m)] \vee \alpha[n(p+1, m), n(p, m)]\}]. \quad (8)$$

Оскільки в силу тотожностей булевої алгебри $X_1 \rightarrow X_2 = \overline{X_1} \vee X_2$, вираз для $\nu(i, k)$ можна записати у вигляді

$$\nu(i, k) = (\exists E_m) (\xi(i, k, m) \wedge (\forall p) \{\overline{\mu}(p, m) \vee \alpha[n(p, m), n(p+1, m)] \vee \alpha[n(p+1, m), n(p, m)]\}). \quad (9)$$

Виходячи із предиката $\nu(i, k)$ очевидне означення відношення слабкого зв'язку між елементами ТС: елементи ТС OP_{ji} та OP_{jk} мають назву слабо зв'язаних, якщо для фіксованих i та k предикат $\nu(i, k) = 1$.

Якщо елементи OP_{ji} та OP_{jk} не є слабо зв'язані, то вони мають назву не зв'язані. Тоді для фіксованих i та k предикат $\nu(i, k) = 0$.

Таким чином, якщо операції OP_{ji} та OP_{jk} не є зв'язані в будь-якій сукупності E_m , яка має властивості (5), знайдеться хоча б одна пара сусідніх операцій, які не є безпосередньо зв'язаними.

Будемо вважати, що операція OP_{ji} передуює операції OP_{jk} (операція OP_{jk} іде слідом за операцією OP_{ji}), якщо в даній ТС існує хоча б одна сукупність E_m така, що будь-яка операція, яка їй належить, безпосередньо іде слідом за попередньою.

На орієнтованому графі зв'язків між елементами ТС (рис. 3) операція OP_7 іде слідом за операціями OP_3 , OP_6 і передуює операції OP_{10} , операція OP_6 передуює операціям OP_7 , OP_5 і йде слідом за операціями OP_3 , OP_{10} і т.д. Якщо операція OP_{ji} передуює операції OP_{jk} то на графі зв'язків існує шлях OP_{ji}, OP_{jk} (орієнтований ланцюг або послідовність дуг, початок кожної з яких є кінцем попередньої), наприклад, шляхи $OP_3OP_2OP_5$, $OP_3OP_6OP_5$, $OP_3OP_7OP_{10}OP_6OP_5$ і т.д. Очевидно, що дана операція може йти слідом за декількома операціями та передувати декільком операціям в ТС.

Сукупність E_m , існування якої в даному випадку вимагається означенням відношення “передуює - іде слідом”, володіє властивістю (5). Крім того, повинна мати місце умова (6), а наслідок, який випливає з неї, буде мати вид $\gamma[n(p,m),n(p+1,m)]$. Тому відношення “передуює – іде слідом” описується двомісним предикатом

$$\eta(i,k) = (\exists E_m)[\xi(i,k,m) \wedge (\forall p)\{\mu(p,m) \rightarrow \gamma[n(p,m),n(p+1,m)]\}] \quad (10)$$

або

$$\eta(i,k) = (\exists E_m)[\xi(i,k,m) \wedge (\forall p)\{\bar{\mu}(p,m) \vee \gamma[n(p,m),n(p+1,m)]\}]. \quad (11)$$

Очевидно можна дати визначення відношенню “передуює – іде слідом”: операція OP_{ji} передуює операції OP_{jk} (операція OP_{jk} іде слідом за операцією OP_{ji}), якщо $\eta(i,k)=1$.

Якщо операція OP_{ji} передуює операції OP_{jk} , або іде слідом за операцією OP_{jk} , то операції OP_{ji} та OP_{jk} мають назву сильно зв’язані.

Відношення сильного зв’язку між елементами ТС еквівалентне наявності хоча б одного із двох шляхів $OP_{ji}OP_{jk}$ або $OP_{jk}OP_{ji}$ на орієнтованому графі зв’язків між елементами ТС (рис. 3).

Слід відмітити різницю відношень сильного та слабого зв’язку між операціями. Ця різниця гарно інтерпретується на наведених вище графах. На відміну від сильно зв’язаних операцій для слабо зв’язаних операцій існування шляхів не обов’язкове, достатньо існування хоча б одного ланцюга.

Для нашого прикладу операції OP_4 та OP_1 сильно зв’язані (шляхи $OP_1OP_2OP_4$, $OP_1OP_3OP_2OP_4$ на графі рис. 3), але операції OP_4 та OP_6 слабо зв’язані (ланцюги на графі $OP_4OP_5OP_6$, $OP_4OP_2OP_3OP_6$ і т.д.); операції OP_3 та OP_9 , а також OP_3 та OP_{11} сильно зв’язані (шляхи $OP_3OP_2OP_4OP_8OP_9$ та $OP_3OP_2OP_4OP_8OP_{11}$); операції OP_4 та OP_{10} слабо зв’язані і т.д.

Відношення слабого зв’язку між операціями має властивість транзитивності, тобто якщо операції OP_{ji} та OP_{jk} слабо зв’язані,

операції OP_{jk} та OP_{jl} слабо зв’язані, то операції OP_{ji} та OP_{jl} теж слабо зв’язані.

Для відношення сильного зв’язку між операціями властивість транзитивності в загальному випадку не має місця. В нашому прикладі операції OP_6 та OP_5 сильно зв’язані, операції OP_5 та OP_4 сильно зв’язані, але операції OP_6 та OP_4 зв’язані лише слабо.

Висновки. Отримані предикати (8) – (11) можуть бути використані для розробки алгоритмів розпізнавання видів зв’язків між елементами ТС, які являються обов’язковою складовою процедур їх структурного аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

2. 1.Гибкие производственные комплексы/Под ред. П.Н. Беянина, В.А. Лещенко, М.Машиностроение, 1984. – 384с.
3. 2.Ткач М.М. Основні концепції методології структурного системного аналізу і проектування ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2003 №6(26). С.90-93.
4. 3.Ткач М.М., Поліщук М.М. Методологія формування групових операцій при проектуванні ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2005 №8(28). С. 142-146.
5. 4.Ткач М.М. Моделювання технологічних структур ГВС // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2007 №10(306). С.142-151.
6. 5.Ткач М.М. Формалізований опис відносин між елементами технологічних структур ГВС //Вісник ХНАДУ - 2007 №37. С. 134-135.

Получено 07.09.2007 г.

УДК 664.2.032.1

Ю.Н.Сергеева, В. Е.Черниченко, А. Д.Горбунов

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ЭМУЛЬСИИ НА ТЕПЛОТУ СГОРАНИЯ

Введение. Наличие влаги затрудняет сжигание мазута вследствие образования пробок воды, прерывающих равномерную подачу топлива к форсункам и осложняющих эксплуатацию котлов.

При отстаивании мазута происходит отделение влаги. Однако в тяжелых и вязких мазутах это отделение осуществляется с большими трудностями. Поэтому было предложено мазут с высоким содержанием влаги сжигать в виде водо-мазутной эмульсии, создаваемой путем перемешивания мазута с водой острым паром или пропускания обводненного мазута через эмульгаторы. Содержание воды в мазуте заметно сказывается на его теплоте сгорания. Каждый процент влаги снижает теплоту сгорания мазута на 418,7 кДж, из которых около 393,6 кДж обусловлено уменьшением содержания горючей массы топлива и 25,1 кДж – расходом тепла на испарение 1 % воды [1].

В натуральных жидких топливах горючие элементы находятся в различных химических соединениях, по теплоте образования которых нет данных. Так как теплоту сгорания жидких топлив невозможно аналитически определить по их элементарному химическому составу, то ее определяют экспериментально с помощью калориметра.

Постановка задачи. Сущность этого метода заключается в том, что в герметически закрываемом стальном цилиндрическом сосуде, который называется калориметрической бомбой, помещают в среде кислорода под давлением 2, 5... 3 МПа навеску испытуемого топлива в 1 г. Бомбу погружают в водяной калориметр. В калориметрической бомбе водяные пары, выделяющиеся при сгорании водорода и испарении влаги пробы топлива, конденсируются, выделяя теплоту парообразования. Но вместе с тем в бомбе теплота сгорания получается больше, чем $Q_{в}^p$, так как при сгорании пробы топлива в бомбе в среде кислорода протекают экзотермические реакции образования серной и азотной кислоты, которые в топочных условиях не имеют места [2].

Введя поправку к величине Q_6 на теплоту образования в бомбе азотной кислоты и окисление сернистого газа в SO_3 и растворение последнего в воде, получают высшую теплоту сгорания, МДж/кг

$$Q_B^P = Q_6 - 0,943S_{ор+к} - 4,19 \cdot 10^{-6} Q_6. \quad (1)$$

В формуле (1.1) Q_6 – теплота сгорания по бомбе; $0,943S_{ор+к}$ – теплота, выделяющаяся при окислении в бомбе SO_2 и SO_3 и растворения последней в воде; $4,19 \cdot 10^{-6} Q_6$ – теплота образования азотной кислоты в бомбе для жидких топлив.

Метод исследования и результаты. Обработку полученных данных по теплоте сгорания водомазутной эмульсии с добавками дизельного топлива производили с использованием методов планирования экспериментов. Принимаем, что теплота сгорания определяется температурой эмульсии, содержанием воды, эмульгатора и количеством капель воды в единице объема эмульсии. Перечисленные факторы были выбраны в качестве варьируемых переменных. Температуру эмульсии X_1 изменяли в диапазоне 4...116 °С. Содержание воды X_2 – 0...36 %. Содержание эмульгатора X_3 – 0...12 %. Количество капель воды в единице объема эмульсии X_4 в ходе экспериментов составляло $10 \div 70 (1/0.5 \text{ см}^3)$. Условия экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Условия экспериментов

Фактор	Код	Уровни варьирования					Интервал варьирования, Δ
		-1,414	-1	0	1	+1,414	
Температура эмульсии, °С	X_1	4	20	60	100	116	40
Содержание воды, %	X_2	0	6	18	30	36	12
Содержание эмульгатора, %	X_3	0	2	6	10	12	4
Количество капель воды в единице объема эмульсии, $1/0.5 \text{ см}^3$	X_4	10	20	40	60	70	20

В качестве зависимой переменной Y рассматривали теплоту сгорания. Для исключения систематической ошибки устанавливали случайный порядок постановки опытов во времени. Для описания

многофакторной зависимости выбран ортогональный многокомпозиционный план 2^4 и квадратичная модель. Математико-статистическую обработку экспериментов производили по принятой методике [3, 4]. Проверку воспроизводимости опытов проводили по критерию Кохрена. Значимость полученных коэффициентов уравнения регрессии определяли критерием Стьюдента. Адекватность полученной математической модели оценивали с помощью F – критерия Фишера. После обработки результатов экспериментов получено уравнение регрессии для вычисления параметра оптимизации с точностью до 1% .

$$Y=6976,46+283,2X_1-339,7X_2+248,8X_3+217,7X_4-246,966X_1^2-222,042X_2^2+552,617X_3^2-421,439X_4^2-176,5X_1\cdot X_2-126,5X_1\cdot X_3-103,5X_1\cdot X_4-662,X_2\cdot X_3-125X_2\cdot X_4-187,X_3\cdot X_4 \quad (2)$$

Влияние исследуемых факторов показано на диаграмме (рис. 1).

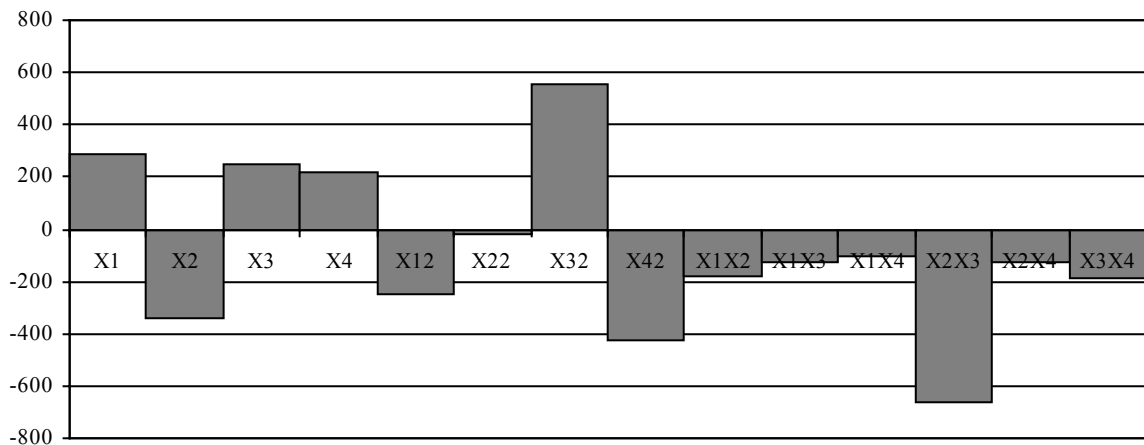


Рисунок 1 - Диаграмма значимости факторов модели

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее влияние на теплоту сгорания оказывает фактор X2 – содержание воды в эмульсии. Очевидно, что с увеличением объема дискретной фазы воды теплота сгорания водо-мазутной эмульсии снижается, что и отражено качественно и количественно в результатах экспериментов. Следует отметить, что при сжигании топлива эта зависимость проявляется иначе. В процессе диспергирования водомазутной эмульсии (ВМЭ) капли воды при вскипании, разрываясь, оказывают дополнительное воздействие на процесс дробления. В результате этого образуется поток с большой дисперсностью. В свою очередь, капли меньших размеров быстрее испаряются и факел становится более коротким. Таким образом,

сжигание происходит эффективнее с меньшими химическим и механическим недожогами. Поэтому, несмотря на заметное снижение теплоты сгорания ВМЭ при увеличении содержания в ней воды, вода, безусловно, оказывает положительный эффект. Однако, значительное увеличение объема воды нецелесообразно. В наших экспериментах устанавливалась предельная концентрация H_2O – 23%, превышение которой приводило к необоснованному снижению теплоты сгорания.

Следующий по степени влияния на теплоту сгорания фактор – X_1 – температура эмульсии. С повышением температуры эмульсии увеличивается теплота сгорания, поскольку меньше энергии затрачивается на нагрев топлива.

В качестве эмульгатора использовано дизельное топливо (фактор X_3), которое выполняло еще и функцию пластификатора. При предварительном грубодисперсном эмульгировании с последующим охлаждением эмульсии наблюдалась следующая закономерность. При снижении температуры до $\approx 60^\circ C$ изменялась структура мазута (в экспериментах М-100) и вода “выжималась” в крупные капли, которые затем сливались в промежуточные слои. При добавлении дизельного топлива до 10% это явление не наблюдалось. ВМЭ имела однородную структуру. Таким образом, наличие дизельного топлива в ВМЭ повышало устойчивость эмульсии, что в свою очередь сказывалось и на теплоте сгорания. Кроме того, дизельное топливо само по себе является в данном случае высококалорийной добавкой к топливу.

Фактор X_4 – количество капель воды в единице объема – определяет дисперсность эмульсии. Очевидно из вышесказанного, что повышение степени дисперсности способствует увеличению теплоты сгорания, но скорее всего косвенно.

Выводы. Водомазутная эмульсия является особым видом топлива, качественно и количественно изменяющим процесс горения. Содержащиеся в топливе высокодисперсные частицы водной фазы при нагреве превращаются в паровые пузырьки, мгновенно дробящие топливные капли на мельчайшие частицы. Они быстрее прогреваются и интенсивнее взаимодействуют вначале с кислородом, образующимся в результате диссоциации воды, воспламеняются и, перемешиваясь с кислородом воздушного заряда, ускоренно сгорают. Находящаяся в

составе эмульгированного топлива, водная фаза может быть диссоциирована частично в ходе окисления топлива в предпламенных процессах. Затем по мере повышения температуры в фазе активного сгорания реакция диссоциации воды ускоряется.

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований установлено, что добавление к топливу воды ускоряет процесс сгорания и улучшает экологические показатели работы оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Равич М. Б. Топливо и эффективность его использования. М.: Наука, 1971.
2. Хзмалян Д. М., Каган Я. А. Теория горения и топочные устройства. Под ред. Д. М. Хзмаляна. Учеб. Пособие для студентов высш. учеб. заведений. М.: Энергия, 1976. – 488 с.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976. – 279с.
4. Бондарь А. Г., Статюха Г. А. Планирование эксперимента в химической технологии. – Киев: Вища школа, 1976. – 184 с.

Получено 03.09.2007 г.

УДК 669.017

В.М. Козлов, В.П. Хлынцев, С.Я. Кленина

ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ МЕДИ С ЧАСТИЦАМИ ФУЛЛЕРИТА

Введение

В промышленной гальванотехнике используется технология осаждения композиционных электрохимических покрытий (КЭП), представляющих собой осажденный на катоде слой металла, в объеме которого находятся твердые дисперсные частицы. Понятно, что необходимым условием образования КЭП является присутствие частиц в растворе электролита, из которого происходит электроосаждение металла. Физико-механические и химические свойства КЭП в значительной степени определяются природой частиц, а также их средним размером и объемной концентрацией в покрытии.

В связи с открытием новой аллотропной формы углерода – фуллеренов и соответственно возможностью получения кристаллов нового типа – фуллеритов, обладающих уникальными физико-механическими и химическими свойствами, представляют интерес исследования, направленные на разработку технологии электроосаждения композиционных металл-фуллеритовых покрытий.

Состояние проблемы

Большой научный и практический интерес представляет электроосаждение КЭП из водных электролитов, как наиболее простых и дешевых. Уже в первых работах, посвященных данной проблеме, была показана возможность получения композиционных электролитических покрытий на основе никеля с частицами фуллерита C_{60} [1,2]. При этом использовалась обычная технология приготовления электролита-суспензии, когда в водный серноокислый электролит никелирования добавлялся порошок фуллерита, полученный путем сублимации и подвергнутый длительному хранению.

В работе [1] с целью равномерного распределения частиц C_{60} в электролитической ванне осаждение КЭП проводилось в условиях обычного механического перемешивания магнитной мешалкой. В работах же [2-4] процесс смешивания электролита с порошком

фуллерита и электроосаждение осуществлялись с использованием ультразвукового вибратора, что, безусловно, должно было сказаться на создании более благоприятных условий для равномерного включения частиц фуллерита в электролитическое покрытие.

В результате проведенных исследований было установлено, что, варьируя катодной плотностью тока, можно изменять в достаточно широком диапазоне такие физико-механические свойства КЭП, как микротвердость, износостойкость и удельное электросопротивление.

Следует отметить один важный момент, на который не обращалось внимания при исследовании электроосаждения КЭП из водных электролитов, содержащих готовый порошок фуллерита C_{60} , полученный путем сублимации и подвергнутый длительному хранению. Дело в том, что поверхностные слои кристаллических частиц порошка C_{60} в результате воздействия света должны быть полимеризованы [5], в то время как внутренний объем частиц фуллерита будет находиться в кристаллическом состоянии с типичной для фуллерита ГЦК решеткой. По этой причине поверхностные слои частиц фуллерита являются нетокопроводящими, и как следствие этого, зарастание таких частиц в процессе электрокристаллизации металла не может быть компактным [6]. Этот фактор способствует понижению уровня некоторых свойств получаемых композиционных электролитических покрытий (в частности, прочностных и коррозионных).

Кроме того, использование готового порошка фуллерита, частицы которого достаточно крупные, не позволяет получать КЭП с мелкодисперсными частицами фуллерита, средний размер которых был бы менее 1 мкм. В то же время известно, что наиболее эффективное влияние на физико-механические и химические свойства композиционных электролитических покрытий оказывают твердые частицы именно с субмикронным размером.

Авторами работы [7] с целью получения КЭП, содержащих мелкодисперсные частицы C_{60} порядка нескольких сотен ангстрем, была разработана методика, согласно которой порошок фуллерита растворялся в толуоле и смешивался со смесью вода-ацетон, содержащей специальный стабилизатор, после чего полученный раствор перегонялся, в результате чего образовывалась суспензия C_{60} , которая приливалась к водному электролиту никелирования. Однако

предложенный метод электроосаждения КЭП имеет ряд существенных недостатков, главным из которых является его сложность.

Постановка задачи

Цель настоящей работы - разработка технологии электроосаждения композиционных покрытий на основе меди из водного электролита, содержащего «свежие» дисперсные частицы фуллерита C_{60} , поверхность которых не подвергнута полимеризации (т. е. остается в кристаллическом состоянии), а значит, является токопроводящей.

Методика электроосаждения КЭП

Для решения поставленной задачи нами была разработана специальная электролитическая ячейка, позволяющая проводить электроосаждение КЭП при участии «свежих» частиц фуллерита C_{60} (рис.1).

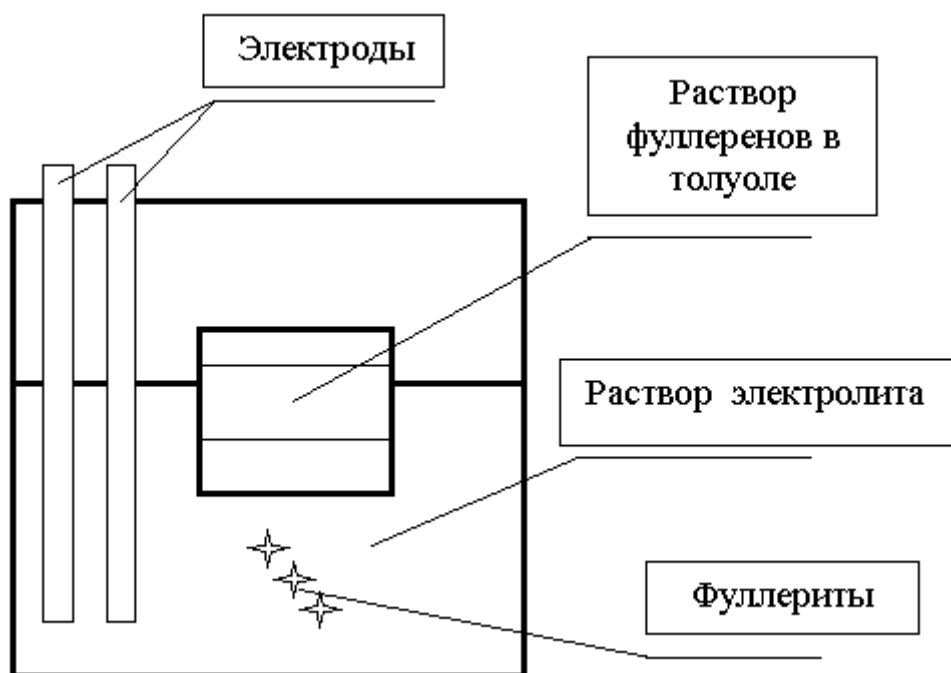


Рисунок 1 - Схема электролитической ячейки для электроосаждения КЭП, содержащих «свежие» частицы фуллерита C_{60}

Особенностью этой ячейки является то, что она состоит из двух емкостей: первая емкость, в которой находятся электроды, опущенные в водный раствор электролита меднения; вторая емкость (без дна), содержащая раствор фуллеренов C_{60} в ароматическом углеводородном растворителе (например, в толуоле или бензоле), опущена в первую емкость.

Для получения «свежих» частиц фуллерита используется метод высаливания [8], который осуществлялся следующим образом. В толуольный раствор фуллеренов добавлялось вещество – высаливатель, которое не растворяет фуллерены, но само растворимо в толуоле лучше, чем фуллерен (в качестве высаливателя нами использовался этанол). После указанной процедуры происходит процесс высаливания, в результате которого образуются «свежие» дисперсные частицы фуллерита. Эти частицы под действием сил гравитации и броуновского движения постепенно переходят в водный раствор электролита и при непрерывном механическом перемешивании поступают на катод. Когда включается электрический ток и начинается процесс электроосаждения меди, незаполимеризованные частицы фуллерита будут заращиваться растущим медным осадком.

Рис.2 дает представление в разнице заращивания токопроводящих и нетокопроводящих частиц. В случае нетокопроводящих частиц (рис.2а) заращивание происходит путем «замуровывания» частиц растущими кристаллитами (зернами) электроосаждаемого металла. В этом случае велика вероятность того, что на границе металл-частица будут оставаться микропустоты, что увеличивает пористость КЭП, а это может существенно снижать уровень физико-механических и коррозионных свойств покрытий.

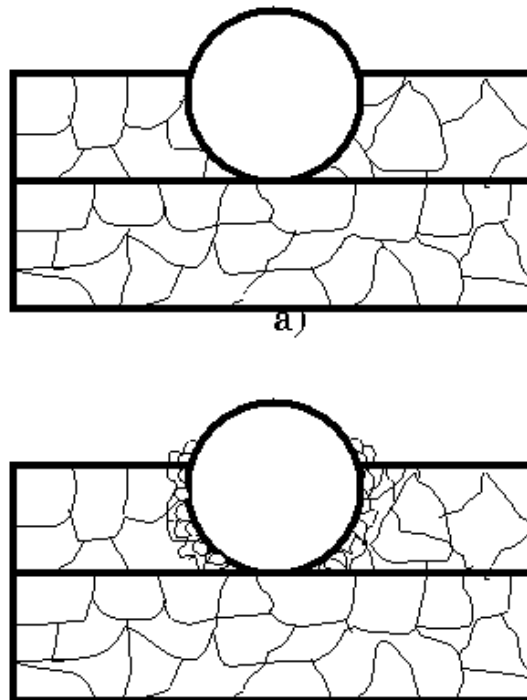


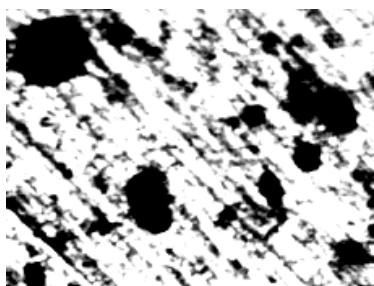
Рисунок 2 – Модель заращивания диэлектрической (а) и электропроводной (б) частицы при электроосаждении металла.

В случае же токопроводящих «свежих» частиц фуллерита (рис.2б) заращивание происходит путем образования трехмерных зародышей электроосаждаемого металла на поверхности частиц, что способствует формированию компактной металлической зоны вокруг частицы.

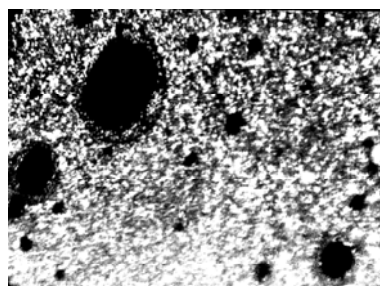
Результаты исследований

В результате проведенных исследований было установлено, что выше указанным способом можно получать качественные КЭП меди разной толщины от нескольких микрон до нескольких десятков микрон. Оказалось, что частицы фуллерита C_{60} включаются в электролитическое медное покрытие уже на самых ранних стадиях электрокристаллизации меди (рис.3а).

Рис.3б иллюстрирует внешнюю поверхность композиционного покрытия меди. Хорошо видны частицы фуллерита, которые включились в покрытие в процессе его роста “в толщину”. Для таких частиц характерно обрамление тонкой зоной мелкокристаллической меди. Это, по-видимому, связано с тем, что поверхность “свежих” частиц фуллерита не полимеризована, а значит, является токопроводящей, благодаря чему на поверхности частиц легко проходит процесс электролитической нуклеации меди (по-видимому, образуются трехмерные зародыши Cu), что способствует полному заращиванию частиц C_{60} растущим осадком и, в конечном итоге, формированию компактного композиционного покрытия.



(а)



(б)

Рисунок 3 – Внутренняя (а) и внешняя (б) поверхность композиционного электролитического покрытия меди. Толщина покрытия 20 мкм.

Увеличение $\times 1000$.

Рентгенографический фазовый анализ показал, что дифрактограмма от полученных КЭП, кроме пиков линий меди, содержала пики дифракционных линий фуллерита, часть из которых

соответствовала ГЦК кристаллической структуре, а другая часть соответствовала ГПУ структуре.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что при исследованных режимах электроосаждения композиционных осадков меди кристаллическая решетка частиц фуллерита, включаемых в медные покрытия, представляет собой сочетание гранецентрированной кубической и плотноупакованной гексагональной. По-видимому, это связано с низкой энергией дефектов упаковки фуллеритов с ГЦК решеткой и возможностью образования значительного количества плоских дефектов, включая дефекты упаковки и двойниковые границы [10].

Выводы

Разработан новый способ осаждения композиционных электролитических покрытий медь-фуллерит из водных электролитов в особой двухсекционной ячейке. Особенностью полученных КЭП является то, что они содержат «свежие» частицы фуллерита, которые хорошо заращаются растущим электролитическим осадком.

Реализация данного способа осуществлена на комбинации двух процессов в одном технологическом цикле:

- процесса образования дисперсных частиц фуллерита в растворе фуллерита в углеводородном растворителе за счет реакции высаливания;
- процесса электроосаждения композиционного покрытия из водного раствора электролита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмыль А.А., Достанко А.П., Емельянов В.А., Шапчиц А.В., Шпилевский М.Э. Свойства композиционных покрытий никель-фуллерен, осажденных электрохимическим способом//Сборник научных трудов “Фуллерены и фуллереноподобные структуры”. Минск. 2000. С. 83-89.
2. Шпилевский Э.М., Щур Д.В. Получение и изучение фуллеренсодержащих материалов//Материалы VII международной конференции “Водородное материаловедение и химия гидридов металлов”. Киев. 2001. С. 470-471.
3. Хмыль А.А., Сосновская Л.Б., Кушнер Л.К., Малюш М.М. Исследование процесса электрохимического соосаждения никеля с фуллеренами//Сборник тезисов докладов “Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах”. Минск: БГУ. 2002. С. 45-46.

4. Хмыль А.А., Кушнер Л.К., Емельянов В.А. Композиционные электрохимические покрытия на основе ультрадисперсных агрегатов углерода//Сборник тезисов докладов “Фуллерены и фуллереноподобные структуры в конденсированных средах”. Минск: БГУ. 2002. С. 9-10.
5. Шульга Ю.М., Баскаков С.А., Мартыненко В.М., Петин В.И., Разумов В.Ф., Щур Д.В. Влияние ультразвукового облучения растворов С60 на кристаллическую структуру осажденного фуллерита//Материалы IX международной конференции “Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов”. Киев. 2005. С. 378-379.
6. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. Киев: Техника. 1986. 200 с.
7. Целуйкин В.Н., Толстова И.В., Неверная О.Г., Соловьева Н.Д., Гунькин И.Ф. Композиционные покрытия, содержащие фуллерен С60//Материалы IX международной конференции “Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов”. Киев. 2005. С. 522-523.
8. Щур Д.В., Дубовой А.Г., Аникина Н.С., Загинайченко С.Ю., Добровольский В.Д., Пишук В.К., Тарасов Б.П., Шульга Ю.М., Мелешкевич К.А., Помыткин А.П., Золотаренко А.Д. Получение высокодисперсных порошков фуллеритов методом высаливания//Материалы VII международной конференции “Водородное материаловедение и химия гидридов металлов”. Киев. 2001. С. 485-486.

Получено 20.03.2007 г.

УДК 620.179.14

А.Н. Петренко, А.Е. Кучеренко

МЕТОД АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ И КЛАССИФИКАЦИИ ДЕФЕКТОВ

Введение

Одна из главных задач дефектоскопии – задача локализации и классификации дефектов. Проблема состоит в определении дефекта в контролируемом изделии, выявлении его положения и соотнесении этого дефекта к определенному классу, что в свою очередь позволяет принять решение о годности контролируемого изделия [1].

Цифровая обработка изображений позволяет автоматизировать интерпретацию и анализ данных, что делает систему контроля более надежной, производительной и повышает экономическую отдачу. Основной недостаток существующих алгоритмов обработки цифровых изображений – жесткая привязка к начальным условиям и, соответственно узкая специализация. Результаты работы существующих алгоритмов существенно ухудшаются при наличии шумов в исходных данных. Таким образом, задача автоматического анализа цифровых изображений является нетривиальной.

Альтернативный подход в цифровой обработке изображений - использование нейронных сетей. Использование нейросетевых методов позволяет упростить процесс кластеризации изображения, а значит - и процесс выделения ключевых признаков изображения. При работе с искаженными изображениями нейронные сети позволяют выполнить фильтрацию данных, не прибегая к специальным приемам.

Проблема локализации и классификации дефектов

Основной этап в процедуре автоматического анализа изображений - извлечение признаков и их классификация, для чего осуществляется кластерный анализ изображения. Каждая независимая измеряемая величина называется признаком. Основная парадигма состоит в том, чтобы выбрать n измеряемых величин объекта, подлежащего классификации, и затем отобразить результат в точку в n -мерном пространстве признаков. Вектор признаков (образ)

образуется как совокупность этих величин: $x=[x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]$. С помощью алгоритма кластеризации пространство признаков разбивается на части на основании некоторого математического критерия. Неизвестный объект принадлежит классу, соответствующему той части, в которую попал вектор признаков. После кластеризации в каждой области изображения проводятся простые измерения, как то площадь, периметр и т.д. Затем объект, породивший каждую область, идентифицируется с помощью классификации, основанной на этих измерениях.

Основной недостаток существующих алгоритмов кластеризации изображений является высокий уровень ошибок при анализе изображений, на котором присутствует большое количество пересекающихся объектов (что встречается довольно часто на рентгенограммах в виде небольших низкоконтрастных дефектов и больших дефектов, которые пересекаются с другими структурами). Данный факт позволяет предположить эффективность использования нейронных сетей при кластеризации и классификации элементов цифровых изображений [2].

Таким образом, можно выделить следующие задачи, возникающие при анализе цифрового изображения: 1) подготовка изображения к обработке – масштабирование, фильтрация; 2) определение признаков, по которым будет осуществляться кластеризация; 3) разбиение множества образов на классы; 4) идентификация объектов на изображении.

Метод автоматической обработки цифровых изображений

На первом этапе обработки изображения производятся стандартные преобразования без потерь типа поворота изображения, обрезания несущественных элементов. Далее производится приведение разрешения изображения к одному из стандартных.

Фильтрация и очистка изображения осуществляется обычно с помощью гомоморфных фильтров, применяемых для разделения сигналов. Далее изображение переводится из полутонового в бинарное и инвертируется. В предлагаемой методике фильтрация изображения осуществляется с помощью нейронной сети Элмана с одним скрытым слоем, что позволяет выполнить три задачи: 1) очистить изображение от шума; 2) преобразовать изображение в бинарное; 3) выделить на

изображении необычные участки, т.е. выполнить сегментацию изображения.

Определение классификационных признаков обработанного таким образом изображения является важным этапом в анализе изображения, так как с одной стороны недостаточное их количество заведомо приведет к ошибкам в классификации, а избыточное – к существенному понижению производительности. В [3] рекомендован следующий минимальный набор признаков для бинарных изображений: 1) x_1 - количество объектов; 2) x_2 – площадь всех объектов; 3) x_3 – периметр всех объектов; 4) x_4 – число Эйлера. Для классификации объектов на изображении предлагается использовать многослойную нейронную сеть прямого распространения (сеть свертки), которая способна осуществлять свертку, или сжатие пространства признаков [4].

Среди множества различных видов дефектов можно выделить такие общие классы: 1) раковина – объемное образование в материале; 2) трещина – узкое углубление на поверхности; 3) окалина – объемное образование на поверхности материала, возникшее в результате нагрева. На рис. 1 приведены рентгенограммы соответствующих дефектов.

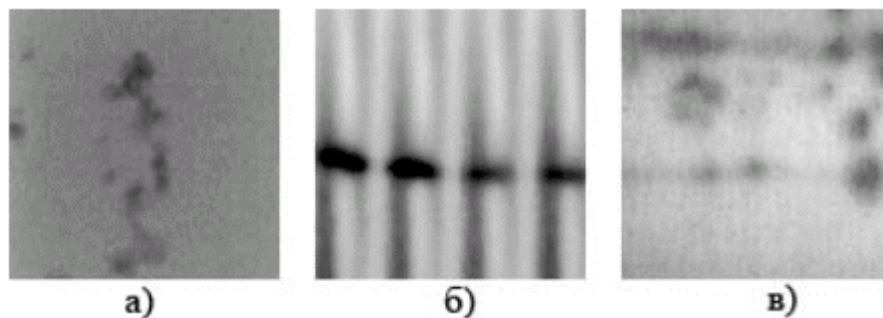


Рисунок 1 – Рентгенограммы: а) раковины в алюминиевой заготовке; б) трещина в стальной трубе с резьбой; в) окалина на поверхности стальной заготовки

На рис. 2 представлены изображения, которые были отфильтрованы и сегментированы с помощью нейронной сети. Фильтрация и сегментация изображения осуществлялась следующим образом. Скользящее окно размером 3×3 передвигалось по изображению так, чтобы каждая его точка в свою очередь оказалась в центре этого окна.

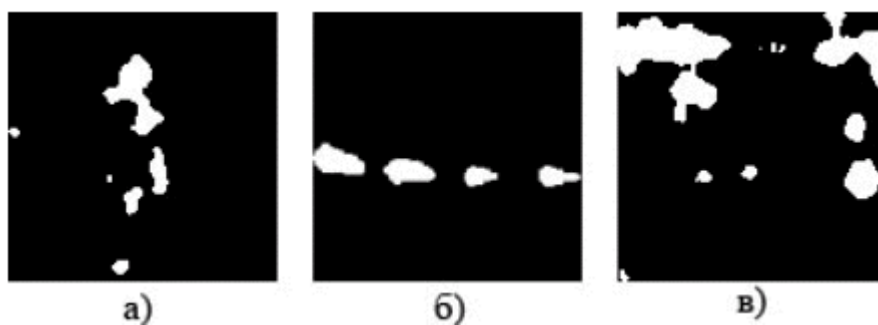


Рисунок 2 – Рентгенограммы после обработки: а) раковины в алюминиевой заготовке; б) трещина в стальной трубе с резьбой; в) окалина на поверхности стальной заготовки

Соответственно матрица размером 3×3 подавалась на вход нейронной сети, которая осуществляла сегментацию. Некоторые правила сегментации представлены на рис. 3.

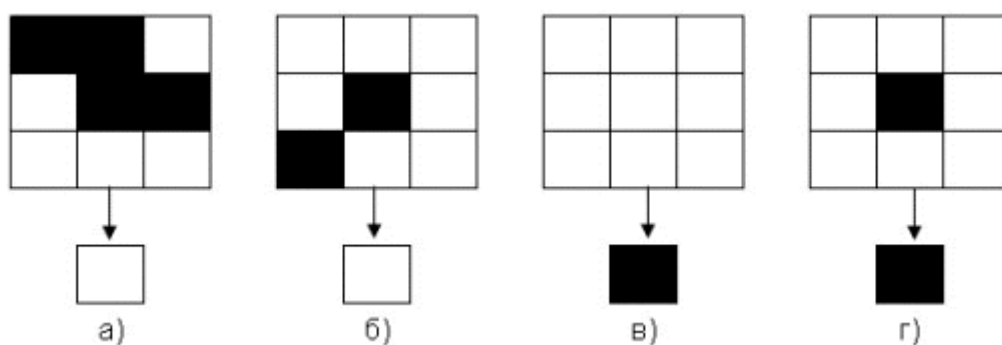


Рисунок 3 – Правила сегментации изображения: а) и б) инверсия центральной черной точки при наличии связи хотя бы с одной черной точкой; в) инверсия центральной белой точки при отсутствии связей с черными точками; г) центральная черная точка без изменения при отсутствии связей с черными точками

Сеть, предназначенная для предварительной обработки изображения, представляет собой нейронную сеть Элмана с 9 входами, 19 нейронами в скрытом слое и 1 нейроном в выходном слое. Скорость обучения сети составляла 0.05. Алгоритм обучения принадлежит к классу scaled conjugate gradient backpropagation. Первый этап обучения осуществлялся на выборке из 50 матриц размером 9×9 , второй этап состоял в использовании тех же 50 матриц с добавлением аддитивного белого шума со средним 0 и средне-квадратичным отклонением 5. Первый этап обучения сеть успешно закончила за 613 эпох, второй – за 480. После обучения все исходные изображения были сегментированы сетью (примеры сегментированных изображений представлены на рис. 2). На этом этапе на бинарном изображении можно достаточно точно локализовать дефект, который представлен на изображении белым цветом.

Далее для каждого бинарного изображения определялся образ $x=[x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4]$. Для изображений на рис. 2 образы соответствуют: а) $x=[6 \ 593.8 \ 209.8 \ 6]$; б) $x=[4 \ 552 \ 176,4 \ 4]$; в) $x=[10 \ 1786,5 \ 62,3 \ 10]$. Каждый образ уникален и характеризует соответствующее изображение. Образ подавался на вход нейронной сети свертки, которая определяла его принадлежность к одному из трех классов.

Сеть свертки представляет собой многослойный персептрон с 4 входами; в первом, втором, третьем и четвертом скрытом слое количество нейронов составляет 144, 36, 48, 12, в выходном слое – 3. Передаточные функции во всех слоях – логарифмический сигмоид. Количество нейронов выбиралось исходя из следующих соображений. Каждый из 4 входных признаков соответствует одной из 4 карт размером 6×6 элементов, которые осуществляют подвыборку особенностей каждого признака; это соответствует $4 \cdot (6 \cdot 6) = 144$ нейронам. Далее изменяя количество элементов карт и количество самих карт получены такие параметры: 1) второй скрытый слой соответствует 4 картам размером 3×3 элемента (всего 36 нейронов); 2) третий скрытый слой соответствует 12 картам размером 2×2 элемента (48 нейронов); 3) четвертый скрытый слой соответствует 12 картам размером 1×1 элемент (12 нейронов); 4) в выходном слое содержится 3 нейрона, что соответствует 3 классам. Данная сеть показала наилучшие результаты по скорости обучения и точности классификации по сравнению с сетями других типов с аналогичным общим количеством нейронов в скрытых слоях, но иной архитектурой.

Скорость обучения сети составляла 0.05. Алгоритм обучения также принадлежит к классу *scaled conjugate gradient backpropagation*. Первый этап обучения осуществлялся на выборке из 30 образов, полученных из сегментированных изображений, второй этап состоял в использовании тех же 30 образов с добавлением аддитивного белого шума со средним 0 и среднеквадратичным отклонением 5. Первый этап обучения сеть успешно закончила за 543 эпохи, второй - за 412. После обучения на вход сети для классификации дефектов подавались образы рентгенограмм, как использованных в процессе обучения, так и неизвестных нейронной сети.

На рис. 4 приведена общая схема процесса автоматической обработки цифрового изображения.

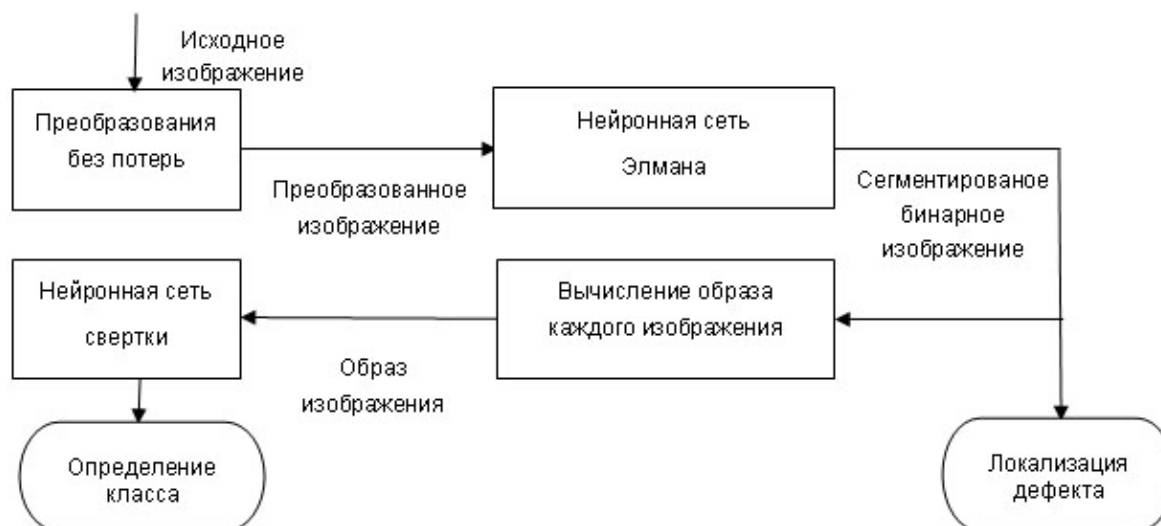


Рисунок 4 - Схема автоматического анализа изображения

Заключение

Применение нейронных сетей для автоматической обработки изображений – эффективный метод, который позволяет с высокой точностью определять положение аномальных областей на изображении и осуществлять их классификацию. Так, было проанализировано 40 рентгенограмм дефектных объектов. Из них 30 использовались для обучения нейронных сетей, в том числе и с различным уровнем шума. После окончания обучения точность классификации дефектов на рентгенограммах из обучающей выборки достигла 96,6%. Точность классификации дефектов на серии изображений, которые не участвовали в обучении (исходные и искаженные изображения), составила 89%, что является хорошим результатом по сравнению со стандартными алгоритмами, применяемыми для анализа изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия: Монография. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005.
2. LeCun Y., Bengio Y. “Convolutional networks for images, speech and time series”, in M.A. Arbib, ed., The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, Cambridge, MA: MIT Press, 1995.
3. Gose E., Johnsonbaugh R., Jost S. Pattern Recognition and Image Analysis. Prentice Hall of India, 1997.
4. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр.: Пер. с англ. - М.: ООО «И.Д. Вильямс», 2006.

Получено 31.07.2007 г.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВУГЛЮ ПІД ДІЄЮ ЕНЕРГІЇ НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ

Появі нових областей застосування енергії надвисоких частот сприяє ряд її специфічних властивостей, що дозволяють створювати нездійсненні раніше технологічні процеси або значно їх поліпшити. До них відноситься, наприклад, можливість серійного виготовлення простих по конструкції і зручних в експлуатації генераторів надвисокочастотної енергії, за допомогою яких може здійснюватися створення надчистої плазми із широким інтервалом температур.

На надвисоких частотах при раціональному підборі частоти коливань і параметрів області, де відбувається перетворення енергії надвисокочастотного поля в теплову, можна одержати відносно рівномірне виділення тепла по обсягу матеріалу, що нагрівається. Ефективність перетворення надвисокочастотної енергії в теплову енергію зростає прямо пропорційно частоті і квадратові напруженості електричного поля. При цьому слід зазначити простоту подачі енергії надвисоких частот практично до будь-якої ділянки тіла, що нагрівається.

У роботі [1] запропоновано для подальшого дослідження стенд НВЧ - плазменої технології спалювання вугільного пилу. Наведені результати експериментів та обговорюється перспективи подальшого практичного впровадження такої технології на теплових електростанціях як актуальної з точки зору енергозбереження.

Розглянемо нестационарний тепловий процес у реакційній камері експериментального стенду. Цей процес обумовлений дією джерела енергії надвисоких частот та взаємодією потоку газової фази зі стінкою камери. Слід зазначити, що стінка камери футерована вогнетривким корундовим бетоном, що є діелектричним матеріалом та при цьому має властивість до поглинання НВЧ енергії.

Припустимо, що перенос теплової енергії в діелектричному матеріалі здійснюється конвективним теплообміном і теплопровідністю при застосуванні НВЧ нагрівання.

Відомо, що збільшення напруженості електромагнітного поля обмежено кінцевою електричною міцністю діелектричного матеріалу та уведемо наступні припущення про взаємодію електромагнітної хвилі з діелектриком [2, 3, 4, 5]:

- процеси взаємодії, що відбуваються між змінним електричним полем і структурою діелектрика такі, що електромагнітна хвиля не слабшає в напрямку свого поширення;

- за рахунок відбиття електромагнітної хвилі від поверхні діелектрика величина відбиття енергії визначається коефіцієнтом відбиття;

- підвищення температури в одиниці об'єму діелектрика пропорційне частоті і квадратові напруженості електричного поля і визначається співвідношенням, що відповідає однорідному електромагнітному полю;

- виконується умова подоби полів температур і парціальних тисків газу в діелектричному матеріалі;

- граничні умови для нормальних складових векторів електромагнітного поля на межі розділу двох середовищ діелектрика не враховують поверхневої щільності електричних і магнітних зарядів;

- для тангенціальних складових векторів електромагнітного поля на границі розділу двох середовищ виконується умова їхньої рівності.

На підставі фізичної моделі теплових процесів у діелектричному матеріалі під впливом надвисокочастотної енергії, запишемо систему рівнянь, що дозволяє знайти зв'язок між параметрами процесу і погоджується з експериментальними даними.

Задача для диференціального рівняння другого порядку в системі тіл з рухливими межами, коли переміщення меж визначається або не визначається фазовими перетвореннями середовищ, може бути сформульована в такий спосіб: знайти функцію $U(P, \tau)$, що задовольняє диференціальному рівнянню другого порядку зі змінними коефіцієнтами [6]

$$MU = \Phi,$$

де

$$MU = \sum_{i,j=0}^3 \alpha_{ij} \frac{\partial^2 U}{\partial x_i \partial x_j} + \sum_{i=0}^3 \beta_i \frac{\partial U}{\partial x_i} + \xi U, \quad \Phi - \text{відома функція змінних, що}$$

містить координати точок простору і часу, коефіцієнти $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$, β_i, ξ - функції залежні від U .

Нехай D - деяка область, обмежена замкнутою кусково - гладкою межею γ яка в залежності від процесів, що протікають на ній, може бути трьох видів [7]: нерухома межа; рухлива межа, переміщення якої обумовлене фазовими перетвореннями; рухлива межа, переміщення якої не зв'язане з фазовими перетвореннями. Функція $U(P, \tau)$ безперервна разом з частиними похідними першого порядку, має кусково - неперервну другу похідну по координатах точки P у замкнутій області $\{P \in \bar{D}; \tau \geq 0\}$, де $\bar{D} = D \cup \gamma$ і задовольняє на межі γ додатковим умовам, що забезпечують єдність розв'язку.

Електродинамічна система, у даному випадку область з діелектричним заповненням, призначена для створення певного електромагнітного поля. У зв'язку з цим, задача розрахунку такого поля в області включає розв'язок системи рівнянь Максвелла [8]:

$$\text{rot } \vec{H} = \frac{\partial(\varepsilon \vec{E})}{\partial \tau} + \sigma \vec{E} + \vec{J}^{cm}, \quad \text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial(\mu \vec{H})}{\partial \tau},$$

$$\text{div}(\mu \vec{H}) = 0, \quad \text{div}(\varepsilon \vec{E}) = \rho_c,$$

де $\varepsilon(\vec{r}), \mu(\vec{r}), \sigma(\vec{r})$ - діелектрична, магнітна проникності, провідність середовища, $\vec{J}^{cm}(\vec{r}, \tau), \rho_c(\vec{r}, \tau)$ - щільності стороннього струму і заряду, \vec{r} - радіус-вектор точки спостереження.

Шукані функції \vec{E}, \vec{H} повинні задовольняти визначеним умовам на границі γ області D , в якій шукається розв'язок, а також початковим умовам.

Використовуючи закони переносу тепла і маси при надвисокочастотному нагріванні діелектричного матеріалу, уведемо принцип однобічної незалежності поширення енергії надвисоко-частотного електромагнітного поля, яке у свою чергу збуджує температурне поле.

Треба визначити координати векторів електричного поля \vec{E} . З цією метою необхідно одержати розв'язок рівнянь Максвелла або еквівалентного їм рівняння Гельмгольца щодо електричного вектора Герца для відповідних граничних умов [4].

Доведено [3], що енергія змінного електричного поля яка перетворюється в тепло, у всьому спектрі електромагнітних коливань пропорційна частоті і квадратові напруженості електричного поля:

$$g_i = \Omega_i \vec{E}^2 f,$$

де \vec{E} - вектор напруженості електричного поля, f - частота, Ω_i - коефіцієнт пропорційності який залежить від властивостей діелектричного матеріалу.

Однак збільшення напруженості електричного поля обмежено кінцевою електричною міцністю діелектрика. Тому питому енергію перетворення можна підвищувати тільки шляхом збільшення частоти, що визначає основний зміст переходу до надвисокочастотного нагрівання.

Так як надвисокочастотне нагрівання викликає в діелектричному матеріалі такий фізико - хімічний процес, протікання якого супроводжується переміщенням меж фаз, то задача теплообміну в системі тіл з рухливими межами фаз (задача Стефана), включає рівняння для газової фази (змушена конвекція), діелектричного матеріалу і стінки камери.

Розподіл температури у газовому потоку із врахуванням руйнування внутрішньої поверхні реакційної камери та знесення частинок матеріалу футеровки описується наступним рівнянням енергії

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} + V_x \frac{\partial t_1}{\partial x} = \frac{a_1}{r} \left(r \frac{\partial t_1}{\partial r} \right) + \frac{g_1}{c_1 \rho_1}, \quad (\tau)0, 0 \langle x \langle e, 0 \langle r \langle \gamma, \quad (1)$$

з наступними крайовими умовами

$$t_1 = t_0, \tau = 0, \quad (2)$$

$$t_1 = t_0, x = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial t_1}{\partial r} = 0, r = 0, t_1 = t_\gamma, r = \gamma(\tau, x), V_x = \frac{V_0 r_k^2}{\gamma^2}. \quad (4)$$

Рівняння теплопровідності для футеровочного покриття та стінки реакційної камери може бути представлено у вигляді

$$\frac{\partial t_i}{\partial \tau} = \frac{a_i}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial t_i}{\partial r} \right) + \frac{g_i}{c_i \rho_i}, \quad (5)$$

$\tau)0, 0 \langle x \langle e, \gamma \langle r \langle r_k, i = 2$ - футеровочне покриття, $r_k \langle r \langle r_k + d, i = 3$ - стінка камери,

$$t_2 = t_3 = t_\gamma, \tau = 0, \quad (6)$$

$$t_2 = t_\gamma, t_3 = t_k, x = 0, \quad (7)$$

$$t_2 = t_\gamma, r = \gamma; t_2 = t_3 = t_k, r = r_k; t_3 = t_k, r = r_k + d.$$

Закон знесення матеріалу внутрішнього покриття визначається на основі умови Стефана на ізотермічній поверхні розділу потоку газу та футеровочного покриття, а також стінки реакційної камери

$$\lambda_1 \left. \frac{\partial t_1}{\partial r} \right|_{r=\gamma} - \lambda_2 \left. \frac{\partial t_2}{\partial r} \right|_{r=\gamma} = \rho L \frac{\partial \gamma}{\partial \tau}, \quad (9)$$

$$\lambda_2 \left. \frac{\partial t_2}{\partial r} \right|_{r=r_k} = \lambda_3 \left. \frac{\partial t_3}{\partial r} \right|_{r=r_k}. \quad (10)$$

Запишемо задачу (1) – (10) у безрозмірному вигляді

$$\frac{\partial T_1}{\partial Fo} + \frac{1}{G^2} \frac{\partial T_1}{\partial x} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial T_1}{\partial R} \right) + Q_1, \quad (11)$$

$$T_1 = 0, Fo = 0,$$

$$T_1 = 1, x = 0;$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial R} = 0, R = 0, T_1 = 0, R = G,$$

$$\frac{\partial T_i}{\partial Fo} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} \left(R \frac{\partial T_i}{\partial R} \right) + Q_i, \quad (12)$$

$$T_2 = 0, T_3 = T_0, Fo = 0,$$

$$T_i = 0, x = 0,$$

$$T_2 = 0, R = G, T_2 = 1, R = 1,$$

$$T_3 = 1, R = 1; T_3 = 0, R = 1 + D; \frac{\partial T_2}{\partial R} = B_x \frac{\partial T_3}{\partial R}, R = 1;$$

$$\left. \frac{\partial T_2}{\partial R} \right|_{R=G} + B \left. \frac{\partial T_1}{\partial R} \right|_{R=G} = B_\gamma \frac{\partial G}{\partial Fo}, \quad (13)$$

де

$$Fo = \frac{a_1 \tau}{r_c^2}, G = \frac{\gamma}{r_c}, x = \frac{2\chi}{r_c P_e}, P_e = \frac{2V_0 r_c}{a_1}, R = \frac{r}{r_c}, T_1 = \frac{t_1 - t_\gamma}{t_0 - t_\gamma}, T_2 = \frac{t_2 - t_\gamma}{t_k - t_\gamma}, T_3 = \frac{t_3 - t_c}{t_k - t_c};$$

$$B_x = \frac{\lambda_3 (t_k - t_c)}{\lambda_2 (t_k - t_\gamma)}, B_\gamma = \frac{a_1 \rho L}{\lambda_1 (t_0 - t_\gamma)}; D = \frac{d}{r_c}.$$

Сформульована математична модель відповідає тепловому процесу спалювання вуглю у НВЧ плазменому реакторі. Слід зазначити, що порівняння традиційних промислових пальників з плазменним запаленням свідчить, що при використанні останнього зростає інтенсивність процесу і НВЧ плазма сприяє вигоранню вугля при відносно нетривалій взаємодії вугільних частинок з плазменним факелом [1].

Для розв’язку задачі (11) – (13) застосуємо метод комп’ютерного моделювання, в основу якого покладено алгоритм інтегральних перетворень [4 - 6, 9].

Розподіл температури у газовому потоку буде визначатися наступним рівнянням

$$T_1 = \frac{2(Fo - \Delta^2 x)}{G^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi_n}{J_1^2(\xi_n)} J_0\left(\frac{R\xi_n}{G}\right), \quad (14)$$

де $Fo \gg \Delta^2 x$ і $\varphi_n(Fo)$ - розв'язок задачі Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь першого порядку

$$\frac{d\varphi_n}{dFo} + \left(\frac{\xi_n}{G}\right)^2 \varphi_n = \frac{\dot{G}}{G} \sum_{m=1}^{\infty} \alpha_{nm} \varphi_m, \quad (15)$$

$$\varphi_n(0) = 0, \quad (16)$$

$$\alpha_{nm} = \frac{2\xi_n \xi_m J_1(\xi_n)}{J_1(\xi_m)(\xi_m^2 - \xi_n^2)}, \quad n \neq m; \alpha_{nn} = 1, \quad n = m; \xi_n - \text{додатні корені рівняння}$$

$$J_0(\xi) = 0.$$

Розподіл температури у розтині футеровочного матеріалу описується наступним рівнянням

$$T_2 = \frac{R - G}{1 - G} + \frac{\pi^2}{2G^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\psi_n \alpha_n^2 J_0^2(\alpha_n) V_0(\alpha_n R/G)}{J_0^2(\alpha_n) - J_0^2(\alpha_n/G)}, \quad (17)$$

де α_n - додатні корені рівняння

$$J_0(\alpha) Y_0(\alpha/G) - J_0(\alpha/G) Y_0(\alpha) = 0.$$

Коефіцієнти $\psi_n(Fo)$ функціонального ряду (17) визначаються із задачі Коші наступного виду

$$\frac{d\psi_n}{dFo} + \left(\frac{\alpha_n}{G}\right) \psi_n = \frac{\dot{G}}{G} \sum_{m=1}^{\infty} \beta_{nm} \psi_m + \left(\frac{\dot{G}}{1 - G^2}\right) \left\{ \frac{G^2}{\alpha_n^2} [\alpha_n/G V_1(\alpha_n/G) - \alpha_n V_1(\alpha_n)] - J_{1n} \right\} + \frac{J_{\psi 1}}{1 - G}, \quad (18)$$

$$\psi_n(0) = \frac{1}{1 - G} \left\{ \frac{G^3}{\alpha_n^2} [\alpha_n/G V_1(\alpha_n/G) - \alpha_n V_1(\alpha_n)] - J_{\psi 2} \right\} \Big|_{Fo=0}, \quad (19)$$

де $J_{1n}, J_{\psi 1}, J_{\psi 2}$ визначаються в роботі [5].

Аналогічно визначається розподіл температури у розтині стінки реакційної камери

$$T_3 = \frac{1 - R + D}{D} + \frac{\pi^2(1 + D)^2}{2D^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\psi_n \alpha_n^2 J_0^2(\alpha_n) V_0(\alpha_n R(1 + D)/D)}{J_0^2(\alpha_n) - J_0^2(\alpha_n/G)}, \quad (20)$$

де ψ_n визначаються задачею Коші (18) та (19) при умові, що $G = D/(1 + D)$.

Наведена математична модель процесу теплообміну на експериментальному стенді не враховує деякі умови роботи промислових пальників, але дозволяє провести оцінку ефективності НВЧ технології та визначити область її застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Казанцев В.И., Ваврин Д.М., Канило П.М., Расюк Н.И., Шунеман К. и др. Исследование СВЧ - плазменной технологии сжигания низкосортных углей // Теплоэнергетика, 2002. - №12. - С. 39 - 44.
2. Григорьев А.Д., Янкевич В.Б. Резонаторы и резонаторные замедляющие системы СВЧ. Численные методы расчета и проектирования. - М.: Радио и связь, 1984. - 248 с.
3. Пюшнер Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот. Пер. с англ. - М.: Энергия, 1968 - 175 с.
4. Яковенко В.А. Математическая модель кондуктивной сушки материала с применением электромагнитного излучения сверхвысокой частоты // Техническая механика. - Днепропетровск: ИТМ. - 2000. - №2. - С. 70 - 76.
5. Яковенко В.А. Математическая модель резонатора в кондуктивной сушке многослойных диэлектриков переменной толщины // Вісник Запорізького державного університету. - Випуск 2. - Запоріжжя: ЗДУ. - 2000. - С. 175 - 183.
6. Кошляков Н.С., Глинер Э.Б., Смирнов М.М. Основные дифференциальные уравнения математической физики. - М.: Гостехиздат, 1936. - 767 с.
7. Никитенко Н.И. Исследование нестационарных тепло - и массообмена методом сеток. - К: Наукова думка, 1971. - 266с.
8. Федоров Н.Н. Основы электродинамики. - М.: Высшая школа, 1965. - 399 с.
9. С. Поршневу. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. М: Горячая линия - Телеком, 2003. - 592 с.

Получено 21.04.2007 г.

УДК 621.757.001.57

А.Г. Ясев, К.Г. Меженная

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ НАДЕЖНОСТИ МЕТОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Понятие надежность и соответствующие методы ее исследования, оценки и обеспечения (теория надежности) возникли и до сих пор применяются в основном к техническим объектам [1-4]. Важным этапом развития стало рассмотрение в качестве объекта теории надежности технологических систем [5-7], которые образованы системами технических объектов, взаимодействующих для достижения целей технологических процессов. В последнее время утвердилось понятие «надежность метода обработки», в частности, метода механической обработки, что нашло отражение в выделении этой области исследования в паспорте научной специальности 05.02.08 – технология машиностроения [8].

Целью статьи является анализ особенностей метода механической обработки как объекта теории надежности. Для этого необходимо уточнить понятие «метод механической обработки» и рассмотреть возможности использования сложившейся системы понятий и показателей для исследования, оценки и обеспечения надежности метода механической обработки.

Объект исследования – технологический процесс механической обработки изделия.

Предмет исследования – методы механической обработки, которые используются при осуществлении технологического процесса.

Известные определения метода механической обработки [9] основываются на его определенных отличительных признаках. Например, такими признаками являются кинематические особенности (указание главного движения и движения подачи), назначение (характеристика видов обрабатываемых поверхностей) и т.п. Эти признаки не содержат информацию о способности метода механической обработки сохранять во времени в установленных пределах значения основных параметров, то есть их недостаточно для исследования надежности. Кроме того, метод механической обработки соотносят с элементами технологического процесса изготовления

деталей. В частности, метод может реализоваться в виде переходов технологической операции, или в виде операций технологического процесса.

Для построения определения понятия «метод механической обработки» для исследования надежности воспользуемся общепринятыми определениями понятий «метод» и «технологическая система» [5].

Метод – последовательность действий, которые необходимо совершить для достижения цели. Технологическая система – совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения, предметов производства и исполнителей для выполнения в регламентированных условиях производства заданных технологических процессов или операций.

Объединение этих понятий приводит к содержательному (для исследования надежности) определению понятия *«метод механической обработки» – совокупность действий, которые необходимо совершить для целенаправленного изменения параметров объекта производства в условиях конкретной технологической системы.* В этом случае технологическая система является материальной основой для реализации метода механической обработки (в одной и той же технологической системе можно реализовать разные методы). Содержательность предлагаемого определения обусловливается наличием необходимых признаков, а именно, последовательность технологических действий и технологическое оборудование и оснастка, которые определяют способность метода механической обработки сохранять во времени в установленных пределах значения основных параметров обработки, то есть определяют надежность метода. Уточним, что *надежность метода механической обработки – это свойство метода обеспечивать получение требуемых выходных параметров обработки в условиях конкретной технологической системы и режимов ее использования.*

Проблемы надежности элементов технологических систем исследованы различными учеными. В технологии машиностроения известны исследования Проникова А.С. [1] (надежность металлорежущих станков), Ивченко Т.Г. [2] (надежность режущего инструмента), Войнова К.Н. [3] (надежность механических систем) и

других. Влияние последовательности действий с одновременным учетом надежности элементов технологической системы исследованы в меньшей степени.

Уточним понятие «отказ», которое является базовым в теории надежности, применительно к методу механической обработки. Классификация отказов технологических систем, которые являются технической основой методов обработки, предусматривает [5] отказы по параметрам продукции, по производительности, по затратам. Такие же виды отказов можно рассматривать при оценке надежности метода механической обработки. Во всех случаях отказ предполагает выход соответствующих параметров за установленные пределы. Учитывая, что отказы по затратам и производительности в определенной степени имеют экономическое и организационное содержание, основным видом отказа метода механической обработки можно считать отказ по параметрам продукции (прежде всего по показателям точности и свойств поверхностного слоя). Таким образом, отказ метода механической обработки – это событие, которое проявляется в отклонении выходных параметров обработки или свойств поверхностного слоя от заданного уровня.

Причинами возникновения такого события (отказа) A могут быть отказы элементов технологической системы (оборудования A_1 или оснастки A_2), а также неправильное выполнение совокупности действий A_3 , которые необходимо совершить для целенаправленного изменения параметров объекта производства (например, нарушение последовательности действий, несоблюдение параметров действий, нерациональные значения параметров действий и т.п.). Таким образом, с формальной точки зрения отказ метода механической обработки можно представить как сумму событий (1):

$$A = A_1 + A_2 + A_3. \quad (1)$$

Предлагаемые определения основных понятий (метода механической обработки, его надежности и отказа) позволяют интерпретировать большинство других терминов и понятий теории надежности [4] для исследования этого объекта. Например, понятие «работоспособность» метода механической обработки можно определить как состояние всех элементов метода (совокупности действий и технологической системы), при котором значения их параметров, характеризующих способность получать выходные параметры обработки, соответствуют установленным требованиям.

Понятие «предельное состояние» метода механической обработки можно определить как состояние всех элементов метода, при котором дальнейшее применение их по назначению невозможно или нецелесообразно. Тогда «безотказность» метода механической обработки – это свойство метода непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени. Соответствующим образом можно вести определения для таких понятий как «долговечность», «ремонтпригодность» и «сохраняемость» метода механической обработки.

Для оценки надежности метода механической обработки можно использовать известные комплексные и единичные показатели [4, 5].

Например, комплексную оценку надежности метода механической обработки можно производить с помощью коэффициентов готовности и технического использования [4] при соответствующей (для метода обработки) трактовке величин (наработка на отказ, время восстановления и др.), которые входят в выражения для их расчета. Для комплексной оценки надежности метода механической обработки можно также использовать (с соответствующими уточнениями) развитую систему показателей, установленных для технологических систем [5, 6, 7], например:

- коэффициент выхода годной продукции;
- коэффициент сохранения производительности;
- коэффициент расхода материальных (стоимостных) затрат;
- коэффициент дефектности;
- коэффициент возвратов;
- коэффициент брака;
- коэффициент ритмичности изготовления продукции;
- коэффициент выполнения задания.

Сказанное выше справедливо и для единичных показателей надежности метода механической обработки, к которым относятся показатели безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Например, при оценке безотказности с помощью основного показателя, которым является вероятность безотказной работы (метода механической обработки) необходимо уточнять содержание величин, учитываемых при расчете (2):

$$P(t) = 1 - \frac{n(t)}{N}, \quad (2)$$

где N – общее количество предполагаемых реализаций метода механической обработки (соответствует количеству обрабатываемых данным методом деталей);

$n(t)$ – количество реализаций метода механической обработки (соответствует количеству обработанных данным методом деталей), для которых зафиксирован факт отказа метода механической обработки на протяжении исследуемого отрезка времени (от 0 до t).

Для технологической системы существуют следующие варианты этого показателя [5, 6]:

- вероятность выполнения задания;
- вероятность выполнения задания по объему выпуска;
- вероятность выполнения задания по одному параметру;
- вероятность выполнения заданий по n параметрам.

Введенное определение отказа метода механической обработки (1) позволяет оценивать показатели надежности метода. Например, вероятность безотказной работы метода можно оценить как вероятность одновременного пребывания всех элементов метода в работоспособном состоянии (3), а именно, отсутствие отказов технологического оборудования P_1 , оснастки P_2 и совокупности действий P_3 .

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (3)$$

Для использования такой оценки (3) необходимо знать величины показателей безотказности (вероятностей безотказной работы или вероятностей появления отказов) каждого из элементов метода механической обработки.

Для всесторонней оценки надежности метода механической обработки необходимо также использовать показатели долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Долговечность – свойство метода механической обработки сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе обслуживания и ремонта. В качестве основного показателя долговечности можно использовать средний ресурс (математическое ожидание ресурса, оценкой которого является среднее арифметическое длительности использования метода механической обработки до достижения предельного состояния).

Ремонтпригодность - свойство метода механической обработки, заключающееся в приспособленности к обнаружению причин отказов, поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем

проведения технического обслуживания и ремонта. Основными показателями ремонтпригодности метода механической обработки являются средняя стоимость и трудоемкость ремонта (восстановления работоспособного состояния).

Сохраняемость - свойство метода механической обработки сохранять значения показателей надежности в течение и после временного прекращения использования метода (хранения). К основным показателям сохраняемости метода механической обработки относится средний срок сохраняемости.

Выводы.

1. Метод механической обработки – совокупность действий, которые необходимо совершить для целенаправленного изменения параметров объекта производства в условиях конкретной технологической системы. Надежность метода механической обработки – это свойство метода обеспечивать получение требуемых выходных параметров обработки в условиях конкретной технологической системы и режимов ее использования. Отказ метода механической обработки – это событие, которое проявляется в отклонении выходных параметров обработки или свойств поверхностного слоя от заданного уровня.
2. Для оценки надежности метода механической обработки можно использовать традиционные подходы и показатели (комплексные и единичные) надежности при соответствующей интерпретации их содержания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Технологическая надежность станков. – М.: Машиностроение, 1971 – 344с.
2. Войнов К.Н. Прогнозирование надежности механических систем. – Л.: Машиностроение, 1985 – 208 с.
3. Ивченко Т.Г. Прогнозирование вероятности разрушения инструмента для различных условий эксплуатации. Международный сборник научн. трудов Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Донецк: ДонГТУ. - Вып. - 10. - 2000. - С. 75-81.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
5. ГОСТ 27.004-85. Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1985.

6. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
7. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Общие требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. – М.: Изд-во стандартов, 1983.
8. Постанова ВАК України № 17-08/7 від 14.10.1998.
9. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, т.1, 2 1973.

Получено 17.09.2007 г.

УДК 621.746.27.003

С.А. Юдина, С.В. Юдин, О.А. Крюковская

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО МЕТАЛЛА В КОНВЕРТЕРНОМ ЦЕХЕ ОАО ДМКД

Цель работы. Один из важнейших факторов, влияющий на стабильность процесса литья и качество заготовок, - это оптимальный температурно-скоростной режим разливки металла на МНЛЗ.

При исследованиях основной задачей разработки температурного режима непрерывной разливки стали являлось обеспечение минимального перегрева металла и стабильности температуры. Наиболее благоприятные результаты достигнуты при перегреве металла (попадающего в кристаллизатор), не превышающем 15⁰С. В процессе ряда промышленных экспериментов определены потери температуры металла от выплавки до разливки на МНЛЗ, характеризующиеся следующими факторами:

- среднее падение температуры металла в процессе выпуска из конвертера и транспортировки ковша на УЖДС составило 20⁰С;
- среднее падение температуры металла в процессе транспортировки сталеразливочного ковша от УЖДС до начала разливки – 5⁰С;
- среднее падение температуры металла при переливе металла из сталеразливочного в промежуточный ковш – 50⁰С;
- среднее падение температуры металла и в процессе разливки на МНЛЗ – 10⁰С.

Анализ результатов исследований разливки стали разных марок показал, что при установлении рабочей скорости разливки на МНЛЗ 0,6 м/мин температуру металла в сталеразливочном ковше после внепечной обработки и в промежуточном ковше рекомендуется соблюдать в пределах, приведенных в таблице 1.

Скорость разливки стали зависит от влияния таких факторов, как цикл конверторной плавки, конструкция МНЛЗ, необходимость обеспечения высокого качества поверхности и внутреннего строения слитка, безаварийная работа и высокая производительность. В условиях непрерывной разливки стали конверторного цеха ДМК

рабочая скорость при оптимальных температурах условлена в пределах 0,5...0,6 м/мин.

Таблица 1

Температура металла в сталеразливочном ковше после внепечной обработки и в промежуточном ковше по ходу разливки

Марка стали	Температура стали, °С	
	В сталеразливочном ковше после внепечной обработки	В промежуточном ковше по ходу разливки
10тр	1605...1615	1505±5
20тр	1595...1605	1540±5
45 тр	1585...1595	1530±5
Дтр	1585...1595	1530±5
09Г2С	1605...1615	1550±5

Разработка оптимального температурно-скоростного режима разливки в сочетании с внедренными мероприятиями (оптимизация режима вторичного охлаждения, защита жидкого металла в промежуточном ковше и кристаллизаторе теплоизолирующими смесями от вторичного окисления, стабилизация скорости разливки), обеспечили серийную разливку металла, что наряду с использованием рационального состава шлакообразующих смесей на основе тройной силикатной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ позволило осуществить технологию «горячего» посада заготовок в нагревательные печи трубозаготовочного стана без предварительного нагрева и сократило на 40% расход природного газа.

В начале освоения технологии непрерывной разливки стали для защиты зеркала металла в кристаллизаторе использовалась шлакообразующая смесь (ШОС), поставляемую с мариупольского комбината «Азовсталь», следующего химического состава: С–6...10%; SiO_2 –26,5%; CaO –30,25; Al_2O_3 –4,0%; CaF_2 –7%; S–0,4%. Результаты разливки стали на МНЛЗ показали, что указанная ШОС не обеспечивает нормального поведения шлака в кристаллизаторе, что приводит к зависанию слитка в кристаллизаторе и ухудшению качества поверхности непрерывнолитых заготовок. В связи с этим были исследованы физико-химические свойства шлакообразующих смесей, имеющие в своем основном составе оксиды CaO , SiO_2 , Al_2O_3 [1].

Получению шлаков, удовлетворяющих требованиям непрерывной разливки стали, наиболее полно соответствует тройная силикатная система $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, позволяющая получать шлаковые расплавы с широким диапазоном температур плавления (1300–1500°С) и вязкости (0.1–0.6Па·с). Однако поскольку физико-

химические свойства шлаков определяются составом, то для этой системы изучено влияния основности шлака, содержания глинозема, плавикового шпата, углерода и оксидов щелочноземельных металлов на характеристики плавления и вязкости шлаков для непрерывной разливки стали. Вязкость шлаков исследована при 1500°C , что соответствует температуре контакта фаз металл – шлаковый расплав в кристаллизаторе МНЛЗ.

Результаты исследования. Решение задачи осуществлено методом планирования экспериментов. Для получения математической модели состав – свойство реализован полный факторный план. В качестве независимых переменных приняты: основность (CaO/SiO_2), содержание в смеси Al_2O_3 , C , R_2O и CaF_2 . За основной уровень принят состав смеси: 15 мас.% Al_2O_3 , 8 мас.% R_2O , 14 мас.% CaF_2 , $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1,1$. Исследования выполнены на смесях, изготовленных с использованием химически чистых оксидов и химически чистого флюорита. Естественно, что физические свойства смесей, изготовленных из химически чистых материалов и из многокомпонентных минералов, содержащих целый ряд примесей, будут существенно различаться. В частности, сопоставление свойств смесей и расплавов, изготовленных из различных материалов и имеющих одинаковый состав по основным элементам (29 мас.% CaO , 26 мас.% SiO_2 , 8 мас.% F , 4 мас.% R_2O), приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физические свойства смесей, изготовленных из химически чистых материалов и природных минералов

Тип смеси	Температура, $^{\circ}\text{C}$		Время плавления, с	Вязкость, Па*с (при 1500°C)
	размягчения	конца плавки		
Природные минералы	1140	1170	35	0,07
Химически чистые оксиды	1260	1440	70	0,17

Примеси в реальных шлакообразующих смесях (S , FeO , MnO и др.) способствуют снижению вязкости шлаков при температуре 1500°C более чем в 2 раза. При этом температуры размягчения и конца плавления реальных шлаков на 120 и 270°C ниже, чем синтетических. Установленные различия свойств позволяют перенести результаты лабораторных исследований синтетических шлаков на реальные смеси из природных материалов.

Приведенные расчеты, выполненные на основе экспериментальных данных, показали адекватность полученных регрессий опытным данным. Перерасчет на натуральные масштабы дают следующие уравнения

$$T_{разм} = 1182,8 + 5,6 Al_2O_3 + 226,4 CaO/SiO_2 + 27,7 R_2O - 6,7 CaF_2 - 5,9 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 - 7,4 CaO/SiO_2 * CaF_2 - 0,7 R_2O * CaF_2 + 0,6 CaO/SiO_2 * R_2O * CaF_2 \quad (1)$$

$$T_{кон.пл} = 1134 + 14,8 Al_2O_3 + 28,9 R_2O - 5,3 CaF_2 + 2,89 CaO/SiO_2 - 9,9 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 - 19,4 CaO/SiO_2 * R_2O - 7,2 CaO/SiO_2 * CaF_2 - Al_2O_3 * R_2O + 0,3 Al_2O_3 * CaF_2 - 0,7 R_2O * CaF_2 + 0,4 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 + 0,6 CaO/SiO_2 * R_2O * CaF_2 \quad (2)$$

$$T_{1500}^0 C = 3,95 + 12 CaO/SiO_2 + 0,4 Al_2O_3 + 0,04 R_2O + 12 CaF_2 - 0,6 CaO/SiO_2 * Al_2O_3 - 0,44 CaO/SiO_2 * CaF_2 - 0,01 Al_2O_3 * CaF_2 + 0,02 CaO/SiO_2 * R_2O * CaF_2 \quad (3)$$

Многие коэффициенты при парных и тройных взаимодействиях в уравнениях регрессии получились значимыми. Судить о степени влияния отдельных факторов на физические свойства шлаков по величине коэффициента в данном случае сложно. С этой целью удобно пользоваться номограммами, составленными на основе уравнений (1.)-(3.). На рис.1 и 2 представлены две подобные номограммы, показывающие влияние Al_2O_3 на температуру конца плавления и вязкость шлаков при различном содержании CaF_2 , R_2O и основности.

Из анализа графиков 1, 2 следует, что на вязкость шлака изучаемые компоненты оказывают влияние следующим образом. Плавиковый шпат снижает вязкость шлаков в изученных пределах содержания CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , R_2O . Особенно сильно это проявляется для шлаков с высокой основностью или с низким содержанием Al_2O_3 . Для всех изученных шлаков требуемая вязкость (0,02 Па·с) достигается при содержании 10...18% плавикового шпата или 5...9% фтора.

Глинозем в изученных пределах (от 4 до 24%) снижает вязкость всех шлаков, за исключением шлаков с низкой основностью (в которых с увеличением содержания Al_2O_3 вязкость возрастает) и шлаков, содержащих 18% плавикового шпата (в которых изменение Al_2O_3 от 4 до 24% практически не влияет на его вязкость). Оптимальная вязкость (0,02 Па·с) обеспечивается в шлаках с основностью 1,1 и содержанием плавикового шпата 14...18% при изменении Al_2O_3 от 4 до 24%. При основности менее 1,1 оптимальная

вязкость обеспечивается при содержании шпата 10% и глинозема до 8%. Отсюда следует, что в шлакообразующих смесях с основностью 1,0...1,2 и содержанием плавикового шпата на оптимальном уровне 10...16% целесообразно иметь 5..8% Al_2O_3 и повышение его содержания до 24% практически не влияет на вязкость жидкого шлакового слоя.

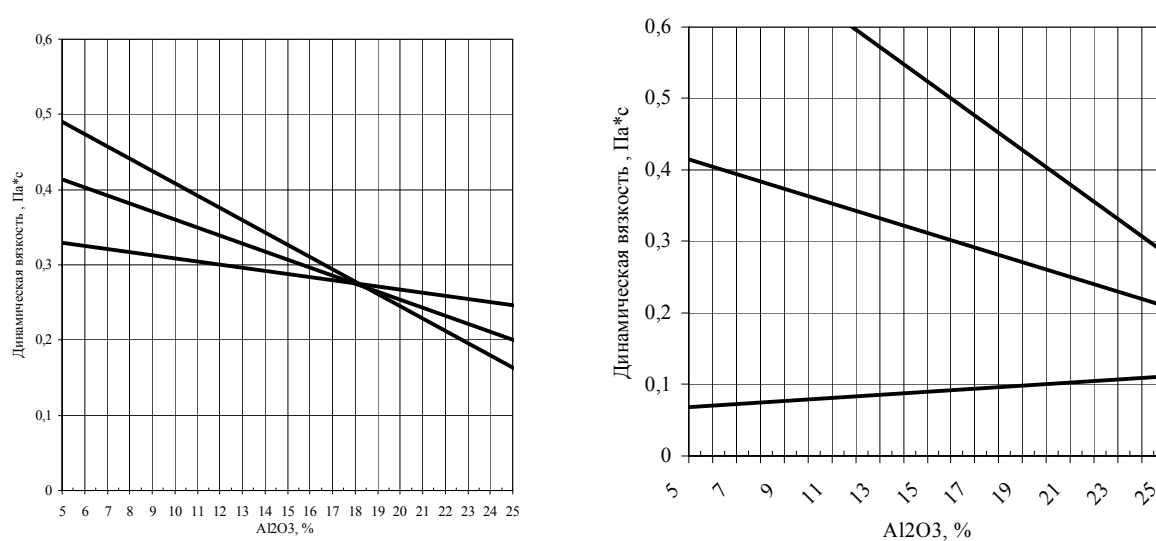
Изменение содержания щелочноземельных металлов R_2O (Na_2O , K_2O) не оказывает влияния на вязкость шлаков с содержанием остальных компонентов в изученных пределах. Следовательно, с точки зрения вязкости и температурных характеристик нецелесообразно вводить в шлакообразующие смеси оксиды типа R_2O в виде специальных материалов. Таким образом, оптимальной с точки зрения физических характеристик шлака является основность 1,0 в сочетании с повышенным содержанием шпата 14...18% и начальным содержанием Al_2O_3 в смеси около 4...8%. Полученные в результате исследований зависимости послужили теоретической основой для разработки оптимального состава теплоизолирующей смеси для непрерывной разливки стали.

На основании полученных физических характеристик шлакообразующих смесей разработана и внедрена ШОС следующего состава: 17...20% С, 22...30% СаО, 22...30% SiO_2 , 4...8% Al_2O_3 и 10...18% CaF_2 , которая обеспечила гарантированное качество поверхности непрерывнолитых заготовок. Результаты оценки качества поверхности трубных заготовок (таблица 3) показали снижение складчатости заготовок на 30%, угловых трещин – на 9...17%, поперечных трещин – на 40%.

Таблица 3

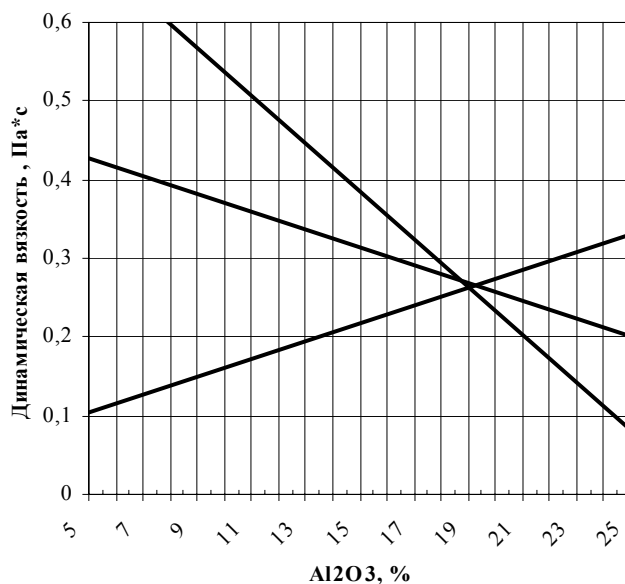
Качество поверхности трубных заготовок

Марка стали	Кол-во осмотренных заготовок	Снижение дефектов поверхности трубных заготовок на величину, %			
		Трещины (глубиной до 3 мм)		Шлаковые включения	Складки на поверхности
		угловые	поперечные		
09ГС	33	17	30	28	25
Ст20	80	11	40	20	29
Ст45	50	9	35	26	30



а)

б)



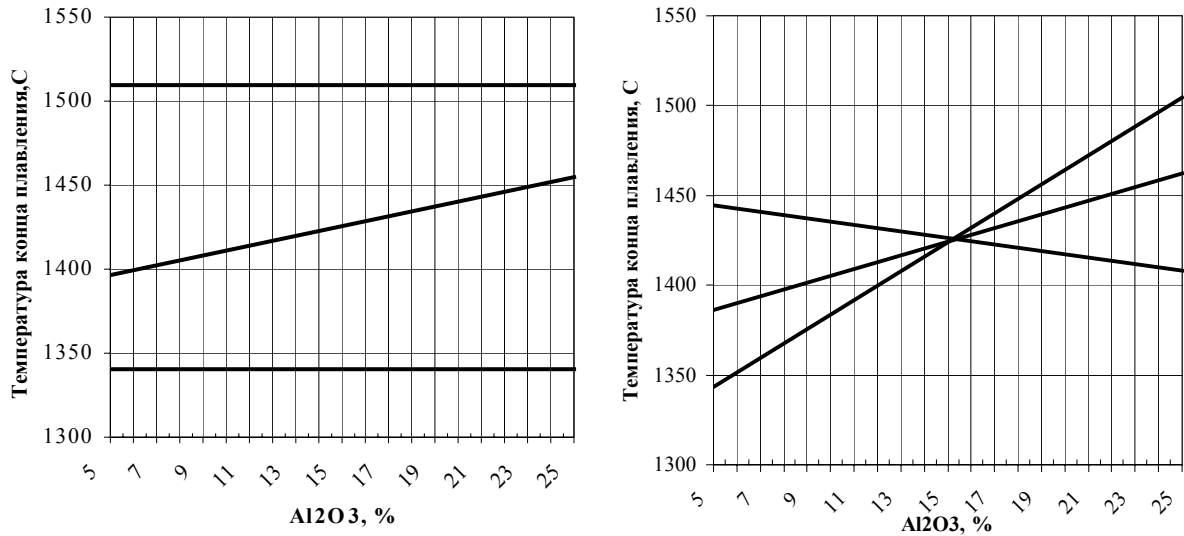
в)

Рисунок 1 - Влияние содержания Al₂O₃ на вязкость шлаков, имеющих различное количество R₂O, CaF₂ и различную основность В:

а – для условий В=1.1 и CaF₂=14% ;

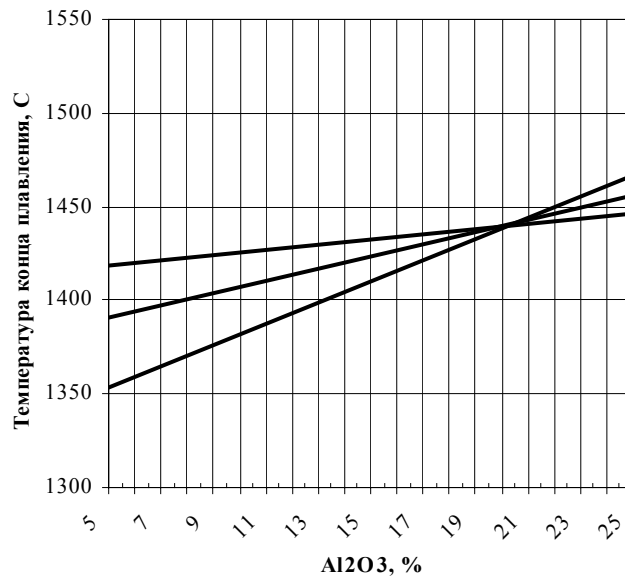
б – для условий В=1.1 и R₂O=8% ;

в – для условий CaF₂ =14% и R₂O=8%



а)

б)



в)

Рисунок 2 - Влияние содержания Al_2O_3 на температуру конца плавления шлаков, имеющих различное количество R_2O , CaF_2 и различную основность B :

a – для условий $B=1.1$ и $R_2O=8\%$;

б – для условий $Ca F_2 =14\%$ и $R_2O=8\%$;

в – для условий $B=1.1$ и $Ca F_2 =14\%$

Глубина залегания дефектов не превысила 3 мм. Все дефекты легко удаляются огневой зачисткой. Анализ данных по разбраковке трубных заготовок показал снижение брака трубных заготовок из непрерывнолитого металла по мере совершенствования технологии разлива с 0,45% до 0,30%.

Качество трубной заготовки, произведенной в условиях ОАО ДМКД, согласно данным таблицы 3, требует разработки дополнительных рекомендаций по технологии производства стали.

Выводы. Анализ оптимального температурно-скоростного режима разлива металла на МНЛЗ позволяет определить основные проблемы разлива стали. С этой целью разработаны и рекомендуются для дальнейшей производственной эксплуатации ШОС оптимального состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.С.Бродский Новые технологические процессы и оборудование многоручьевых сортовых МНЛЗ. – МН.: Беларуская наука, 1998. – 128 с.
2. Влияние добавок углеродосодержащих материалов на вспенивание конверторного шлака / В.Б. Охотский, А.Д. Зражевский, Л.М.Учитель и др.// Металлург. и горноруд. пром-сть, 1989. №2, с.14-15.

Получено 26.07.2007 г.

УДК 621.746.393.776.2

В.Л. Завацкий

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИБКИХ РАБОЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ СКРЕБОВЫХ КОНВЕЕРОВ

Введение

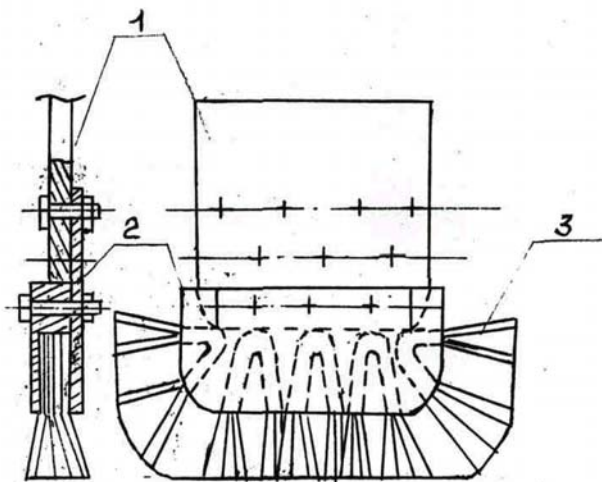
В технике широко применяются металлические щетки, где ворс представляет собой отрезки стальной гибкой проволоки. В расчетах их следует рассматривать как стержни большой гибкости. Они являются рабочими элементами различных механизмов, в том числе щеточных, применяемых для зачистки и осветления проката, свариваемых поверхностей металла, иглофрезерования, в машинах для очистки изложниц и т. д. Расчет щеточных механизмов необходим при проектировании подметально-уборочных машин. Не редко щеточные механизмы используются в загрузочно-разгрузочных и транспортных устройствах для перемещения сыпучих материалов

В механических цехах для уборки мелкой стружки применяются различные скребковые или скребково-тележечные конвейеры. Они широко используются в строительной индустрии. К недостаткам таких конвейеров относятся: быстрый износ желоба и самого скребка, шум и значительный расход энергии. В связи с этим их длина желоба ограничена и не превышает 55 – 60 м. Чтобы повысить эффективность работы конвейеров рабочую часть скребков выполняют эластичной. В качестве таковой могут использоваться отрезки прорезиненной транспортерной ленты, закрепленные к жесткой части скребка. Однако при перемещении металлической стружки и других абразивных материалов лента быстро приходит в негодность. Более работоспособным является металлический ворс, который в своей совокупности составляет плоскую щетку. Конструктивно она может выполняться в различных вариантах. Один из них представлен на рис 1.

Постановка задачи.

Надежная работа такого скребка зависит от параметров стального ворса - его количества в пучке и пучков в щетке, длины и диаметра ворсин. Чаще всего в производственных условиях для этого

используют отрезки стального каната. При перемещении стружки вдоль короба ворс должен прижиматься к днищу и боковым стенкам, быть достаточно жестким, чтобы воспринимать на себя часть силы сопротивления движению материала в коробе и достаточно эластичным.



1 – скребок, 2 – корпус щетки, 3 – стальной ворс

Рисунок 1 – Конструкция щеточного скребка

Деформация ворса при этом не должна выходить за пределы закона упругости. Каждая ворсинка такого скребка рассчитывается как гибкий стержень, зацементированный одним концом и нагруженный нормальным давлением N со стороны днища и силой трения сопротивления F , направленной вдоль днища противоположно движению скребка. Их равнодействующая R будет действовать на ворсинку под некоторым углом γ (рис. 2). Расчет, в основном, сводится к определению величины деформации гибкого стержня (ворсин) по заданной силе N или наоборот. Действия значительно упрощаются, если деформацию ворсинки рассматривать в координатах $X'OY'$, где ось X' ориентирована по силе R [1, 2.].

Решение поставленной задачи

Последняя, при расчете деформации, заменяется безразмерным силовым параметром

$$\beta = L \sqrt{\frac{R}{EJ}}, \quad (1)$$

где L , J , E – длина, момент инерции поперечного сечения и модуль упругости гибкого стержня. Этот же силовой параметр можно найти из выражения

$$\beta = F\left(\frac{\pi}{2}\right) - F(\varphi_0), \quad (2)$$

где $F = \left(\frac{\pi}{2}\right)$ и $F(\varphi_0)$ – полный и неполный эллиптические интегралы первого рода;

φ_0 – табличная амплитуда эллиптического интеграла для начальной точки изогнутого стержня.

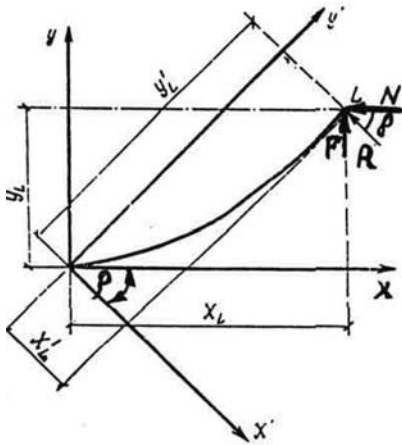


Рисунок 2 – Схема нагружения ворсины

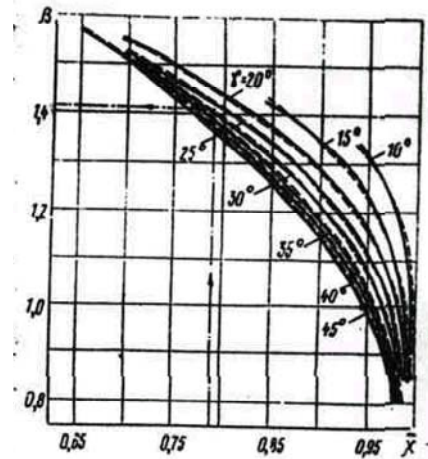


Рисунок 3 – График $\beta = f(x, \rho)$

Полный эллиптический интеграл $F = \left(\frac{\pi}{2}\right)$ зависит от модуля k , изменяющегося от 0 до 1.

Между k и φ_0 существует зависимость

$$k \cdot \sin \varphi_0 = \sin \frac{\rho}{2}, \quad (3)$$

где ρ - угол поворота системы координат $X_1 O Y_1$ относительно $X O Y$ (рис. 2),

откуда

$$\varphi_0 = \arcsin \frac{\sin \frac{\rho}{2}}{k}. \quad (4)$$

Из этого следует, что неполный эллиптический интеграл $F(\varphi_0)$ зависит от k и φ_0 . Значение параметра β находят по формуле (1) и подставляют в (2).

Методом последовательного приближения, принимая попеременно значения k , определяют φ_0 из выражения (4). Затем по углу φ_0 из таблиц [3] подбором находят эллиптические интегралы

$F = \left(\frac{\pi}{2}\right)$ и $F(\varphi_0)$ разность которых будет равна β . Это требует нескольких повторений и определенного времени.

Значение k , при котором наступит равенство (2), является модулем эллиптических интегралов упругой линии деформированного стержня. По нему в тех же таблицах [3] находят значение полного $E = \left(\frac{\pi}{2}\right)$ и неполного $E(\varphi_0)$, эллиптических интегралов второго рода.

Последние входят в уравнение для определения величины проекции деформированного стержня на оси координат X' и Y' , т.е.

$$X' = \left\{ \frac{2}{\beta} \left[E\left(\frac{\pi}{2}\right) - E(\varphi_0) \right] - 1 \right\} \cdot L, \quad (5)$$

$$Y' = \frac{2k}{\beta} L \cdot \cos \varphi_0. \quad (6)$$

Деформацию ворсины относительно первоначальных осей X и Y находят из соотношения

$$\begin{aligned} X_L &= X' \cos \rho + Y' \sin \rho; \\ Y_L &= Y' \cos \rho + X' \sin \rho. \end{aligned} \quad (7)$$

Просадка ворсины ΔX определится из разности длины ворсины L и значения X , т.е.

$$\Delta X = L - X.$$

Укладка пучков (отрезков стального каната) в пазы (см. рис. 1) колодки петель повышает стойкость щеток. В этом случае отсутствует точка жесткого защемления и улучшаются условия работы ворса.

В практике различают расчетную длину ворсины L и конструктивную L_k связанную следующим соотношением

$$L = (1,1 \dots 1,15) \cdot L_k. \quad (8)$$

Это объясняется неплотной укладкой пучков в пазы колодки. Значение поправки возрастает с увеличением зазора между пучком ворса и стенками паза в колодке.

Напряжение изгиба определим по формуле.

$$\sigma = \frac{M_u}{W} \leq [\sigma]. \quad (9)$$

Изгибающий момент в точке защемления найдется из выражения

$$M_{\dot{\epsilon}} = R \cdot y' = \frac{2R \cdot k}{\beta} \cdot L \cdot \cos \varphi_0, \quad (10)$$

а момент сопротивления

$$W = 0,1 \cdot d^3,$$

где d – диаметр ворсины.

Недостаток расчета ворсины по заданному значению N состоит в том, что полученная при этом деформация может оказаться недостаточной или слишком большой, при которой внутреннее напряжение превысит допускаемое. В этом случае необходимо задаваться новым значением N и все повторить сначала. Более рационально решать обратную задачу, т.е. по регламентированной просадке ворса ΔX определять силу N . Это необходимо при расчетах плоских пружин для обгонных муфт, центробежных регуляторов и т.д., часто встречающихся в механизмах различных машин. Но описанным методом это сделать невозможно.

Для решения обратной задачи, согласно приведенной методике, на ЭВМ были выполнены многочисленные расчеты гибких стержней с различными значениями β и ρ . Значение деформированного стержня удобно выразить относительной величиной $\bar{X} = \frac{x}{L}$.

Результаты этих расчетов представлены в виде графиков $\beta = f(x, \rho)$ (рис.3), которые позволяют быстро решить как прямую (по силе находят деформацию), так и обратную задачи (по известной деформации находят силу N).

Графики $\beta = f(x, \rho)$ аппроксимировали сравнительно простыми формулами[5].

$$\bar{X} = 1 - 0,4 \cdot e^{-\left(\frac{1}{\beta} - 0,61\right)\left(2,38 + \frac{2}{\sin \rho}\right)} \quad (11)$$

или

$$\beta = \frac{2,38 + \frac{2}{\sin \rho}}{\ln \frac{0,4}{1 - \bar{x}} + 0,61 \cdot \left(2,38 + \frac{2}{\sin \rho}\right)}, \quad (12)$$

где $\rho = \arctg(f)$, а f – коэффициент трения.

Формулы (11) и (12) с высокой точностью моделируют процессы деформации гибких стержней и описывают графики, построенные по результатам сложных расчетов подбором эллиптических интегралов. Новые кривые показаны на рис. 3 пунктиром.

Полученные математические модели пригодны для расчета гибких стержней любого поперечного сечения с нагружением в диапазоне измерений угла ρ от 0 до 90° . Во всех случаях расхождение с точным решением по формулам (5), (6) не превысили 1%.

При установившемся движении скребка равнодействующая R нормального давления N на ворсину и силы трения-сопротивления F равна

$$R = \frac{\beta^2 EJ}{L^2}, H \quad (13)$$

где E – модуль упругости (для канатной проволоки $E = (1,7...1,9) 10^5$ МПа [6];

J – момент инерции поперечного сечения ворсины, $J = 0,0481 d^4$.

Нормальное давление на одну ворсину

$$N = R \cdot \cos \rho, \quad (14)$$

а на всю щетку

$$\sum N = N \cdot i \cdot \psi, \quad (15)$$

где i – число ворсин, закрепленных на скребке, которое зависит от количества уложенных пучков Z .

Шаг укладки пучков, как показал опыт, целесообразно принимать

$$t = (2...3)d_k,$$

где d_k – диаметр стального каната.

Коэффициент ψ учитывает уменьшение нормального давления за счет бокового склонения ворсин в распушённом пучке. Теоретические исследования

Коэффициент ψ учитывает уменьшение нормального давления за счет бокового склонения ворсин в распушённом пучке. Теоретические исследования показали, что среднее значение $\psi = 0,74...0,75$. Суммарная сила трения-сопротивления, действующая на щеточный скребок

$$\sum F = \sum N \cdot f, \text{ Н.} \quad (16)$$

Необходимая мощность для преодоления суммарной силы, действующей на все скребки при установившемся движении конвейера, можно определить как

$$T_1 = \frac{\sum F \cdot n \cdot V}{102}, \text{ кВт,} \quad (17)$$

где n – количество скребков, транспортирующих материал.

Общая мощность привода конвейера с учетом сил вредного сопротивления и коэффициента полезного действия определится из выражения

$$T = \frac{(\sum F \cdot n + W_{\text{в}}) \cdot V}{102 \cdot \eta}, \text{ кВт,} \quad (18)$$

где $W_{\text{в}}$ – силы вредного сопротивления всего конвейера, определяются согласно принятой методике;

V – скорость поступательного движения щеточных скребков (0,25...0,40) м/с;

η – КПД приводного механизма.

Для тележечно-скребковых конвейеров, где при реверсировании тележки щетка перегибается в обратную сторону, необходимо дополнительно рассчитывать ворс в наиболее опасных точках перегиба. В этот момент на ворс будет действовать максимальная нагрузка, при которой щетка может быстро прийти в негодность.

Многочисленные опыты показали, что условие надежности щеток соблюдается, если относительная деформация ворса при установившемся движении остается в пределах

$$\bar{X} = \frac{X_L}{L} = 0,7 \div 0,9, \quad (19)$$

где X_L – расстояние между дном короба и местом заделки ворса (рис.2);

L – свободная длина ворсин.

С учетом пусковых режимов и реверсирования двигателя при перегибе ворса установочную мощность привода целесообразно принять

$$T_{\text{уст}} = (1,5 \dots 2) T, \text{ кВт.}$$

Выводы

1. Разработана методика расчета щеточных элементов скребковых или скребково-тележечных конвейеров, их суммарной силы трения – сопротивления и необходимой на ее преодоление мощности привода;

2. Приведенный метод определения параметров щеточного ворса пригоден для расчета гибких стержней, плоских пружин, один конец которых зацементирован, а другой – нагружен сосредоточенной силой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов Е.П. Теория расчета гибких упругих деталей. – ЛКВВА, Ленинград, 1947 г.
2. Пономаренко С.Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. Том 1. – “Машгиз”, – М 1956 г. - с. 677–703.
3. Самойлова-Яхонтова Н.С. Таблицы эллиптических интегралов – ОНТИ, 1935.
4. Пузырьков П.И., Завацкий В.Л. О расчете гибких стержней. Ж. Строительная механика и расчет сооружений, № 1, 1983 г. - с. 75 – 76.
5. Пузырьков П.М., Завацкий В.Л. Выбор рациональных параметров щеточных механизмов для чистки изложниц. Черная металлургия. Бюллетень научно-технической информации. Москва, 1977, № 19 - с. 36.

Получено 10.09.2007 г.

УДК 539.3

Д.Г. Зеленцов, М.В. Мельникова

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ КОРРОДИРУЮЩИХ ПЛАСТИН

Введение. В процессе эксплуатации оборудования и металлоконструкций используемых, в частности в химической промышленности, наблюдается заметное ухудшение их рабочих характеристик в результате коррозионного износа. Это проявляется в виде уменьшения геометрических размеров конструктивных элементов, снижении несущей способности конструкций и преждевременном выходе их из строя. Одной из мер повышения долговечности является завышение геометрических размеров проектируемых конструкций на величину, компенсирующую коррозионный износ. В полной мере обеспечить необходимую долговечность при минимизации материалоемкости конструкции можно лишь путем решения задачи оптимального проектирования.

Исходя из постановки оптимизационной задачи, конструкция должна сохранять несущую способность, то есть удовлетворять условиям прочности, жесткости, устойчивости в течение заданного промежутка времени. При этом время работы конструкции может быть как заданной величиной, так и варьируемым параметром. Как следует из анализа работ, посвященных проблеме оптимизации корродирующих конструкций, приведенных в обзоре [1], данная проблема до конца не решена. Это объясняется, в том числе, отсутствием надежных и достоверных алгоритмов вычисления функций ограничений.

Постановка задачи. Рассмотрим наиболее общий случай коррозионного взаимодействия, когда скорость коррозии является функцией напряжений. Это обуславливает появление обратной связи в моделях оптимизации. На рис.1 приведена общая блок-схема такой модели. Приняты следующие обозначения: А – модуль вычисления функций ограничений; В – модуль, учитывающий влияние агрессивной среды; С – модуль вычисления целевой функции; D – модуль, реализующий выбранный метод математического

программирования; U , V , W – погрешности решения задачи напряженно-деформированного состояния (НДС), системы дифференциальных уравнений (СДУ) и задачи нелинейного математического программирования (НЛП).

Существующие подходы к решению задач основаны на совместном использовании численных методов решения СДУ, описывающий коррозионный процесс в элементах конструкции, методов решения задачи НДС, например, метода конечных элементов (МКЭ) [2, 3] и методов решения задачи НЛП. В качестве последних в общем случае могут использоваться только поисковые методы, так как функции ограничения не являются дифференцируемыми на всем пространстве поиска оптимального решения. Такие подходы позволяют получить некоторый результат, принимаемый за решение задачи долговечности. Не останавливаясь на анализе их эффективности, которая, очевидно, весьма невысока, отметим, что основным недостатком существующих методик является непредсказуемость погрешности решения оптимизационных задач такого класса.

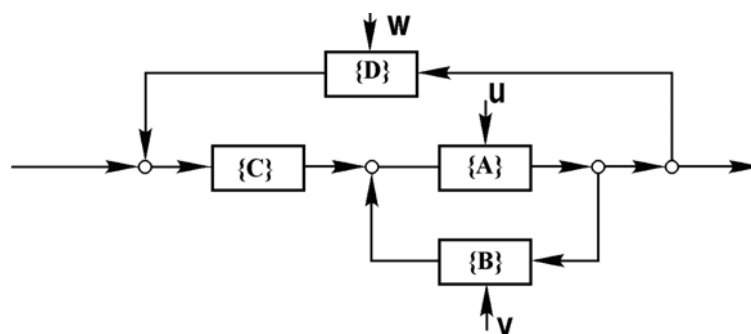


Рисунок 1

Очевидно, точность решения зависит, прежде всего, от погрешности вычисления функций ограничений. Эта погрешность должна находиться в разумных границах в процессе решения оптимизационной задачи и не зависеть от того или иного набора варьируемых параметров. Иными словами, алгоритм вычисления функций ограничений должен быть устойчивым по входным данным и обеспечивать получение достоверного решения.

Существующие алгоритмы, использующие методы типа Рунге-Кутта, не удовлетворяют этим требованиям: они не обеспечивают получение достоверного результата и не устойчивы по входным данным. Более того, невозможность изменения параметров

численных алгоритмов решения СДУ в процессе решения задачи оптимизации снижает их надежность и эффективность.

Становится очевидным, что для успешного и эффективного решения задачи оптимального проектирования корродирующих конструкций требуется существенная адаптация численных методов решения СДУ при вычислении функций ограничений.

Анализ алгоритмов вычисления. Размерность системы дифференциальных уравнений равна (или превосходит) числу конечных элементов в конечно-элементной модели конструкции. Для модели коррозионного износа, предложенной в [4] она имеет вид:

$$\frac{dH}{dt} = -v_0 [I + k\sigma(H, t)]; \quad H|_{t=0} = H_0, \quad (1)$$

где H – вектор изменяющихся толщин элементов конструкции размерности N ; v_0 – скорость коррозии при отсутствии напряжений; σ – некоторое эквивалентное напряжение; k – коэффициент влияния напряжения; t – время; N – количество элементов в конечно-элементной модели конструкции.

Решая (1) численно, можно определить геометрические характеристики любого КЭ в произвольный момент времени:

$$H_{ik}^j = H_{ik}^{j-1} - \Delta t^j v_0 [I + k\sigma_i(H^{j-1}, t^{j-1})]; \quad i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

j – номер шага по времени.

Значение вектора H на данном шаге определяется по его значению на предыдущем. При этом в каждом узле временной сетки решается задача МКЭ. Для обеспечения получения результата с приемлемой точностью шаг по времени Δt приходится принимать достаточно малым. Это приводит к тому, что число итераций (следовательно, и число обращений к процедуре МКЭ) при вычислении функций ограничений может достигать нескольких десятков, а в некоторых случаях и сотен. Применение более эффективных численных методов решения задачи Коши позволяет несколько сократить число итераций, но в целом ситуации не меняет. Эффективность такого алгоритма оказывается невысокой.

При решении оптимизационных задач возникает проблема выбора рационального шага по времени. Геометрические параметры элементов, которые, как правило, являются варьируемыми параметрами, изменяются в процессе решения задачи в заданных границах. Величина шага по времени, достаточная для обеспечения

заданной точности для одного набора варьируемых параметров, может оказаться недостаточной для другого. В связи с этим приходится либо идти на усложнение алгоритма решения задачи, вводя в него дополнительные программные модули, позволяющие прогнозировать величину шага по времени для данного набора варьируемых параметров, либо использовать очень малый шаг, обеспечивающий высокую вероятность необходимой точности решения для всех возможных наборов варьируемых параметров. Последнее, в свою очередь, приводит к очень большому числу обращений к процедуре МКЭ и приводит к непредсказуемой погрешности решения задачи, обусловленной накоплением погрешности вычислений [5].

Как следует из вышеизложенного, алгоритм решения СДУ должен отвечать требованиям:

- надежности (исключать возможность аварийного завершения работы программы вследствие системных ошибок);
 - достоверности (обеспечивать получение результата, который будет являться решением задачи);
 - устойчивости по входным данным (погрешность решения задачи не должна зависеть от конкретных значений варьируемых параметров);
- эффективности.

Ниже будут рассмотрены ситуации, когда методы типа Рунге-Кутта не удовлетворяют данным требованиям.

В ситуациях, когда решение задачи становится неустойчивым, при использовании методов типа Рунге-Кутта, возможно возникновение аварийного завершения работы программы вследствие системных ошибок. Обеспечение надежности методов численного алгоритма возможно, только за счет введения в алгоритм дополнительных логических блоков, которые, тем не менее, не исключают возможности появления таких ошибок.

Долговечность конструкции определяется моментом времени, когда напряжения (или перемещение) в каком-либо элементе достигнут своих предельных значений. Элемент, в котором в данный момент времени напряжения наибольшие, в дальнейшем будем называть ведущим элементом. Методы типа Рунге-Кутта плохо работают в ситуациях, когда происходит смена ведущего элемента, то

есть, игнорирование смены ведущего элемента, очевидно, приведет к серьезному искажению решения задачи. Гарантировать достоверность решения задачи долговечности при использовании методов типа Рунге-Кутта, без серьезного усложнения логики алгоритма невозможно.

При решении оптимизационной задачи заранее известно, какая комбинация варьируемых параметров будет реализована на данном шаге поиска оптимального проекта. Величина шага интегрирования системы дифференциальных уравнений является параметром, который не изменяется во время работы программы. Следовательно, число итераций при постоянном значении заданной долговечности также будет постоянным. В этом случае погрешность численного решения будет существенно зависеть от того, какой именно набор варьируемых параметров реализуется на данном шаге задачи нелинейного программирования. Алгоритм, основанный на использовании методов типа Рунге-Кутта, при всех своих вышеперечисленных недостатках является еще и неустойчивым по входным данным.

Повысить эффективность в методах типа Рунге-Кутта можно с помощью использования неравномерной временной сетки. В этом случае представляется очевидным, что шаг по времени является убывающей функцией числа итераций. Вопрос о выборе вида функции остается открытым. При этом даже удачный выбор такой функции не гарантирует результата из-за вышеперечисленных недостатков одношаговых методов.

Совершенно очевидно, что использование вычислительных алгоритмов, основанных на методах типа Рунге-Кутта в той их реализации, которая использовалась до настоящего времени, не только не позволяет получить решения задачи оптимального проектирования с заданной точностью, но и в ряде случаев не гарантирует получение достоверного результата.

Полуаналитический алгоритм решения СДУ. Ниже предлагается новый полуаналитический алгоритм решения систем дифференциальных уравнений в задачах оптимального проектирования корродирующих пластин, которые, на взгляд автора, лишены перечисленных недостатков.

Эффективность метода можно повысить за счет использования неравномерной временной сетки. Для этого предлагается использовать новый параметр интегрирования. Вместо шага по времени принимается шаг по напряжениям. Решение поставленной задачи возможно лишь при наличии зависимости, определяющей связь между шагом по напряжениям $\Delta\sigma$ и шагом по времени Δt . Такая зависимость предложена авторами и имеет вид [2]:

$$\Delta t = \frac{h_0 \cdot \sqrt{\sigma_0}}{2 \cdot v_0} \cdot \left[\frac{1}{\sqrt{\sigma_0}} - \frac{1}{\sqrt{\sigma}} + \sqrt{k} (\arctg \sqrt{k\sigma_0} - \arctg \sqrt{k\sigma}) \right] \quad (3)$$

где σ_0 и σ – начальное и конечное эквивалентные напряжения; h_0 – толщина КЭ; Δt – время, за которое напряжения в КЭ изменяются от σ_0 до σ , то есть на величину $\Delta\sigma$.

Применение аналитической формулы позволяет упростить логику алгоритма.. Когда параметром интегрирования является время, требуется уточнение результата, например, методом парабол [2]. Это предполагает наличие информации о напряжениях в ведущем элементе в трех узлах временной сетки. При смене ведущего элемента требуется переопределение этих напряжений (рис. 2). Это требует существенного усложнения алгоритма, либо сохранения информации о напряжениях во всех КЭ. В полуаналитическом алгоритме уточнения решения не требуется, так как величина последнего шага по времени определяется из величины предельного напряжения, а процесс смены ведущего элемента осуществляется простой логической процедурой.

Надежность алгоритма обусловлена тем, что аргументом становится напряжение, а функцией – время, то неустойчивость решения в данном случае не наблюдается, а, следовательно, и аварийное завершение работы программы значительно менее вероятно.

К преимуществам предложенного алгоритма следует отнести и то, что он устойчив по входным данным.

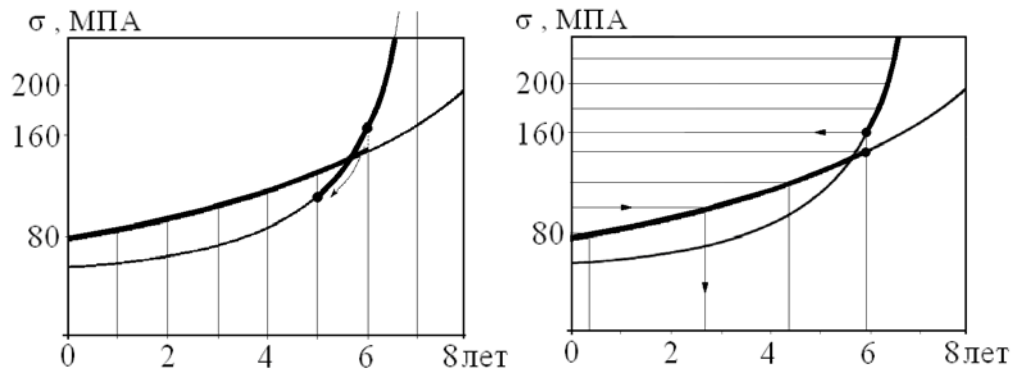


Рисунок 2

Численная иллюстрация. Для численной иллюстрации рассматривалась прямоугольная пластина, нагруженная в центре симметрии нагрузкой $P = 40$ кг (рис. 3). Геометрические параметры конструкции, характеристики металла и параметры коррозионного износа: $a = 50$ см; $h = 0,75$ см; $E = 2,1 \times 10^5$ МПа; $\mu = 0,3$; $[\sigma] = 240$ МПа; $v_0 = 0,25$ см/год; $k = 0,003$ МПа⁻¹. Асимптотически точное решение задачи долговечности $t^* = 1,082$ года было получено путем последовательного уменьшения длины шага по времени при решении СДУ (1) методом Эйлера при $\Delta t = 0,01$ года, то есть, для этого потребовалось 109 итераций.

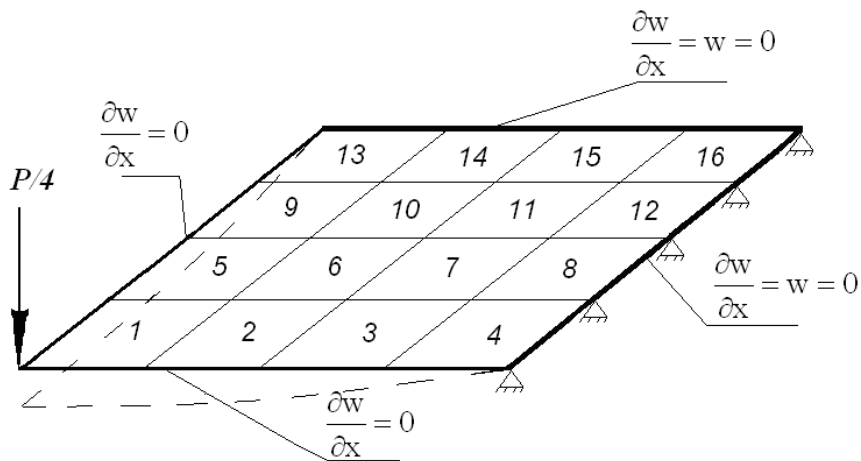


Рисунок 3

Долговечность конструкции определялась моментом времени, когда эквивалентные напряжения в КЭ (1) достигали предельного значения. Найденное решение считалось эталонным. Затем задача решалась при меньшем числе итераций. Некоторые результаты решения задачи представлены в таблице 1.

Результаты приведенные в таблице наглядно показывают, что с помощью метода Эйлера получить решение задачи не удалось. Так

как алгоритм не предусматривал изменения знака толщины КЭ, то функция эквивалентных напряжений, начиная с некоторого момента времени стала убывающей (рис. 4). При этом полуаналитический алгоритм при 10 итерациях позволил получить решение с погрешностью менее 0,5 %.

Таблица 1

Долговечности конструкции при численном и полуаналитическом решениях

Метод Эйлера			Полуаналитический алгоритм		
Время, Лет	Толщина, см	Напряжения, МПа	Время, лет	Толщина, см	Напряжения, МПа
0,000	0,750	115,1	0,000	0,750	115,1
0,157	0,668	144,3	0,596	0,434	343,6
0,314	0,586	186,5	0,775	0,333	560,6
0,471	0,504	250,8	0,867	0,275	770,2
0,628	0,419	356,6	0,925	0,242	974,3
0,785	0,332	551,1	0,965	0,215	1175,3
0,942	0,241	980,2	0,996	0,194	1375,9
1,099	0,139	2154,4	1,021	0,177	1580,5
1,256	0,032	2384,4	1,042	0,161	1797,2
1,413	-0,122	2240,6	1,060	0,147	2045,1
1,570	-0,223	1094,3	1,080	0,131	2400,0

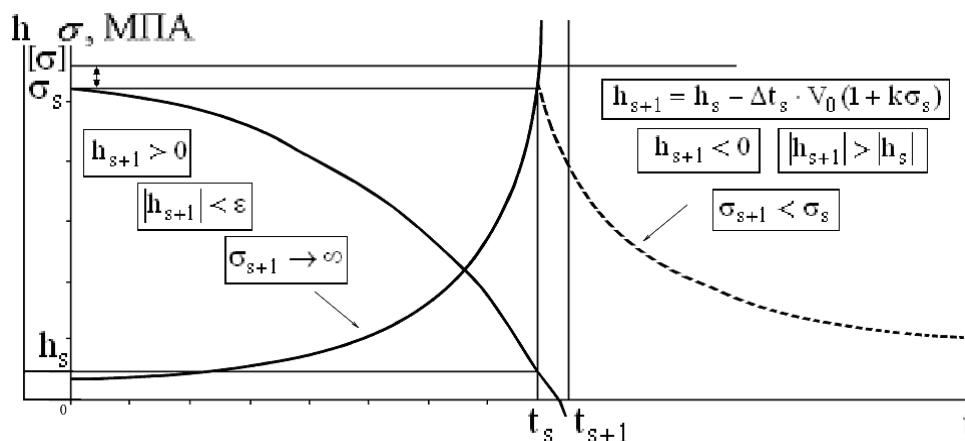


Рисунок 4

Вывод. Таким образом, изложенный алгоритм решения задачи долговечности пластины, подверженной коррозионному износу, обладает, по сравнению с известными, следующими преимуществами:

- применение аналитической формулы, определяющей зависимость времени эксплуатации конструкции от параметров коррозионного износа, позволяет существенно (в десятки раз) уменьшить число итераций при решении задачи долговечности, а, следовательно, и число обращений к процедуре МКЭ;

- при вычислении функций ограничений число итераций заранее известно и алгоритм не нуждается в процедуре уточнения значения долговечности;
- при наличии ограничений по жесткости алгоритм использует процедуру уточнения, но в этом случае число запоминаемых параметров состояния невелико и известно заранее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленцов Д.Г., Филатов Г.В. Обзор исследований по применению методов нелинейного математического программирования к оптимальному проектированию конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. // Вопросы химии и химической технологии. – 2002. – № 4. – С. 108 – 115.
2. Зеленцов Д.Г., Мельникова М.В. Численные алгоритмы в задаче изгиба корродирующей пластины. // Вопросы химии и химической технологии. – 2006, № 4 - С. 186-189.
3. Алексеенко Б.Г., Почтман Ю.М. О применении метода конечных элементов в расчетах прочности и долговечности стержневых систем, взаимодействующих с агрессивными средами. // Theoretical Foundation of Civil Engineering. – Warsaw, 1999. – P. 11 – 15.
4. Долинский В.М. Изгиб тонких пластин, подверженных коррозионному износу // Динамика и прочность машин, Харьков, 1975. – Вып. 21. – с. 16 – 19.
5. Колесник І.А., Зеленцов Д.Г., Храпач Ю.О. Про похибку скінченно-елементних процедур в задачах довговічності багатоеlementних конструкцій, які підлягають корозійному зносу. // Опір матеріалів та теорія споруд. – 2002. – вип. 70. – С. 176 – 181.

Получено 04.05.2007 г.

В.А. Марунич

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УСЛОВИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЕНОПОЛИУРИТАНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Введение

Известные принципы повышения качества поверхностного слоя при лезвийной обработке материалов [1,2] эффективны для чугунов, сталей и их сплавов. Применение для обработки вязкоупругих теплоизоляционных пенополиуритановых (ППУ) материалов традиционных условий резания приводит к отрыву срезаемого слоя по направлениям разрыва молекулярных связей на определенной стадии упругонапряженного состояния.

Обработанный поверхностный слой, при этом, характеризуется неупорядоченными (хаотическими) вырывами и сколами по кромкам, определяющими весьма низкие показатели качества. Соответственно, получаются низкими показатели точности размеров обработанных поверхностей.

Постановка проблемы

Разработанные новые способы обработки [3,4] упомянутых материалов требуют экспериментальных исследований для определения рациональных геометрических параметров режущей части инструментов и режима резания. В этой связи основной задачей экспериментальной обработки являлось определение такого сочетания геометрических параметров инструмента и режима резания, которое обеспечило бы высокую производительность труда и при этом на обработанной поверхности не должно быть вырывов и сколов по кромкам.

Проведение исследований

На этапе предварительного изучения технологического процесса скользящего торцового фрезерования ППУ необходимо было сократить число исследуемых факторов, что позволило, с одной стороны, исключить из рассмотрения наименее важные факторы, а, с

другой, - сократить сроки и средства на выполнение экспериментальной отработки.

В связи с тем, что вопрос о возникновении вырывов и сколов по кромкам при фрезеровании ППУ практически не изучен, а их образование зависит от целого ряда факторов, то в целях формализации априорной информации о существенности влияния того или иного фактора на параметр оптимизации специалистам и производителям по обработке ППУ были розданы анкеты (табл.1).

В анкете факторы расположены в случайном порядке (X_1, X_2, \dots, X_{14} - кодовые обозначения факторов). Даны также размерности и область варьирования. При этом, прежде всего, экспертам было предложено уточнить состав факторов и интервал их изменения.

С целью введения количественной меры экспертам было предложено расположить факторы в порядке убывания их воздействия на образование дефектов. Когда специалист не мог указать порядок следования для двух или нескольких рядом стоящих факторов, то им приписывался один и тот же номер, а при вычислении вводились связанные дробные ранги.

Матрица рангов, полученная из анкет, была преобразована так, чтобы сумма рангов в каждой строке равнялась $(K + 1) K/2$, где K - число ранжируемых факторов. Преобразованная матрица приведена в таблице 2. Цифры, стоящие в клетках таблицы, соответствуют месту, отведенному данному фактору в ранжировочном ряду. Фактор, сумма рангов которого меньше, занимает более высокое место в среднем ранжировочном ряду. Поэтому по числу, стоящему в строке "сумма рангов", можно судить о порядке убывания важности факторов.

Степень согласованности мнений специалистов оценивалась с помощью коэффициента конкордации, вычисленного для случая связанных рангов по формуле

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(K^3 - K) - \sum_i T_i} = \frac{65308,25}{82127,5 - 275,5} = 0,798,$$

где $T_i = \frac{1}{12} \sum_j (t_j^3 - t_j)$; $t_j - j - l$ - число одинаковых рангов в i -ом

ранжировании;

K - число факторов, включенных в анкету;

S - сумма квадратов отклонений.

Сумму квадратов отклонений определили из выражения

$$S = \sum_{i=1}^m \Delta_i^2,$$

где $\Delta_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} - T$; m - число опрашиваемых экспертов;

$$T = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^K a_{ij}}{K} = \frac{1985,5}{14} = 141,82.$$

Таблица 1

Анкета исследуемых факторов

Фактор	Определение	Интервал изменения
X ₁	Угол наклона кромки, λ , град	70...85
X ₂	Скорость главного движения резания, v , м/с	0,5...8
X ₃	Передний угол, γ , град	40... 80
X ₄	Задний угол, α , град	0...40
X ₅	Скорость движения подачи, v_s , мм/мин	80..1000
X ₆	Угол заострения, β , град	7...13
X ₇	Радиус округления режущей кромки, ρ , мкм	6...10
X ₈	Глубина резания, t , мм	1 ... 3
X ₉	Температура резания, θ , °С	40...80
X ₁₀	Микроструктура и химический состав материала лезвия инструмента	9ХС по ГОСТ 5950-73
X ₁₁	Твердость ножа, НРСэ	59 ... 63
X ₁₂	Микроструктура, ячеистая структура и химический состав обрабатываемого материала	Рипор-2Н ЗЗУ.0354.006
X ₁₃	Шероховатость передней поверхности лезвия, Ra , мкм	0,4 ... 1,25
X ₁₄	Шероховатость задней поверхности лезвия, Ra , мкм	0,4...1,25

Таблица 2

Преобразованная матрица рангов

Опрашиваемый эксперт	Исследуемые факторы														$\sum (t_j^3 - t_j)$
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	
1	2	3	1	4	6	5	9,5	7,5	11	13	7,5	14	12	9,5	6+6
2	1	3	2	4,5	4,5	10	12	6,5	8,5	6,5	14	13	8,5	11	6+6+6
3	1	2	3	5	4	8	13	6	10	7	9	11	12	14	0
4	1	4	2	5	3	6	8	7	10	11	9	13	12	14	0
5	2	5	1	6	3	4	7	10	8	11	9	12	14	13	0
6	1	3	2	6	4	5	7,5	7,5	9	12	11	10	13	14	6
7	1	2	3	5	4	6	8	7	9,5	11	9,5	12	14	13	6
8	1,5	3	1,5	6	5	4	7	9	8	12	10	11	13	14	6
9	1,5	3	1,5	5,5	4	5,5	8	7	9,5	11	13	12	14	9,5	6+6+6

10	2	5	1	4	3	14	6	8	7	10	13	9	11	12	0
11	1	3	2	5	4	7	14	6	8	11	9	10	12	13	0
12	1	4	2	5	3	6,5	6,5	14	12	8	11	13	9	10	6
13	1,5	3	1,5	6	4	5	7	8,5	11	10	13	14	12	8,5	6+6
14	1	4	3	5	2	7	6	12	9	11	10	8	13,5	13,5	6
15	1	4,5	2	4,5	3	6,5	10,5	8,5	12,5	6,5	14	6,5	12,5	10,5	6+6+6+ +6+6
16	1,5	3	1,5	5	4	7,5	10	9	11	7,5	12	13,5	13,5	6	6+6+6
17	1,5	3,5	1,5	5	3,5	6,5	6,5	9,5	12	9,5	11	14	13	8	6+6+6+ +6
18	1	3	2	5	4	7,5	9,5	11	6	12	13	7,5	9,5	14	6+6
19	1	4	3	2	5	7	6	14	10	12	8	11	13	9	0
Сумма рангов, $\sum_{i=1}^m a_{ij}$	24,5	65	36,5	93,5	73,5	128	162,0	168,0	182	192	196	216,5	231,5	216,5	
Отклонение от средней суммы рангов, Δ_i	-117,32	-76,82	-105,32	-48,32	-68,32	-13,82	20,18	26,18	40,18	50,18	54,18	74,68	89,68	74,68	
Квадраты отклонений, Δ_i^2	13763,98	5901,31	11092,3	2334,82	4667,6	190,99	407,23	685,39	1614,43	2518,03	2935,47	5577,10	8042,5	5577,10	

Значимость этого коэффициента оценивалась по χ^2 - критерию с помощью формулы

$$\chi^2 = m(k-1) \cdot W = 19(14-1) \cdot 0,798 = 197,106$$

для 5% -ного уровня значимости и числа степеней свободы $f = K-1$.

Для 1% -ного уровня значимости при числе степеней свободы $f = 13$

$$\chi_{табл}^2 = 27,7, \text{ то есть } \chi_{табл}^2 \leq \chi^2.$$

Таким образом, с вероятностью более 99 % можно утверждать, что существует определенная согласованность мнений специалистов относительно степени влияния исследуемых факторов, оцениваемая коэффициентом конкордации $W = 0,798$.

Получение значимого коэффициента конкордации дало возможность построить среднюю априорную диаграмму рангов для исследуемых факторов (рис.1), которая достоверно показывает неравномерность распределения значимости факторов, а также экспоненциальное убывание их значимости.

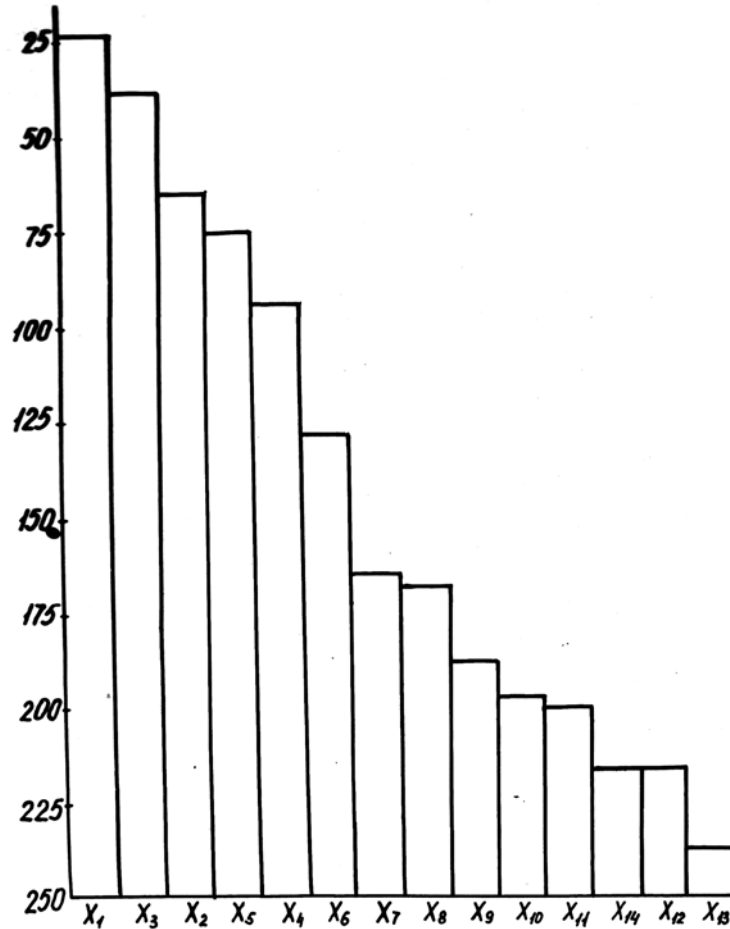


Рисунок 1- Средняя априорная диаграмма рангов

На основании диаграммы рангов выделили наиболее существенные факторы; X_1 - угол наклона кромки λ ; X_2 - скорость главного движения резания v ; X_3 - передний угол γ ; X_5 - скорость движения подачи v_s .

Фактор X_4 отсеяли, так как задний угол α при постоянном значении угла заострения β становится зависимым от переднего угла γ . По результатам предварительных опытов отсеяли фактор X_9 (температура резания близка к окружающей среде).

Остальные факторы, в данном эксперименте, приняли, с учетом априорной информации, по среднему значению в интервале изменения и сохраняли постоянными при проведении всех опытов.

Наименование факторов, их обозначение, размерность, уровни варьирования, а также новые кодовые обозначения, перегруппированные в соответствии с результатами априорного ранжирования, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты априорного ранжирования

Независимая переменная	Кодированное обозначение	Нулевой уровень	Уровень варьирования	
			Нижний (-)	Верхний (+)
Угол наклона кромки, λ , град	X ₁	75	65	85
Передний угол, γ , град	X ₂	68	61	75
Скорость главного движения резания, v , м/с	X ₃	2,6	1,0	4,2
Скорость движения подачи, v , мм/мин	X ₄	200	100	315

Исследование проводилось в соответствии с планом эксперимента, приведенным в таблице 4, где количество опытов N определяли по формуле

$$N = 2^K, \text{ при варьировании факторов на двух уровнях.}$$

Сочетание факторов, удовлетворяющее требованию к качеству обработанной поверхности образца, получено в четвертой и двенадцатой сериях опытов.

Таблица 4

Рабочая матрица планирования эксперимента

Номер серии опытов	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Параллельные опыты	
					Y ₁	Y ₂
1	-	-	+	-	5	5
2	+	-	+	-	2	2
3	-	+	+	-	4	4
4	+	+	+	-	1	1
5	-	-	-	-	6	6
6	+	-	-	-	5	5
7	-	+	-	-	6	6
8	+	+	-	-	2	2
9	-	-	+	+	5	5
10	+	-	+	+	3	3
11	-	+	+	+	4	4
12	+	+	+	+	1	1
13	-	-	-	+	6	6
14	+	-	-	+	5	5
15	-	+	-	+	6	6
16	+	+	-	+	2	2

Учитывая, что в двенадцатой серии опытов, параметры режима резания обеспечивают большую производительность, то это сочетание факторов является рациональным. При этом подача на зуб составила $S_z = 0,4$ мм.

Для установления рациональных зон угловых параметров инструментов для торцового скользящего фрезерования проведены опыты при значениях факторов, соответствующих нулевому уровню. При этом подача на зуб оставалась неизменной ($S_z = 0,4$ мм). На обработанной поверхности образца полностью отсутствовали вырывы и сколы по кромкам.

Таким образом, рациональные зоны угловых параметров торцовых фрез соответствуют следующим значениям:

- угол наклона кромки, $\lambda - 75^\circ \dots 85^\circ$;
- передний угол, $\gamma - 66^\circ \dots 75^\circ$;
- задний угол, $\alpha - 5^\circ \dots 12^\circ$.

Что касается рациональных зон параметров режима резания, то нижним пределом, при необходимости, можно считать следующие значения:

- скорость главного движения резания $v = 2,6$ м/с;
- скорость движения подачи $v_s = 200$ мм/мин.

Отработка верхнего предела рациональной зоны для скорости главного движения резания, при подаче на зуб ($S_z=0,4$ мм), осуществлялась в производственных условиях.

В результате отработки был установлен верхний предел рациональной зоны для скорости главного движения резания $v=20$ м/с. Дальнейшее увеличение скорости главного движения резания приводит к интенсивному повышению концентрации мелкодисперсной пожаровзрывоопасной пыли ППУ в зоне резания.

В этой связи, следует поставить вопрос об изучении влияния дальнейшего повышения скорости главного движения резания, на образование мелкодисперсной пыли при скользящем фрезеровании, с учетом требований по допустимой ее концентрации, исключающей пожаровзрывоопасность.

Выводы

В результате многократного экспериментального исследования определены параметры торцовых инструментов, обеспечивающие требования к качеству поверхностного слоя и наивысшую производительность.

К таким параметрам относятся:

угол наклона кромки $\lambda = 80^\circ$;

передний угол $\gamma = 75^\circ$;

задний угол $\alpha = 5^\circ$;

скорость главного движения резания $v = 20$ м/с;

подача на зуб $S_z = 0,4$ мм.

Дополнительные экспериментальные исследования позволили определить зоны рациональных значений исследуемых параметров, обеспечивающие выполнения основного критерия – отсутствия вырывов и сколов поверхностного слоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслов А.Т. Качество поверхностного слоя деталей машины. М.: Машиностроение, 2000.- 320 с.
2. Технологические основы обеспечения качества машины/ К.С. Колесников, Т.Ф. Баландин, А.Н. Дальский и др.: Под общ. ред. К.С. Колесникова. М.: Машиностроение, 1990.- 256 с.
3. Марунич В.А. Способ обработки материалов резанием.- Патент России № 2031790.27.03.1995.- Бюл. № 9.
4. Марунич В.О. Способ обробки матеріалів різанням.- Патент України № 19905. 15.01.2007.- Бюл. № 1.

Получено 22.08.2007 г.

УДК 502.36:533.6.011+62.192

А.В.Артамонова, В.А.Долодаренко, С.З.Полищук, В.Н.Полторацкая,
В.Ф.Фалько, А.В. Полищук, А.О. Куш

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИЗЕМНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ
АТМОСФЕРУ ВЕЩЕСТВ**

Введение. В работах [1-11] проведены теоретические исследования по прогнозу составляющей экологического риска для человека, возникающего в результате выбросов в атмосферу загрязняющих веществ точечным источником. Они позволяют оценить прогнозную составляющую экологического риска в проектах строительства предприятий, зданий и сооружений [12]. Величина риска характеризуется вероятностью того, что концентрация хотя бы одного загрязняющего вещества превысит предельно допустимое значение [4]:

$$\alpha = 1 - \int_{-\infty}^{C_{ПДК1}} \int_{-\infty}^{C_{ПДК2}} \dots \int_{-\infty}^{C_{ПДKn}} f(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n, \quad (1)$$

где $C_{ПДКj}$ - разовая предельно-допустимая концентрация j -го загрязняющего вещества; $f(x_1, \dots, x_n)$ - плотность распределения векторной случайной величины $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$, характеризующая антропогенное воздействие (концентрации загрязняющих веществ).

Базируясь на предельных теоремах теории вероятностей [13], считалось, что плотность распределения f подчиняется нормальному закону, который, как известно [13], характеризуется тремя величинами (числовыми характеристиками): \bar{C}_j - математическое ожидание концентрации j -го загрязняющего вещества, σ_j - среднеквадратическое отклонение концентрации j -го загрязняющего вещества, r_{jk} - коэффициент корреляции между j -ым и k -ым загрязняющими веществами.

Эти характеристики могут быть получены с использованием метода линеаризации [4].

Тогда подинтегральная функция в (1) примет вид [13]:

$$f(x_1, \dots, x_n) = \frac{\sqrt{|F|}}{(2\pi)^{\frac{n}{2}}} \exp \left[-\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{C}_i)(x_j - \bar{C}_j) \right], \quad (2)$$

где $|F|$ - определитель матрицы F , $F = \|F_{ij}\|$ - матрица обратная корреляционной матрице K , т.е. если корреляционная матрица

$$K = \|K_{ij}\|, \quad (3)$$

то

$$F_{ij} = (-1)^{i+j} \frac{M_{ij}}{|K|} \quad (4)$$

где $|K|$ - определитель корреляционной матрицы, а M_{ij} - минор этого определителя, получаемый из него вычерчиванием i -ой строки и j -го столбца. Заметим, что

$$|F| = \frac{1}{|K|} \quad (5)$$

Трудность здесь состоит в том, что интеграл (1) на современных числовых машинах можно вычислить с использованием стандартных программ только при размерности n (числе загрязняющих веществ) не большей 6-8. Поэтому в [14,15] было предложено при больших размерностях n использовать приближенную формулу, приемлемую для практического использования в расчетах надежности ракетных двигателей, что по точности можно сказать приемлемо и для рассматриваемой здесь вероятности:

$$\alpha = 1 - F_n(h_1, h_2, \dots, h_n) = 1 - \left\{ \prod_{i=1}^n F(h_i) + \frac{1}{\pi N} \cdot \sum_{i \neq j} \sum_j \arcsin r_{ij} \left[F(\min_{i < j} h_i) - \prod_{i=1}^n F(h_i) \right] \right\} \quad (6)$$

$$h_i = \frac{C_{ПДК_i} - \bar{C}_i}{\sigma_i}, \quad i = \overline{1, n},$$

где $N = n(n-1)$, $F_n(h_1, \dots, h_n)$ - n - мерная нормальная функция распределения (n - кратный интеграл); $F(h_i)$ - одномерная нормальная функция распределения (одномерный интеграл).

В выражении (6) функция F_n можно записать так [14]:

$$F_n(h_1, h_2, \dots, h_n) = \mu F(h_{\min}) + (1 - \mu) \prod_{i=1}^n F(h_i), \quad (7)$$

При этом коэффициент μ вычисляется по формуле

$$\mu = \frac{1}{\pi N} \sum_{i \neq j} \sum_i \arcsin r_{ij}, \quad (8)$$

Для вычислений по приведенным формулам необходимо только однократное интегрирование или использовать интегральную функцию распределения, представленную в виде ряда [16]:

$$F(h_i) = 1 - Z(h_i)(b_1 t + b_2 t^2 + \dots + b_5 t^5), \quad (9)$$

где

$$Z(h_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} h_i\right),$$

$$t = \frac{1}{1+p} h_i, \quad p = 0,2316419; \quad b_1 = -1,821253978; \quad (10)$$

$$b_2 = 0,356563782; \quad b_3 = 1,781477937; \quad b_4 = -1,821253978;$$

$$b_5 = 1,330274429.$$

Постановка задачи. Полученная таким образом величина составляющей экологического риска является априорной (прогнозированной).

Возникает также рассматриваемая здесь задача получения апостериорного значения указанной выше вероятности. Решение ее и является целью настоящей статьи.

Для крупного промышленного объекта она может быть решена с использованием подфакельных измерений концентраций [17].

Задача будет отличаться от рассмотренной выше тем, что числовые характеристики $\bar{C}_j, \sigma_j, r_{ik}$, могут быть получены на основании статистической обработки данных подфакельных измерений концентраций для рассматриваемого точечного источника.

Однако, здесь возникает особенность в том, что априорные концентрации определяются при неблагоприятных метеорологических условиях для значений мощности и скорости выброса газовой смеси, при которых достигается максимальное значение концентрации загрязняющих веществ $C_j \max$ [18]. При этом достигаемое в течение 20-30 мин максимальное

значение отношения $\frac{C_j \max}{C_j \text{ ПДК}}$ должно быть меньше единицы [19]. Это

соответствует самому строгому требованию Всемирной организации здоровья (ВОЗ) [19]. Другими словами, если бы это требование

выполнялось (а для крупных промышленных городов это далеко не так [20]), то человек бы жил в комфортабельных условиях, даже не чувствуя на уровне реакции высшей нервной системы влияния загрязнения атмосферного воздуха.

Но апостериорные концентрации получают при реально действующих условиях во время проведения подфакельных измерений, отличных от указанных выше экстремальных, и возникает вопрос о приведении измеренных концентраций к наихудшим условиям. Таким образом, задача будет заключаться в оценке составляющей экологического риска по (1) для человека от точечного источника выбросов с использованием данных статической обработки измеренных подфакельных концентраций, приведенных к наихудшим условиям.

Метод решения. Приведение измеренных концентраций целесообразно решить, используя опытно-теоретические зависимости концентраций для точечного источника выбросов [18,19]. Тогда из [18] получим следующую величину поправки к измеренным концентрациям для рассматриваемого здесь одиночного точечного источника с круглым устьем, учитывающую различие указанных выше условий:

$$\Delta C_o = C_{o_{\max}} - C_{j_{\text{изм}}}^{\text{расч}} = \frac{A_o M_{oj} F_{oj} m_o n_o \eta_o}{H_o^2 \sqrt[3]{\frac{KD_o^2}{4} (T_{го} - T_{во}) w_o}} r_{o(u)} \cdot S_{10}(x) \cdot S_{20}(x, y) -$$

$$- \frac{A_1 M_{1j} F_{1j} m_1 n_1 \eta_1}{H_1^2 \sqrt[3]{\frac{KD_1^2}{4} (T_{г1} - T_{в1}) w_1}} r_1(u) \cdot S_{11}(x) \cdot S_{21}(x, y). \quad (11)$$

Здесь нижним индексом «о» обозначены параметры, соответствующие наихудшим условиям, при которых достигаются концентрации загрязняющих веществ $C_{j_{\max}}, j = \overline{1, n}$, а нижним индексом «1» - условиям измерений; $A_{o(1)}$ - коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы; $M_{o(1)j}$ (г/с) - масса вредного (загрязняющего) вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени; $F_{o(1)j}$ - безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе; $m_{o(1)}, n_{o(1)}$ - коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси

из устья источника выброса и зависящие от $w_{o(1)}, D_{o(1)}, H_{o(1)}, T_{zo(1)}, T_{zj(1)}$; H (м) - высота источника выброса над уровнем земли (для наземных источников при расчетах принимается $H = 2$ м); $\eta_{o(1)}$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабопересеченной местности с перепадом высот, не превышающих 50 м на 1 км, $\eta = 1$; $T_{zo(1)}, T_{zo(1)}$ (°C) - температура выбрасываемой газовой смеси и температура окружающего атмосферного воздуха; $D_{o(1)}$ (м) - диаметр устья источника выброса; $w_{o(1)}$ (м/с) - средняя скорость выхода газовой смеси из устья источника выброса; $r(u)$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние величины скорости ветра u и зависящий от $w_{o(1)}, D_{o(1)}, H_{o(1)}, T_{zo(1)}, T_{zo(1)}$; $S_{11(o)}(x)$ - безразмерный коэффициент, зависящий от расстояния x вдоль оси факела от основания источника до точки подфакельных измерений и зависящий также от $w_{o(1)}, D_{o(1)}, H_{o(1)}, T_{zo(1)}, T_{zo(1)}$, а для низких источников имеет дополнительную особенность зависимости от высоты источника $H_{o(1)}$; $S_{20(1)}(x, y)$ - безразмерный коэффициент, учитывающий влияние боковой координаты y точки подфакельных измерений по перпендикуляру к оси факела и зависящий от координаты x и скорости ветра u .

При рассмотрении влияния изменения азимута φ вектора скорости учитывалось, что для точки, находящейся на расстоянии R от источника, угол φ вызывает изменение координат рассматриваемой точки

$$x = R \cdot \cos \varphi, \quad y = R \cdot \sin \varphi. \quad (12)$$

Все эти величины определяются в соответствии с ОНД-86 [18]. При этом должны учитываться особенности определения $C_{j \max}$ и $C_{j \text{изм}}^{\text{расч}}$ для холодных выбросов и в случае предельно малых опасных скоростей ветра [18].

При одновременном совместном присутствии в атмосферном воздухе нескольких (m_1) веществ, обладающих суммаций вредного действия, для каждой группы указанных веществ однонаправленного действия рассчитывается приведенная концентрация по формуле [18]

$$C = C_1 + C_2 \frac{C_{\text{ПДК}1}}{C_{\text{ПДК}2}} + \dots + C_m \frac{C_{\text{ПДК}1}}{C_{\text{ПДК}m_1}},$$

где C_1 - концентрация вещества, к которому осуществляется приведение; $C_{\text{ПДК}1}$ - его разовая предельно допустимая концентрация; C_2, \dots, C_m и $C_{\text{ПДК}1}, \dots, C_{\text{ПДК}m_1}$ - концентрации и разовые предельно допустимые концентрации других веществ, входящих в рассматриваемую группу суммации.

Если считать, что величины $A_1, M_j, F_j, \eta, H, D$ не зависят от условий приведения, что в соответствии с [18] вполне допустимо, то формула (11) принимает вид:

$$\Delta C_j = \frac{AM_j F_j \eta}{H^2 \sqrt[3]{\frac{\pi D^2}{4}} w} \left(\frac{m_o, n_o}{\sqrt[3]{(T_{zo} - T_{eo})}} \cdot r_o S_{10} S_{20} - \frac{m_1, n_1}{\sqrt[3]{(T_{z1} - T_{e1})}} \cdot r_1 S_{11} S_{21} \right) \quad (13)$$

Тогда для каждого измерения можно получить приведенное значение измеренной концентрации:

$$C_j^{\text{прив}} = C_{j\text{из}} + \Delta C_{jk}, \quad (14)$$

где $C_{j\text{из}}$ - данные по подфакельным замерам концентраций загрязняющих веществ, $\kappa = \overline{1, m}$ - число подфакельных измерений концентраций.

В результате получим значения приведенных к одним наихудшим условиям концентраций $C_{jk}; j = \overline{1, n}; \kappa = \overline{1, m}$ (n - число загрязняющих веществ, m - число подфакельных измерений концентраций).

Теперь по каждому загрязняющему веществу можно получить числовые характеристики плотности распределения концентраций [13]:

- математические ожидания:

$$\overline{C}_j = \frac{\sum_{\kappa=1}^m C_{jk}^{\text{прив}}}{m}; \quad (15)$$

- среднеквадратические отклонения:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (C_{jk}^{npue} - \bar{C}_j)^2}{m-1}} ; \quad (16)$$

- коэффициенты корреляции между j -ым и p -ым загрязняющими веществами

$$r_{jp} = \frac{\sum_{k=1}^m (C_{jk}^{npue} - \bar{C}_j)(C_{pk}^{npue} - \bar{C}_p)}{(m-1)\sigma_j\sigma_p} . \quad (17)$$

Подставив полученные числовые характеристики (15)-(17) в (1) или в (6), искомую вероятность определим по формуле

$$\alpha = 1 - F_n(h_1, h_2, \dots, h_n) . \quad (18)$$

При большом числе измерений $m \geq 100$ наряду с (1) или (6), может быть получена статистическая оценка риска (частота появления неблагоприятной исхода) $\alpha_{cm} = \frac{m_1}{m}$, где m_1 - число превышения хотя бы одной концентрации своей ПДК.

Задача решена.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Таким образом, используя подход по априорной оценке риска, а также методику приведения концентраций к наихудшим условиям, получены необходимые зависимости по оценке составляющей экологического риска для человека по данным подфакельных измерений приземных концентраций загрязняющих веществ и логика их взаимосвязанного решения. Это позволяет перейти к составлению алгоритма, программы решения задачи и апробированию их на гипотетическом примере, что и должно быть предметом дальнейших исследований.

Полученные таким образом результаты могут быть использованы в подсистеме мониторинга по оценке экологического риска от деятельности промышленных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонова О.А., Долодаренко В.А., Каспийцева В.Ю. До питання складової екологічного ризику, зумовленої забрудненням повітря // Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної

- безпеки. Матеріали междунар. науч.-практ. конф. - Днепропетровск, 24-27 октября 2001 г.- С.273-275.
2. Розробка стохастичної методології для оцінки антропогенного впливу на атмосферне повітря / Артамонова О.О., Долодаренко В.О., Каспійцева В.Ю., Поліщук С.З. // От переходной экономики к устойчивому развитию. Матеріали междунар. науч.-практ. конф. 19-20 апреля 2000 г.- Днепропетровск, 2001. – С. 165-166.
 3. Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Стеблянюк П.А. Априорная оценка числовых характеристик закона распределения случайного разброса в атмосфере приземных концентраций загрязняющих веществ // Математичні проблеми технічної механіки. Друга Всеукр. наук.-практ. конф. – Дніпродзержинськ, 2002. – С 32-33.
 4. Применение методов системного анализа, аэродинамики приземного слоя и теории надежности для оценки экологического риска / Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Фалько В.В. и др. // Екологія і природокористування.- 2003. - № 6. – с. 194-199.
 5. Применение системной методологии для оценки величины экологического риска / Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Каспійцева В.Ю., Полищук С.З. // Системні технології. – Днепропетровск, № 4 (27), 2003. – С. 94-98.
 6. Разработка стохастической математической модели загрязнений атмосферного воздуха с использованием метода статистических испытаний и ее применение для оценки экологического риска. / Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Фалько В.В. и др. / Екологія і природокористування. – 2003. - №5. – с.231-236.
 7. Фалько В.В., Артамонова А.В. Уточнение при оценке экологического риска влияния малых случайных отклонений направления ветра на распределение концентраций загрязняющих атмосферный воздух веществ // Вісник Сумського держ.ун-ту. Серія „Технічні науки”. – 2004, №13 (72). – С. 92-99.
 8. Уточнение математической модели для оценки экологического риска от загрязнения атмосферы выбросами одиночного точечного источника. / Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Фалько В.В. и др. // Екологія і природокористування. – 2004. - №.7 – С.175-180.
 9. Artamonova A.V., Dolodarenko V.A., Kaspijcteva V.Yu. To question of the account of the factor of accident at establishment is limiting-admitted concentration of substances, polluting an atmosphere // Збірник тез III міжнародної медичної конференції студентів та молодих учених „Медицина – здоров’я XXI сторіччя”, Дніпропетровськ, 26-28 вересня 2002р. – С. 317.
 10. Фалько В.В. Алгоритм компьютерной технологи определения составляющей экологического риска для человека от точечного источника выбросов // Вісник Сумського держ.ун-ту, серія Технічні науки, № 9 (81). –2005. – С. 66-75.
 11. Фалько В.В., Долодаренко В.А. Задача оценки для человека составляющей экологического риска от точечного источника выбросов // Вісник Сумського держ.ун-ту, серія Технічні науки, № 5. – Сумы, 2006, - С. 60-69.
 12. ДБН А.2.2.-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві

- підприємств, будинків і споруд. – К.: Держкомбударх, Мінекобезпеки України. 2003. – 19 с.
13. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебник для вузов, 6-е изд. – М.: Высш.школа, 1998. – 576 с.
 14. Надежность технических систем. Монография / Переверзев Е., Алпатов А., Даниев Ю., Новак П. – Днепропетровск, Пороги, 2002. – 396 с.
 15. Волков Е.Б., Судаков Р.С., Сырицын Т.А. Основы теории надежности ракетных двигателей. – М.: Машиностроение, 1974. – 393 с.
 16. Дьяконов В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке БЕЙСИК для персональных ЭВМ: Справочник. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
 17. Руководство по контролю загрязнения атмосферы / Отв.ред. проф. М.Е.Берлянд и акад. АМН СССР Г.И.Сидоренко. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 448 с.
 18. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.
 19. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 272 с.
 20. Экологические основы природопользования / Н.П.Грицан, Н.В.Шпак, Г.Г.Шматков и др. Под ред. Н.П.Грицан. – Днепропетровск: ИППЭ НАН Украины, 1998. – 419 с.

Получено 11.09.2007 г.

УДК 629.11.012.552.6.001.4

В.В. Кармазина, М.П. Бурхович

ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА ДЛЯ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН ЗЕМЛЕРОЙНО-ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

1. Введение

В настоящее время определение основных выходных характеристик пневмоколесного движителя невозможно без применения методов математического моделирования напряженно-деформированного состояния пневматической шины с учетом влияния на неё эксплуатационных нагрузок и опорной поверхности качения. Для колесных землеройно-транспортных машин сложность определения выходных характеристик пневматических шин усугубляется тяжелыми эксплуатационными условиями: наличием неровностей на опорной поверхности качения [1]. Решение контактной задачи для пневматической шины, взаимодействующей с одиночной неровностью приводит к существенному усложнению математических моделей.

В реальных условиях эксплуатации машин для земляных и дорожных работ применение столь сложных математических моделей затруднено и нецелесообразно. Достаточно определить некоторые выходные характеристики шины (прогиб, площадь пятна контакта) в зависимости от основных эксплуатационных параметров, которые можно определить в условиях предприятия (вертикальная нагрузка на колесо, внутреннее давление, высота неровности и т.п.).

На основании вышеизложенного можно утверждать о необходимости создания инженерной методики для определения основных выходных характеристик пневматических шин землеройно-транспортных машин на основе методов математического моделирования контактного взаимодействия пневмоколесного движителя и опорной поверхности качения.

2. Математическая модель контактного взаимодействия пневматической шины и опорной поверхности

Для решения задачи контактного взаимодействия пневмоколесного движителя и опорной поверхности качения применена модель пневматической шины в виде трехслойной тороидальной анизотропной оболочки, учитывающей линейные перемещения по толщине каждого слоя каркаса [2].

Напряженно-деформированное состояние шины определялось с помощью функционала полной энергии шины:

$$\mathcal{E} = U - W, \quad (1)$$

где U – потенциальная энергия деформации оболочки;

W – потенциал внешних сил, действующих на оболочку.

Для слоистой оболочки с учетом принятых гипотез и уравнений теории оболочек [3] выражение полной энергии запишется так:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int \int_{F_k} \left[\sum_{k=1}^m \int_{h^k} (\sigma_{11}^k \varepsilon_{11}^k + \sigma_{22}^k \varepsilon_{22}^k + \sigma_{33}^k \varepsilon_{33}^k + \sigma_{12}^k \varepsilon_{12}^k + \sigma_{13}^k \varepsilon_{13}^k + \sigma_{23}^k \varepsilon_{23}^k) dx_3 - \right. \\ \left. - 2q_1(u_1 + h_2 \lambda_1) - 2q_2(u_2 + h_1 \lambda_2) - 2(q_3 - q_0)u_3 \right] \times \\ \times A_1 A_2 dx_1 dx_2 + \frac{1}{2} \int \int_{F_c} h_n (\sigma_n \varepsilon_n + \tau_{1n} \gamma_{1n} + \tau_{2n} \gamma_{2n}) A_1 A_2 \cos \alpha dx_1 dx_2, \quad (2)$$

где F_k – поверхность оболочки;

F_c – поверхность оболочки, контактирующей с основанием;

k – номер слоя оболочки ($m = 3$).

В соответствии с принятыми гипотезами и физическими соотношениями выразим функционал полной энергии через деформации и кривизны слоев оболочки пневматической шины:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \int [B_{11} e_{11}^2 + B_{66} e_{12}^2 + B_{22} e_{22}^2 + 2B_{12} e_{11} e_{22} + B_{16} (e_{11} \chi_{12} + e_{12} \chi_{11}) + \\ + B_{26} (e_{22} \chi_{12} + e_{12} \chi_{22}) + D_{11} \chi_{11}^2 + D_{66} \chi_{12}^2 + D_{22} \chi_{22}^2 + 2D_{12} \chi_{11} \chi_{22} + \\ + C_1 (\varphi_1 - \lambda_1)^2 + C_2 (\varphi_2 - \lambda_2)^2] dF_k - \int_{F_q} (q_1 u_1 + q_2 u_2 + q_3 u_3) dF_c, \quad (3)$$

Функции перемещений определялись путем минимизации функционала при помощи численного метода локальных вариаций.

3. Инженерная методика для определения выходных характеристик пневматической шины модели 15,5R38

В процессе эксплуатации пневматических шин машин для земляных и дорожных работ одними из определяющих параметров

работоспособности шины являются максимальный прогиб, h , и площадь пятна контакта, S , шины с опорной поверхностью. При обжатии шины на твердой опорной поверхности величины прогиба и площади пятна контакта зависят от вертикальной нагрузки на шину, Q_3 , внутреннего давления в шине, q , высоты локальной неровности на опорной поверхности, W_k , а также конструкции оболочки шины, в частности, количества слоев брекера, n . Алгебраические выражения для определения прогиба и площади пятна контакта, соответственно, имеют вид:

$$h = f_1(W_k; Q_3; q; n); \quad (4)$$

$$S = f_2(W_k; Q_3; q; n). \quad (5)$$

На примере пневматической шины модели 15,5R38 с помощью математической модели [2, 3] определены расчетные величины максимального прогиба, а также площади пятна контакта при изменении вертикальной нагрузки ($Q_3 = 1000\text{кг}; 2000\text{кг}; 3000\text{кг}$); высоты неровности ($W_k = 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12$ см); внутреннего давления в шине ($q = 0,18; 0,20; 0,24\text{МПа}$) и количества слоев брекера ($n = 4$ и 6 слоев).

На рисунках 1, 2 представлены графические зависимости максимального прогиба и площади пятна контакта оболочки шины 15,5R38 от высоты одиночной неровности при различных величинах вертикальной нагрузки, внутреннего давления $0,2$ МПа а также при четырех и шести слоях брекера.

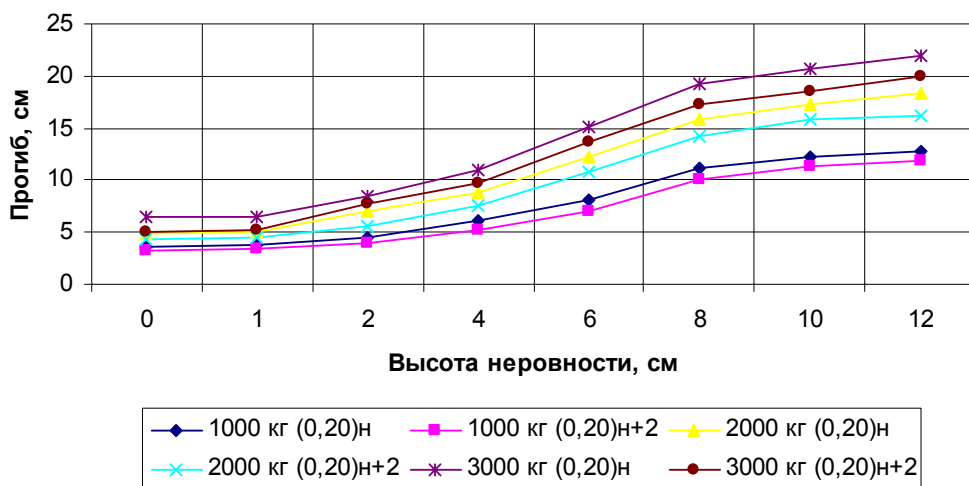


Рисунок 1 – Зависимость прогиба оболочки шины 15,5R38 от высоты неровности при заданных вертикальных нагрузках и внутреннем давлении $0,20\text{МПа}$

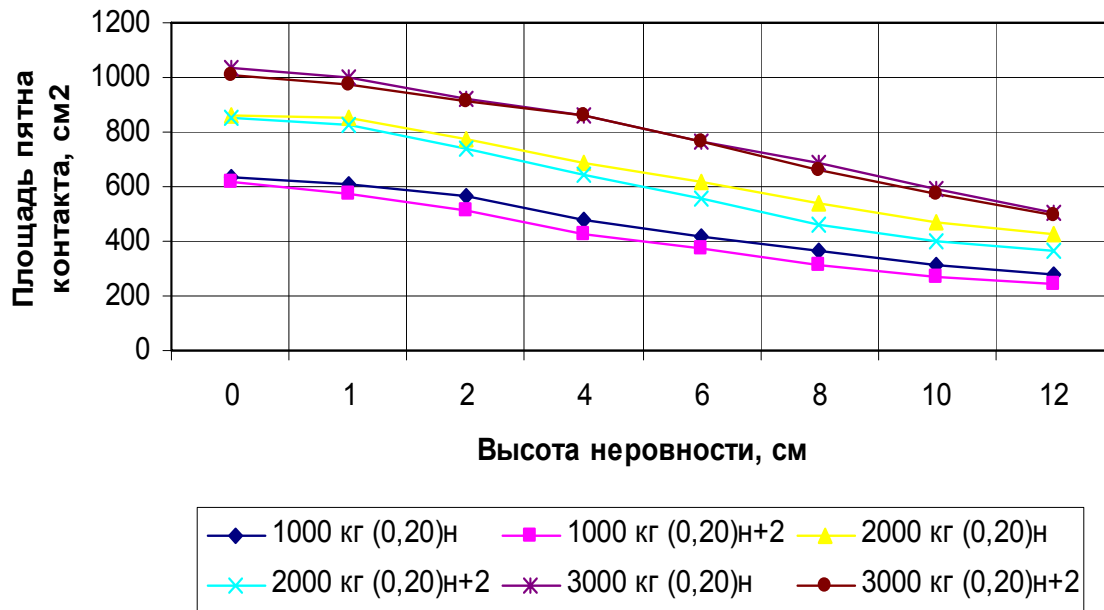


Рисунок 2.9 – Зависимость площади пятна контакта оболочки шины 15,5R38 от высоты неровности при заданных вертикальных нагрузках и внутреннем давлении 0,20 МПа

Из графических зависимостей (рис. 1, 2) следует, что существенное влияние на нелинейный характер изменения величины максимального прогиба оболочки пневматической шины 15,5R38 оказывает влияние высота ступенчатой неровности. Аналогично изменяются и величины площади пятна контакта шины при взаимодействии с опорной поверхностью.

Приведенный анализ позволяет утверждать, что зависимости величин максимального прогиба и площади пятна контакта оболочки пневматической шины от высоты неровности, вертикальной нагрузки, внутреннего давления и количества слоев брекера имеют следующий вид:

$$h = a_1 \cdot W_k^2 + a_2 \cdot W_k + a_3 \cdot Q_3 + a_4 \cdot q + a_5 \cdot n + a_6, \quad (6)$$

$$S = b_1 \cdot W_k^2 + b_2 \cdot W_k + b_3 \cdot Q_3 + b_4 \cdot q + b_5 \cdot n + b_6, \quad (7)$$

где h – максимальный прогиб оболочки, см;

S – площадь пятна контакта, см²;

W_k – высота ступенчатой одиночной неровности, см;

Q_3 – вертикальная нагрузка на шину, кг;

q – внутреннее давление в шине, МПа;

n – количество слоев брекера, шт.

Коэффициенты $a_1; a_2; a_3; a_4; a_5; a_6$, а также $b_1; b_2; b_3; b_4; b_5; b_6$ определяются с помощью метода наименьших квадратов [4]. В данном случае использованы возможности электронных таблиц MS Excel [5], которые содержат встроенные функции, реализующие метод наименьших квадратов. Данные электронные таблицы построены на основании расчетного массива данных.

Таким образом, математические зависимости величин максимального прогиба и площади пятна контакта оболочки шины 15,5R38 будут иметь следующий вид:

$$h = 3,6848 - 0,0212W_k^2 + 1,3964W_k + 0,0027Q_3 - 11,724q - 0,5958n; \quad (8)$$

$$S = 742,318 + 1,0052W_k^2 - 50,3884W_k + 0,1753Q_3 - 801,23q - 17,317n. \quad (9)$$

При этом коэффициент множественной детерминации, R^2 , который определен дополнительно при помощи составленных электронных таблиц, имеет следующие величины:

- для выражения, определяющего величину прогиба, $R^2 = 0,95$;
- для выражения, определяющего площадь пятна контакта, $R^2 = 0,98$.

При заданном уровне ошибки, который составляет 0,05 совокупность рассматриваемых факторов (высота неровности W_k ; вертикальная нагрузка Q_3 ; внутреннее давление q ; количество слоев брекера n) описывает характер изменения максимального прогиба и площади пятна контакта шины 15,5R38 с достаточно высокой степенью аппроксимации.

4. Выводы

Полученные алгебраические зависимости (8), (9) имеют удобный вид и обеспечивают простоту расчетов при решении практических задач по определению выходных характеристик пневматических шин модели 15,5R38 в условиях реальной эксплуатации машин для земляных и дорожных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурхович М.П. Повышение эффективности крупногабаритной шины модели 15,5R38, применяемой на машинах для земляных и дорожных работ.// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2006. – Випуск 2 (37). – с.67-69.
2. Кваша. Э.Н., Рудасёв В.Б., Бурхович М.П. Математическое моделирование контактного взаимодействия пневматической шины с

дорожным основанием // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету.–Випуск 3(14).–Кривий Ріг,2002.–с. 22-26.

3. Кваша Э.Н. Контактные задачи слоистых анизотропных оболочек пневматических шин. - Днепропетровск: ЭНЭМ, 2006. - 268 с.
4. Толбатов Ю.А. Математична статистика та задачі оптимізації в алгоритмах і програмах: Навч. посібник. - К.: Вища шк., 1994. - 399с.
5. Орвис В. Excel для ученых, инженеров и студентов. -К.: ЮНИОР, 1999. - 528с.

Получено 11.09.2007 г.

УДК 629.11.012.552.6.001.4

В.В. Кармазина, А.А. Сасов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В ХАРАКТЕРНЫХ ЗОНАХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШИН СВЕРХНИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Введение. Анализ конструктивных и эксплуатационных параметров, влияющих на ресурс пневматических шин показал что, одной из основных причин его уменьшения является повышенная температура разогрева каркаса, подканавки и протектора. При нормативных режимах эксплуатации температура в шине не должна превышать 130°C [1]. Повышенная температура приводит к термодеструкции материала, из которого изготовлена шина. По статистике большинство шин выходит из строя в результате термического разрушения в зоне стыка протектора с подканавочным слоем и каркасом. Если не принять конструктивных или технологических мер, то ресурс шины может быть исчерпан задолго до достижения заданной величины. Для этого необходимо при конструировании шин определение эффективных режимов эксплуатации, позволяющих получить максимальный их ресурс при заданной допускаемой температуре.

Основной материал исследований. Для определения температур исследовалась шина сверхнизкого давления модели 67Ч43.00LR25. Проведена оценка ее теплового состояния, которая позволила в качестве основных факторов, в наибольшей степени влияющих на тепловое состояние крупногабаритных шин, выбрать: внутреннее давление P ; радиальную нагрузку Q , скорость движения V ; время движения t [2].

Для определения математической зависимости температур от времени движения t , радиальной нагрузки Q , скорости движения V , внутреннего давления P в характерных зонах (центральная зона, подканавочная и плечевая зона) шин сверхнизкого давления на грунт использованы полученные нами ранее данные [таблица 4.3., 2].

Статистический анализ [3, 4] парных зависимостей температуры от времени движения при фиксированной нагрузке на шину равной 27000 Н показал, что коэффициент парной корреляции изменяется в

диапазоне $r_{xy} = 0,7368-0,7550$, и зависимость температуры от времени движения может быть описана логарифмической или линейной зависимостью:

$$y_{c1} = 7,9 \ln t + 7,9; y_{c2} = 8,02 \ln t + 10,87; y_{c3} = 8,36 \ln t + 12,49, \quad (1)$$

где y_{c1} - температура в центральной зоне шины;

y_{c2} - температура в подканавочной зоне шины;

y_{c3} - температура в плечевой зоне шины.

Или

$$y_{c1} = 0,36t + 21,44; y_{c2} = 0,36t + 24,61; y_{c3} = 0,38t + 26,88. \quad (2)$$

Для исследуемого интервала времени зависимость изменения температуры носит линейный характер. Однако в процессе эксплуатации пневматических шин температура после определенного времени движения подвижного состава стабилизируется. Поэтому в соответствии с реальными условиями эксплуатации данная зависимость является нелинейной.

При фиксированной нагрузке 32000 Н коэффициент парной корреляции $r_{xy} = 0,7077-0,7053$, а зависимость температуры от времени движения будет иметь вид:

$$y_{c1} = 8,03 \ln t + 6,68; y_{c2} = 7,07 \ln t + 16,22; y_{c3} = 7,85 \ln t + 15,44. \quad (3)$$

При фиксированной нагрузке равной 38000 Н коэффициент парной корреляции $r_{xy} = 0,8062-0,7102$, а зависимость температуры от времени движения будет иметь вид:

$$y_{c1} = 5,67 \ln t + 11,56; y_{c2} = 4,29 \ln t + 23,98; y_{c3} = 4,82 \ln t + 23,61. \quad (4)$$

Полученные результаты анализа зависимостей температуры от времени движения при различных фиксированных нагрузках и в разных конструктивных зонах шины свидетельствуют о том, что стабильно наблюдается увеличение температуры шины при увеличении времени движения. Учитывая величину коэффициента корреляции и проверки его на значимость при уровне ошибки 0,05 можно утверждать, что проведенные экспериментальные исследования подтверждают теоретические предпосылки.

Аналогичные исследования зависимости температуры шины от внутреннего давления при различных фиксированных нагрузках свидетельствуют об уменьшении температуры, что подтверждается результатами известными в литературе [1, 5, 6].

Исследования при фиксированном внутреннем давлении 0,35 МПа и при внутреннем давлении 0,6 МПа зависимостей температуры от времени движения шины во всех трех точках носит аналогичный

характер. При этом изменения можно описывать как логарифмической зависимостью, так и линейной.

При $P = 0,35$ МПа:

$$y_{c1} = 10,17 \ln t + 5,25; y_{c2} = 10,06 \ln t + 7,58; y_{c3} = 9,73 \ln t + 10,4. \quad (5)$$

При $P = 0,6$ МПа:

$$y_{c1} = 12,86 \ln t - 1,71; y_{c2} = 12,84 \ln t + 1,76; y_{c3} = 13,76 \ln t + 1,34. \quad (6)$$

Полученные результаты согласуются с положениями, изложенными в литературе [1, 5] и не противоречат физическим законам процесса эксплуатации шин.

Выше приведенный анализ позволяет предположить, что зависимость температуры шины от времени движения, внутреннего давления, скорости движения и радиальной нагрузки линейна:

$$\hat{y}_{c_i} = a_{1i} \cdot t + a_{2i} Q + a_{3i} V + a_{4i} P, \quad (7)$$

где $i=1,2,3$ – номер точки измерения температуры.

Коэффициенты зависимости определяем из условия

$$\sum_{j=1}^n (y_{j c_i} - \hat{y}_{j c_i})^2 \rightarrow \min, \quad (8)$$

или

$$\sum (y_{j c_i} - (a_{1i} \cdot t_j + a_{2i} \cdot Q_j + a_{3i} \cdot V_j + a_{4i} \cdot P_j))^2 \rightarrow \min. \quad (9)$$

Коэффициенты a_1, a_2, a_3, a_4 этих зависимостей для каждой из характерных точек шины определяем с помощью метода наименьших квадратов [3, 7]. Для реализации этого метода использованы электронные таблицы программы MS Excel, в частности - функция ЛИНЕЙН. С помощью этой функции определен ряд дополнительных статистических характеристик:

- коэффициента детерминации (R^2);
- расчетное значение критерия Фишера (F – критерий);
- среднее квадратическое отклонения коэффициентов зависимости;
- остаточная сумма квадратов отклонений полученной зависимости от экспериментальных данных.

В каждой из исследуемых точек получены зависимости:

$$y_{c1} = -14,75P + 0,64V + 0,0057Q + 0,35t \quad (R^2=0,98); \quad (10)$$

$$y_{c2} = -11,41P + 0,57V + 0,0074Q + 0,32t \quad (R^2=0,98); \quad (11)$$

$$y_{c3} = -7,85P + 0,66V + 0,0061Q + 0,34t \quad (R^2=0,98). \quad (12)$$

Полученные зависимости проверены на адекватность по критерию Фишера. Для этого получены расчетные значения критерия:

$$F_{c_i} = \frac{(n - m - 1) \sum_{i=1}^n (\hat{y}_{c_i} - \bar{y}_{c_i})^2}{m \sum_{i=1}^n (y_{c_i} - \hat{y}_{c_i})^2}, \quad (13)$$

где $n=135$; $m=4$; $i=1,2,3$.

Тогда $F_{c1}=1453$; $F_{c2}=2157$; $F_{c3}=1798$.

Критическое значение критерия F определено по таблицам распределения Фишера или используя встроенную функцию MS Excel ФРАСПОБР:

$$F_{\text{крит}} = F(\alpha; k_1; k_2) = F(0,07; 4; 130) = 2,22, \quad (14)$$

где α - уровень ошибки;

$$k_1 = m = 4;$$

$$k_2 = n - m - 1 = 130.$$

Так как расчетные значения в каждой из точек больше критического значения, то можно утверждать, что полученные зависимости адекватны экспериментальным данным. Следовательно, полученные зависимости температуры от времени движения, внутреннего давления, скорости движения и радиальной нагрузки можно использовать для анализа процесса нагрева шины и для прогнозирования их ресурса.

Для оценки степени влияния параметров P , V , Q , t на температуру шины рассмотрим построение зависимостей для нормируемых данных типа:

$$t_i^* = \frac{t_i}{t_{\max}}; \quad Q_i^* = \frac{Q_i}{Q_{\max}}; \quad V_i^* = \frac{V_i}{V_{\max}}; \quad P_i^* = \frac{P_i}{P_{\max}}, \quad (15)$$

где $t_{\max}=60$; $Q_{\max}=3800$; $V_{\max}=32$; $P_{\max}=1,1$.

По нормированным данным зависимость температуры в трех характерных зонах имеет вид:

$$y_{c1} = -16,23P^* + 20,25V^* + 21,46Q^* + 21,18t^* \quad (R^2=0,98); \quad (16)$$

$$y_{c2} = -12,56P^* + 18,29V^* + 28,05Q^* + 18,92t^* \quad (R^2=0,98); \quad (17)$$

$$y_{c3} = -8,63P^* + 21,14V^* + 23,17Q^* + 20,58t^* \quad (R^2=0,98). \quad (18)$$

Величина коэффициентов при t_i^* , Q_i^* , V_i^* , P_i^* свидетельствуют о том, что влияние этих параметров на температуру почти равнозначное. Это говорит о значимости влияния перечисленных параметров на температуру нагрева шины. Проверка значимости по t

– критерию Стьюдента подтверждает, что все эти параметры значимы.

При увеличении скорости, нагрузки и времени движения температура шины во всех трех точках (C_1 , C_2 , C_3) увеличивается. При увеличении внутреннего давления в шине температура шины уменьшается. Причем наибольшее уменьшение наблюдается в точке C_1 . В точке C_3 уменьшение температуры меньше по сравнению с точками C_1 и C_2 . Из этого следует, что точка C_3 , которая соответствует плечевой зоне, находится в большем термонапряженном состоянии по сравнению с зоной подканавки и центральной зоной шины.

При сравнении характера зависимости температуры в трех характерных точках шины в зависимости от скорости движения наименьшая ее величина наблюдается в точке C_2 (подканавочная зона шины).

Аналогичные сравнения по нагрузке в трех точках показывают, что наибольшее увеличение температуры в шине наблюдается в точке C_2 . Сравнение температур в трех точках шины от времени движения свидетельствует, что увеличение времени движения в наименьшей мере оказывает влияние в точке C_2 .

Точечный прогноз температуры нагрева шины можно выполнить, подставляя значения времени движения t , внутреннего давления P , скорости движения V и радиальной нагрузки Q в уравнения (1), (2) или (3) в зависимости от исследуемой зоны шины. Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Прогнозируемая температура шины 67Ч43.00LR25 в центральной зоне (точка 1)

Исходные данные для прогноза				Прогнозируемая температура, доверительный интервал и истинная температура			
t , мин	Q , т	V , км\ч	P , МПа	$Y_{с1}$, °С	$Y_{с1}$ ниж, °С	$Y_{с1}$ верхн, °С	$Y_{истин}$, °С
5	2700	32	0,6	28	20	37	25
20	2700	32	0,6	33	25	42	34
60	2700	24	0,35	48	38	55	46
10	3200	24	1,1	21	12	29	24
20	3800	16	0,9	25	17	34	26

Выводы. Выполнен статистический анализ для определения математической зависимости температур от времени движения,

радиальной нагрузки, скорости движения, внутреннего давления в характерных зонах пневматических шин сверхнизкого давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скорняков Э.С. Крупногабаритные шины автомобилей и тракторов: Монография. – Днепропетровск: Пороги, 2000. – 263с.
2. Сасов А.А. Прогнозирование выходных характеристик шин сверхнизкого давления для автомобилей и тракторов. Дис... канд.техн. наук.- Киев, 2007.- 210 с.
3. Джонсон Дж. Эконометрические методы.-М.: Статистика, 1980.- 437с.
4. Клас А., Герли К., Колек Ю., Шуян И. Введение в эконометрическое моделирование. - М.: Статистика, 1978.- 123с.
5. Суворова Ю.В., Кваша Э.Н., Чупилко Т.А. Расчет напряженно-деформированного состояния крупногабаритных шин с учетом вязких эффектов и температуры // Механика композитных материалов. - 1991. - Т. 4. - с. 677 - 682.
6. Шершнев А.А. и др. Температура шины при качении автомобильного колеса.- Красноярск, 1972.- С.55-61.
7. Толбатов Ю.А. Математична статистика та задачі оптимізації в алгоритмах і програмах: Навч. посібник. - К.: Вища шк., 1994. - 399с.

Получено 14.09.2007 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Старушенко Г.А., Рогоза Б.Е. Обзор и анализ применения трехфазной модели в механике композитов. Часть I.....	3
Шматко Д.З., Кочнева Е.В. Лабораторные исследования нагружения несущей системы порталной машины на пневмоколесном ходу.....	11
Первухина Е.Л., Степанченко Т.Л., Голикова В.В. Организация процедуры принятия решений по результатам стендовых испытаний машиностроительных изделий	19
Шалимова Е.М. Системная модель сетей микроконтроллеров.....	26
Калиниченко В.А. Математическое моделирование распределения напряжений в горном массиве при формировании «пионер-камеры» лежащего бока	33
Ткач М.М. Визначення видів взаємозв'язків між елементами технологічних структур гвс	39
Сергеева Ю.Н., Черниченко В.Е., Горбунов А.Д. Влияние структуры эмульсии на теплоту сгорания	47
Козлов В.М., Хлынец В.П., Клена С.Я. Электроосаждение композиционных покрытий меди с частицами фуллерита.....	52
Петренко А.Н., Кучеренко А.Е. Метод автоматической локализации и классификации дефектов.....	59
Яковенко В.О. Моделювання теплових процесів при спалюванні вуглю під дією енергії надвисоких частот	65
Ясев А.Г., Меженная К.Г. Методологические аспекты надежности методов механической обработки	72
Юдина С.А., Юдин С.В., Крюковская О.А. Анализ технологии обработки непрерывнолитого металла в конвертерном цехе ОАО ДМКД.....	79
Завацкий В.Л. Теоретические аспекты проектирования гибких рабочих элементов скребовых конвейеров	87
Зеленцов Д.Г., Мельникова М.В. Алгоритмы решения систем дифференциальных уравнений в задачах оптимизации корродирующих пластин	95
Марунич В.А. Экспериментальное установление эффективных условий фрезерования теплоизоляционных пенополиуритановых материалов	104
Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Полищук С.З., Полторацкая В.Н., Фалько В.Ф., Полищук А.В., Куц А.О. Разработка математической модели оценки экологического риска по данным измерений приземных концентраций загрязняющих атмосферных веществ.....	112

Кармазина В.В., Бурхович М.П. Инженерная методика для расчета основных выходных характеристик пневматических шин землеройно-транспортных машин 121

Кармазина В.В., Сасов А.А. Математическая модель для определения температур в характерных зонах пневматических шин сверхнизкого давления 127

РЕФЕРАТЫ

УДК 539.3

Старушенко Г. А., Рогоза Б. Є. **Огляд та аналіз застосування трифазної моделі в механіці композитів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.3-10.

В роботі приведений огляд розв'язків задач для композитів з циліндровими й сферичними включеннями з використанням трифазної моделі; представлені основні принципи побудови трифазної моделі та одержані на її основі результати.

Трифазна модель застосована для визначення ефективного коефіцієнта теплопровідності двофазного мікронеоднорідного композитного матеріалу, що складається з безперервної матриці та періодично розташованих в ній циліндрових включень. Розв'язок задачі одержано на основі теорії осереднення з подальшим використанням ряду асимптотичних спрощень, зокрема, методу варіації форми межі. Одержані асимптотичні співвідношення й проведений аналіз розв'язку, що підтверджують достатню точність результатів у всьому діапазоні зміни геометричного розміру включень та їх фізичної характеристики, включаючи граничні випадки.

УДК 669.013.002.5

Шматко Д.З., Кочнева О.В. **Лабораторні дослідження навантаження несучої системи порталної машини на пневмоколісному ході** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.11-18.

У статті наведена методика проведення лабораторних досліджень навантаження поздовжніх і поперечних елементів рами несучої системи прототипу підйомно-транспортної порталної машини на пневмоколісному ході.

Бібл.3., іл.5.

УДК 621.002:681.324

Первухіна О.Л., Степанченко Т.Л., Голікова В.В. **Організація процедури прийняття рішень за результатами стендових випробувань машинобудівних виробів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.19-25.

Метою роботи є організація процедури прийняття рішень за результатами моніторингу технічного стану машинобудівних виробів у ході їхніх стендових випробувань. Базою пропонованого підходу є багатомірні моделі, побудовані за результатами вимірів діагностичних параметрів виробів з урахуванням зв'язків між ними. Моделі використовуються для аналізу коефіцієнта лінійної залежності між нестационарними процесами зміни параметрів. Розроблене програмне забезпечення

дозволяє ухвалювати рішення щодо придатності виробів до експлуатації в реальному часі випробувань.

Бібл. 8, іл. 2.

УДК 681.324

Шалимова Е.М. **Системна модель мереж мікроконтролерів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.26-32.

Мережі мікроконтролерів - різновид локальних мереж, які широко використовуються в сучасних технічних системах. На їхній основі будуються системи передачі даних та розподілені системи керування різними об'єктами, а, отже, центральними стають питання ефективності й особливостей застосування в різних областях. У цій роботі пропонується оригінальний підхід до розгляду мереж мікроконтролерів, пропонується системна модель і дається характеристика її складових. Крім того, формулюється завдання оптимального розподілу трафіка по інтерфейсах, приводиться її математичний опис й обговорюється рішення.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 622.272

Калініченко В.О. **Математичне моделювання розподілу напруг в гірничому масиві внаслідок формування „піонер-камери” лежачого боку** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.33-38.

Запропоновано аналітичне рішення задачі визначення поля напруг, яке виникає в масиві гірничих порід внаслідок проведення гірничих виробок.

УДК 628.007.52

Ткач М.М. **Определение видов взаимосвязей между элементами технологических структур ГПС** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.39-46.

Определены виды взаимосвязей между элементами технологических структур ГПС и приведено их формализованное представление, которое может быть использовано для разработки алгоритмов структурного анализа технологических структур ГПС.

Бібл. 5, рис. 3.

УДК 664.2.032.1

Сергеева Ю.Н., Черниченко В. Е., Горбунов А. Д. **Влияние структуры эмульсии на теплоту сгорания** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.47-51.

У роботі наводяться експериментальні дані про вплив різних факторів на процеси формування теплоти згоряння водомазутного емульгированного палива. Запропоновано

методику й математичну модель, що дозволяє прогнозувати теплоту згоряння в процесі спалювання.

УДК 669.017

Козлов В.М., Хлынецв В.П. Клешина С.Я. **Электроосаждение композиционных покрытий меди с частицами фуллерита** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.52-58.

Приводятся результаты исследований электроосаждения композиционных покрытий на основе меди из водного электролита, содержащего «свежие» дисперсные частицы фуллерита C_{60} . Частицы не прошли стадии полимеризации и обладают высокой электропроводностью. Их зарастивание происходит путем образования трехмерных зародышей электроосаждаемого металла на поверхности частиц. В результате, вокруг частиц формируется компактная металлическая зона. Структура частиц фуллерита, включаемых в медные покрытия, представляет собой сочетание гранцентрированной кубической и плотноупакованной гексагональной кристаллической решетки.

Библ. 8, ил. 3

УДК 620.179.14

Петренко О.М., Кучеренко О.Є. **Метод автоматичної локалізації і класифікації дефектів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.59-64.

Запропоновано нейромережевий метод обробки рентгенограм дефектних виробів. Послідовно розглянуто етапи аналізу цифрових рентгенограм на прикладі складних дефектів у металевих виробах.

Бібл. 4, іл. 4.

УДК 536.24

Яковенко В.А. **Моделирование тепловых процессов при сжигании угля под действием энергии сверхвысоких частот** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.65-71.

Построена математическая модель теплообмена в реакционной камере при сжигании угольной пыли под действием энергии сверхвысоких частот. Определено распределение температуры в газовом потоке с учетом разрушения внутреннего покрытия камеры, во внутреннем покрытии камеры, закон сноса материала внутреннего покрытия.

Библ. 9.

УДК 621.757.001.57

Ясев О.Г., Меженна К.Г. **Методологічні аспекти надійності методів механічної обробки** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.72-78.

Розроблений підхід до дослідження надійності методів механічної обробки. Сформульовані основні поняття та уточнені показники теорії надійності з урахуванням специфіки об'єкту, що розглядається.

УДК 621.746.27.003

Юдина С.А., Юдин С.В., Крюковская О.А. **Анализ технологии обработки непрерывнолитого металла в конвертерном цехе ОАО ДМКД** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.79-86.

Производство качественной непрерывнолитой заготовки во многом зависит как от оптимального температурно-скоростного режима, так и от рационального состава используемых шлакообразующих смесей. Это приводит к формированию шлака с требуемыми физико-химическими свойствами, обеспечивающего нормальную разливку стали и повышение качества непрерывнолитой заготовки.

Разработан оптимальный состав шлакообразующих смесей на основе тройной силикатной системы $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, изучены влияния основности шлака, содержания глинозема, плавикового шпата, углерода и оксидов щелочноземельных металлов на характеристики плавления и вязкости шлаков для непрерывной разливки стали. Получены положительные результаты качества поверхности трубных заготовок.

УДК 621.746.393.776.2

Завацький В.Л. **Теоретичні аспекти проектування гнучких робочих елементів скребкових конвеєрів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.87-94.

У механічних цехах для транспортування стружки часто застосовують різні скребкові або ськребково-візкові конвеєри. До їх недоліків відносяться: швидкий знос жолоба і самого скребка при металевому його виконанні, шум і значна витрата енергії. Для підвищення експлуатаційної стійкості скребків робочу частину їх доцільно виконувати еластичною. Найбільш працездатною робочою частиною вважають металевий ворс, що є розпушеними відрізками сталевого троса, які в своїй сукупності складають плоску щітку. При переміщенні стружки уздовж жолоба ворс повинен притискатися до днища і бокових стінок, бути достатньо жорстким, щоб сприймати на себе частину сили опору руху матеріалу уздовж жолоба і достатньо еластичним. Деформація ворсу при цьому не повинна виходити за межі закону пружності. Кожна ворсина такого скребка працює як гнучкий стрижень, затиснений одним кінцем і навантажений нормальним тиском N від днища і силою тертя F , направленої протилежно руху скребка. Представлений матеріал пропонує методику розрахунку і проектування таких щіток для скребкових конвеєрів.

УДК 539.3

Зеленцов Д.Г. Мельникова М.В. **Алгоритми розв’язання систем диференціальних рівнянь в задачах оптимізації кородуючих пластин** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.95-103.

Пропонується новий полуаналітичний алгоритм розв’язання систем диференціальних рівнянь в задачах оптимального проектування кородуючих конструкцій. Алгоритм заснований на використанні отриманої авторами аналітичної формули довговічності елементарного фрагменту кородуючої пластини. Результати чисельного експерименту підтверджують його стійкість за вхідними даними та ефективність в порівнянні з однокроковими чисельними методами.

Бібл. 5, іл.4, табл.1

Маруніч В.А. **Экспериментальное установление эффективных условий фрезерования теплоизоляционных пенополиуритановых материалов** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.104-111.

УДК 502.36:533.6.011+62.192

Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Полищук С.З., Полторацкая В.Н., Фалько В.Ф., Полищук А.В., Куц А.О. **Разработка математической модели оценки экологического риска по данным измерений приземных концентраций загрязняющих атмосферу веществ** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.112-120.

Використання під факельних вимірювань отримана математична модель оцінки складової екологічного ризику від забруднення атмосфери окремим джерелом.

УДК 629.11.012.552.6.001.4

Кармазіна В. В., Бурхович М. П. **Інженерна методика для розрахунку основних вихідних характеристик пневматичних шин землерійно-транспортних машин** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.121-126.

Обґрунтовано необхідність розробки інженерної методики для отримання основних вихідних характеристик пневмоколісних рушіїв машин для земляних та дорожніх робіт на основі математичної моделі контактної взаємодії пневматичної шини з опорною поверхнею кочення. Отримані алгебраїчні залежності для розрахунку максимального прогину та площі плями контакту шини моделі 15,5R38 в реальних умовах експлуатації.

Бібл. 5, іл. 2.

УДК 629.11.012.552.6.001.4

Кармазіна В. В., Сасов О.О. **Математична модель для визначення температур у характерних зонах пневматичних шин наднизького тиску** // Системні технології.

Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 5 (52).- Дніпропетровськ, 2007.- С.127-132.

Зроблено статистичний аналіз для визначення математичної залежності температур від часу руху t , радіального навантаження Q , швидкості руху V , внутрішнього тиску P у характерних зонах шин наднизького тиску. Складено крапковий прогноз температури нагріву шини 67Ч43.00LR25.

Бібл. 7,табл. 1.

UDC 539.3

Starushenko G. A., Rogoza B. E. **The review and analysis of the three-phase model In the mechanics of composite materials** // System technologies. - N 5(52). - Dnepropetrovsk, 2007. – P.3-10.

In the paper the review of the solution of problem for composites with cylindrical and spherical inclusions with using of three-phase model has been conducted; basic principles of construction of three-phase model and received on its basis results were represented.

The three-phase model is used for the determination of the effective heat conductivity of two-phase composite material that has been constructed with continuous matrix and periodical cylindrical inclusions. The solution of problem was received by combination of mathematical theory of homogenisation and asymptotic methods, such as method of boundary form perturbations. Asymptotic approximations are got and analysis of solution was conducted, confirming sufficient accuracy of results in all range of change of the geometrical size of inclusions and their physical characteristics, including limiting cases.

UDC 669.013.002.5

Shmatco D.Z., Kochneva H.V. **Laboratory researches of loading of the bearing system of portal machine on pneumatic wheels** // System technologies. - N 5(52). - Dnepropetrovsk, 2007. – P.11-18.

In the article the method of conducting of laboratory researches of loading of longitudinal and transversal elements of frame of the bearing system of prototype of a lifting-transport portal machine is presented on pneumatic wheels.

Bibl.3.,ill.5

Pervukhina E., Stepanchenko T., Golikova V. **Organization of decision making procedure on the base of branch tests of machines** // System technologies. - N 5(52). - Dnepropetrovsk, 2007. – P.19-25.

The decision making procedure based on results of branch tests of machines is developed. The stochastic multivariate models taking into account the dependences between diagnostic parameters are created. They use to analyze a coefficient of linear dependence

between nonstationary processes of parameter changing. Developed software permits to make decision on machine quality in real test time.

Bibl. 8, ill. 2.

Shalimova E.M. **System model of microcontroller networks** // System technologies. - N 5(52). - Dnepropetrovsk, 2007. – P.26-32.

Microcontroller networks are variety of local networks which are widely used in the modern technical systems. On their basis the systems of communication of data and distributed control different objects systems are built, and consequently, the questions of efficiency and features of application in different fields are become central. In the work original approach to microcontroller networks consideration is presented, a system model is offered and description of its constituents is given. In addition, the task of the traffic distributing optimum on interfaces is formulated, its mathematical description is given and solution is discussed.

Bibl. 4, ill. 4.

UDK 622.272

Kalinichenko V.A. **Mathematical modeling of distribution of pressure in a mountain file at formation of "pioneer-chamber" lying side** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.33-38.

The analytical decision of a task of an establishment of a field of pressure is offered which arises in a file of mountain breeds as a result of realization of mountain developments.

UDC 628.007.52

Tkach M.M. **Determination of types of intercommunications between the elements of technological structures of FMS** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.39-46.

The Certain types of the intercoupling between element of the technological structures FMS and is brought their formalized presentation, which can be used for development algorithm structured анализа technological structures FMS.

Ref. 5, pic. 3

УДК 664.2.032.1

Sergeeva Yu.N., Chernichenko V.E., Gorbunov A.D. **Влияние структуры эмульсии на теплоту сгорания** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.47-51.

In work the experimental data about influence of the various factors on processes of formation of heat of combustion water black oil of fuel are resulted. The technique and mathematical model allowing to predict quantity of heat of combustion during burning is offered.

UDC 669.017

Kozlov V.M., Khlyntsev V.P. Klenina S. **Electrodeposition of composite coverings of copper with fullerites particles** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.52-58.

The results of studies of electrodeposition of composite covers on copper basis of from an aqueous electrolyte containing "fresh" disperse fullerite C₆₀ particles were presented. The surface of particles has not passed stages of a polymerization. Such particles have high electric conduction and their intergrowth occurs by formation of three-dimensional nucleuses of electrodeposited metal on a particles surface. It results in forming compact metal zone around of a particle. The fullerite particles structure, included in a copper coating are combination of face centered cubic and close packed hexagonal crystal lattices.

Lit. 8., pic. 3.

UDC 620.179.14

Petrenko O.M., Kucherenko O.E. **Automated Defects Localization and Classification Method** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.59-64.

The neural-based method of automated defects localization and classification is proposed. The digital x-ray pictures analysis is examined step by step basing on examples of complex defects in metal rejects.

Bibl. 4, il. 4.

UDC 536.24

Yakovenko V.A. **Model operation of thermal processes at burning coal under activity of energy of ultrahigh frequencies** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.65-71.

The mathematical model of heat exchange in the reactionary cabinet is constructed at burning a coal dust under activity of energy of ultrahigh frequencies. Allocation of temperature in a gas stream in view of fracture of an interior coat of the cabinet, in an interior coat of the cabinet, the law *шоца* a material of an interior coat is certain.

Bibl. 9.

UDC 621.757.001.57

Yasev A.G, Mezhenayaya K.G. **Methodological aspects of reliability of machining methods** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.72-78.

There was developed approach to researches reliability of machining methods. Basic concepts were formulated and indexes of theory reliability were specified in order to objects features.

UDC 621.746.27.003

Yudina S.A., Yudin S.V., Kryurovskaya O.A. **Analyze of technology of continuously poured metal in converter workshop OAO DMKD** // System technologies. - N 5(52).- Dnepropetrovsk, 2007. – P.79-86.

UDK 621.746.393.776.2

V. Zavatskiy. **Theoretical aspects of planning of flexible working elements of scraper pipelines** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.87-94.

In machine-shops for cleaning up of the shallow shaving part is used a different scraper or skrebkovo-telezhechnye conveyers. To their failings behave: rapid wear of chamfer and scraper at metallic his execution, noise and considerable expense of energy. For the increase of operating firmness of scrapers it is expedient to execute working part of them elastic. Most capable of working working part is metallic nap, being the raspushennyye segments of hawser, which in the aggregate make a flat brush. At moving of shaving along a chamfer a nap must cuddle to the bottom and lateral walls, be hard enough, to perceive on itself part of force of resistance to motion of material along a chamfer and elastic enough. Deformation of nap here must not go out outside the law of resiliency. Every vorsyna of such scraper works as the flexible bar jammed by one end and loaded with the normal pressure N from the side of bottom and by force friction – the F resistance, directed opposite to motion of scraper. The represented material offers the method of calculation and planning of such brushes for scraper conveyers.

UDS 539.3

Zelentsov D.G., Melnicova M.V. **Algorithms for solving differential equation systems in the problems of corroding plates optimization** // System technologies. - N 5(52).- Dnepropetrovsk, 2007. – P.95-103.

A new semi-analytical algorithm for solving differential equation systems in the problems of corroding structures designing is proposed. The algorithm is based on using analytical formula of durability of elementary fragment of corroding plate, the formula having been deduced by the authors. The results of numerical experiments verify its robustness as to input data and efficiency as against one-step numerical methods.

Bibl.5, ill. 4, tabl. 1.

Marunich V.A. **Emperical determination of effective conditions of processing of termoinsulating spume-polyuritane materials** // System technologies. - N 5(52).- Dnepropetrovsk, 2007. – P.104-111.

UDC 502.36:533.6.011+62.192

Artamonova A.V., Dolodarenko V.A., Polishuk S.Z., Poltoratskaya V.N., Falko V.F., Polishuk A.V., Kush A.O. **The mathematical model of ecological risk estimation based on measurements of air polution concentrations collected near ground** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.112-120.

With use of undertorch measurements the mathematical model of a rating of a component of ecological risk from pollution of an atmosphere by a single source is received.

UDC 629.11.012.552.6.001.4

Karmazina V.V., Burhovich M.P. **Engineering technique for calculation of basic initial characteristics of pneumatic tyres of excavating transport machines** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.121-126.

The necessity of engineering technique development for production of basic initial characteristics of pneumatic wheel machine engines for ground and road works on the base of mathematical model of contact relationship of pneumatic tyre with supporting surface of rolling motion has been grounded.

Algebraic dependences for calculation of maximum deflection and spot area of tyre contact of model 15,5R38 in real conditions of operation have been obtained.

Ref. 5 items, fig. 2.

UDC 629.11.012.552.6.001.4

Karmazina V.V., Sasov O.O. **Mathematical model for temperatures determination in typical zones of pneumatic tyres of superlow pressure** // System technologies. - N 5(52).-Dnepropetrovsk, 2007. – P.127-132.

Statistic analysis for determination of mathematical dependence of temperatures from the time of motion t , of radial Q , of motion speed V , of internal pressure P in typical zones of tyres with superlow pressure is made. The point forecast of temperature of tyre 67443.00LR25 heating is developed.

Bibl. 7, tab. 1.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Артамонова А.В. - Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, Украина.

Бурхович Михаил Павлович – ассистент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Днепродзержинского государственного технического университета.

Горбунов А.Д. - профессор, Днепродзержинский государственный технический университет.

Долодаренко В.А. - Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина.

Зеленцов Дмитрий Геннадиевич – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой высшей математики Украинского государственного химико-технологического университета.

Кармазина Валентина Васильевна – к.ф.-м.н., доцент кафедры информационных технологий Днепродзержинского государственного технического университета.

Кленина Светлана Яковлевна - старший научный сотрудник, кафедра физики, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

Козлов Валентин Михайлович – д.х.н., профессор, заведующий кафедрой физики, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

Кочнева Е.В., – аспирант кафедры оборудования пищевых производств Днепродзержинского государственного технического университета.

Кучеренко Александр Евгеньевич – аспирант кафедры РЭА физико-технического факультета ДНУ.

Куц А.О. - Украинский государственный химико-технологический университет.

Марунич В.А. – к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения НМетАУ.

Мельникова Марина Викторовна – аспирант кафедры высшей математики Украинского государственного химико-технологического университета.

Меженная К.Г. – аспирантка кафедры технологии машиностроения НМетАУ.

Петренко Александр Николаевич – д.т.н., профессор кафедры РЭА, декан физико-технического факультета ДНУ.

Полищук А.В. - Украинский государственный химико-технологический университет.

Полищук С.З. - Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, г. Днепропетровск, Украина.

Полторацкая В.Н. - Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск, Украина.

Рогоза Борис Евгеньевич - старший преподаватель кафедры высшей математики Украинского государственного химико-технологического университета.

Сасов Александр Александрович - ассистент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство» Днепродзержинского государственного технического университета.

Первухина Елена Львовна - д.т.н., профессор, кафедра технической механики и машиноведения, Севастопольский национальный технический университет.

Голикова Виктория Викторовна – ассистент кафедры технической механики и машиноведения, Севастопольский национальный технический университет.

Степанченко Татьяна Львовна – ассистент кафедры технической механики и машиноведения, Севастопольский национальный технический университет.

Шалимова Елена Михайловна - старший преподаватель кафедры кибернетики и вычислительной техники, Севастопольский национальный технический университет.

Сергеева Ю.Н. – аспирантка, Днепродзержинский государственный технический университет.

Старушенко Галина Аркадиевна – к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и информационных систем Днепропетровского регионального института государственного управления Национальной Академии государственного управления при Президенте Украины.

Ткач М.М. – к.т.н., доцент кафедры технической кибернетики факультета информатики и вычислительной техники Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

Фалько В.Ф. - Сумской государственный университет, Украина.

Хлынцев Виктор Прохорович – к.ф.-м.н., доцент, кафедра физики, Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

Черниченко В.Е. - доцент, Днепродзержинский государственный технический университет.

Шматко Д.З., – к.т.н., доцент кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства Днепродзержинского государственного технического университета.

Яковенко В.А. - к.т.н., доцент таможенной академии Украины.

Ясев Александр Георгиевич – к.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения НМетАУ.