

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПРОЦЕССОВ В МЕТАЛЛУРГИИ И МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 621.317.382:539.1

В.Е. Бахрушин, М.А. Игнахина

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ В МЕТАЛЛУРГИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Постановка проблемы и анализ публикаций

Статистические методы широко используются в производственном контроле качества в металлургии полупроводников [1]. В частности, при производстве кремниевых эпитаксиальных композиций к числу основных контролируемых параметров относятся толщина эпитаксиального слоя, удельное электросопротивление и их разбросы [2, 3]. Кроме того, контролируется ряд параметров, характеризующих качество поверхности: наличие растравливания, окисления, подплавления, бугорков роста, сыпи и т. п., а также концентрации структурных дефектов – дислокаций и дефектов упаковки в рабочей области. В отдельных случаях к лимитируемым параметрам дополнительно относят наличие линий скольжения и их суммарную длину. Особенности контролируемых параметров являются их неоднородность в плоскости эпитаксиального слоя и существенный разброс значений. Для большинства из них законы распределения значений по эпитаксиальной композиции, а также средних значений по серии таких композиций существенно отличаются от нормального или неизвестны. В этих условиях применение традиционных параметрических методов статистического анализа невозможно [4] и актуальной проблемой становится выбор адекватных методик контроля качества производства. Несмотря на большое число публикаций в этой области [5, 6], проблема практического применения непараметрических статистических методов в металлургии и материаловедении полупроводников остается нерешенной. Это обусловлено недостаточной эмпирической базой, большим разнообразием типов композиций и технологий их изготовления, а

также непониманием технологами ограничений параметрических методов и возможных последствий их неправомерного использования. Значительная часть предложений по усовершенствованию методик статистического контроля не учитывает требования производителей о том, чтобы издержки, связанные с внедрением новых методик, были меньшими, чем эффект от их применения.

Целью данной работы является анализ эмпирических данных о распределении некоторых параметров кремниевых эпитаксиальных композиций и обоснование необходимости использования непараметрических статистических методов при производственном контроле их качества.

1. Толщина и удельное электросопротивление эпитаксиального слоя

Современные технологии позволяют воспроизводимо формировать эпитаксиальные слои кремния толщиной 1 – 200 мкм с удельным электросопротивлением 0,05 – 200 Ом·см и неоднородностью распределения не более 3 – 5 % для толщины и 5 – 7 % для удельного электросопротивления [7]. Стандартная методика предполагает определение значения контролируемого параметра как среднего арифметического результатов замеров, выполненных в пяти точках – центре эпитаксиального слоя и четырех точках, взятых на двух взаимноперпендикулярных диаметрах на расстоянии, равном половине радиуса от центра. Неоднородность распределения параметров определяют как отношение разности между максимальным и минимальным результатами к среднему значению.

Существенной особенностью, определяющей выбор статистической модели, является малое количество результатов, по которым необходимо делать оценки. Их увеличение требует выполнения дополнительных измерений и поэтому нежелательно. При выборе методики оценивания параметров необходимо исходить из конечной цели. Она связана с тем, что в результате последующих технологических процессов на эпитаксиальной композиции будут формироваться однотипные элементы с характерным размером порядка 0,1 – 100 мкм. Технология должна обеспечить минимизацию числа элементов, для которых толщина и удельное электросопротивление эпитаксиального слоя не попадают в заданные диапазоны допустимых значений. Конечная задача контроля –

получение максимально точных оценок вероятностей соответствующих событий.

На рис. 1 показаны полученные нами [7] результаты исследования неоднородности толщины эпитаксиальных слоев кремния, полученных при осаждении в вертикальном кварцевом реакторе.

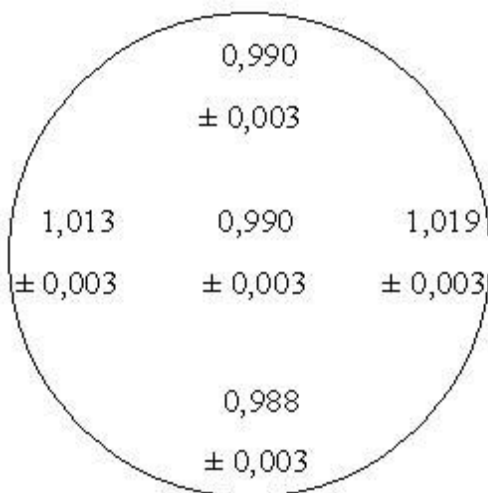


Рисунок 1 - Неоднородность толщины эпитаксиальных слоев кремния

Из рисунка видно, что в данном случае использование среднего арифметического имеющихся пяти замеров в качестве оценки толщины эпитаксиального слоя будет давать существенно искаженный результат. Это связано с наличием неслучайной составляющей распределения толщины, обусловленной симметрией температурного поля относительно вертикального диаметра пластины. Указанная проблема частично может быть снята, изменением выбора точек контроля, расположение которых не должно повторять симметрию реактора. Однако для обоснованного выбора таких точек необходимы специальные исследования. Применение других методов оценки центра распределения, в частности медианного, в данном случае нецелесообразно из-за ограниченного набора данных. Аналогичные проблемы характерны и для контроля удельного электросопротивления эпитаксиального слоя. Основное отличие заключается в том, что этот параметр более чувствителен к флуктуациям температуры подложки и концентрации легирующего компонента в газовой фазе. Поэтому неоднородность его распределения является более высокой, а распределение по поверхности слоя – более сложным.

Больше вопросов вызывает оценка вероятности получения готовых элементов, не удовлетворяющих требованиям по толщине и удельному электросопротивлению эпитаксиального слоя. Существующие методики основаны на предположении о нормальном законе распределения этих характеристик и интерпретации получаемых среднего значения и разброса как параметров соответствующих функций распределения. В действительности такое предположение не выполняется. Поэтому более обоснованным представляется получение интервальных или квантильных оценок толщины и удельного электросопротивления на основе предварительно полученных модельных функций распределения значений исследуемых характеристик.

2. Плотности дислокаций и дефектов упаковки

Другим примером неправомерности использования параметрических статистических методов в контроле качества является контроль плотностей структурных дефектов эпитаксиального слоя. На рис. 2 показаны эмпирические функции распределения эпитаксиальных композиций по плотности дислокаций, полученные для реакторов двух типов. Видно, что закон распределения, существенно отличается от нормального. Это особенно четко видно для кривой 1.

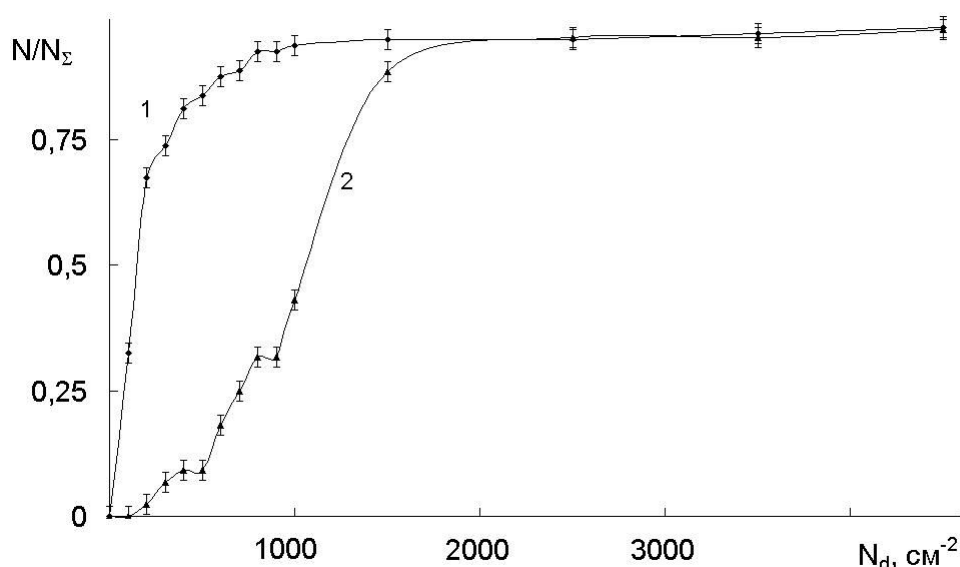


Рисунок 2 - Графики функций распределения по плотности дислокаций для композиций, полученных в двух типах реакторов

Близкими по виду к кривой 1 являются функции распределения композиций по плотности дефектов упаковки. Их характерными особенностями являются ограниченность значений плотностей дефектов, широкий диапазон их изменения (от 10^1 до 10^5 см⁻²), резкое возрастание функции распределения в области малых значений плотностей дефектов.

Очевидно, что и в этом случае методы контроля, основанные на предположении о нормальном законе распределения значений тестируемых параметров, будут давать существенную погрешность.

Выводы

Полученные результаты показывают наличие существенных отклонений распределения толщины, удельного электросопротивления и плотностей структурных дефектов эпитаксиальных слоев кремниевых композиций от нормального закона. Это свидетельствует о необходимости применения непараметрических статистических методов для разработки методик контроля их качества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология полупроводникового кремния / Фалькевич Э.С., Пульнер Э.О., Червонный И.Ф. и др. – М.: Металлургия, 1992. – 408 с.
2. Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов. – М.: Металлургия, 1987. – 336 с.
3. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.
4. Бахрушин В.Є. Аналіз даних. – Запоріжжя: ГУ “ЗІДМУ”, 2006. – 128 с.
5. Morris R.E. The use of nonparametric statistics in quantitative electron microscopy // Journal of Electron microscopy. – 2000. – V. 49, N 4. – P. 545 – 549.
6. Орлов А.И. Математические методы исследования и теория измерений. – Заводская лаборатория. – 2006. - № 1. – С. 67 – 70.
7. Бахрушин В.Е. Получение и физические свойства слаболегированных слоев многослойных композиций. – Запорожье: ГУ “ЗИГМУ”, 2001. – 247 с.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 519.6

А.П.Гожий

НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ДАННЫХ В ЗАДАЧАХ СЦЕНАРНОГО АНАЛИЗА

В процессе построения и анализа сценариев при обработке экспертных данных могут возникать ситуации, когда отсутствует информация о функциях распределения вероятностных событий на прогнозных графах, а задаются только различия между ними.

В данных случаях целесообразно использовать аппарат непараметрической статистики. На данный момент непараметрические методы применяются в таких отраслях, как: биологические и медицинские исследования, социология, экономика, машиностроение, прогнозирование, сценарное планирование и т.д.

Рассмотрим основные типы непараметрических задач, которые могут решаться при выполнении анализа экспертной информации.

Прежде всего необходимо выделить сугубо непараметрическую задачу оценивания неизвестных распределений [6,8]. Ее не следует смешивать с задачей аппроксимации неизвестного распределения известными функциями, которая рассматривается в обычной (параметрической) статистике и которая в конечном счете сводится к оценке параметров этих функций. В непараметрической постановке эта задача формулируется следующим образом: задается достаточно широкий непараметрический класс распределений (например, класс всех непрерывных функций распределений или класс всех распределений, обладающих плотностью); требуется предложить процедуру, результатом которой является оценка функции распределения или плотности. Другими словами, задача требует определить различия между распределениями внутри заданного класса, причем эти различия вообще не конкретизируются.

Если же эти различия конкретизировать, то мы приходим к другому классу задач, аналогичных по своей форме классическим задачам оценки параметров. Аналогия здесь опять же чисто внешняя, так как о параметрах распределения в обычном смысле говорить нельзя, поскольку класс распределения непараметричен, т.е. фактически оценивается не параметр распределения, а параметр

различия между распределениями внутри заданного непараметрического класса [6].

Параметр различия может быть определен через известный функционал от неизвестного распределения. К настоящему времени известны следующие основные оценки таких функционалов:

- оцениваемый параметр известным образом связан с квантилями;
- оцениваемый параметр выражается как математическое ожидание известной функции по неизвестному распределению;
- параметр известным образом входит в неизвестное распределение;
- параметр есть нелинейный интегральный функционал (типа энтропии).

Третья категория непараметрических задач - проверка непараметрических гипотез.

Любая задача проверки непараметрических гипотез выглядит следующим образом. Из двух конкурирующих гипотез альтернатива всегда непараметрична, а нулевая гипотеза может быть либо простой, либо непараметрической. Поскольку, по крайней мере, одна гипотеза есть класс неизвестных распределений, различие между гипотезами задается в некотором общем виде, не связанном с конкретным видом функции распределения.

Требуется предложить процедуру (тест), результатом которой явилось бы решение об истинности одной из гипотез на основании предъявленной выборки (или нескольких выборок - при многовыборочных задачах).

Последний класс непараметрических задач в настоящее время наиболее развит и широко используется на практике. Поэтому перечислим основные непараметрические задачи проверки гипотез, приведенные в работе [3], чтобы продемонстрировать, как именно задаются гипотезы и различия между ними.

1. Задача согласия. Пусть задано известное непрерывное распределение $F(x)$. Из неизвестного распределения $G(x)$, принадлежащего классу всех остальных распределений, берется выборка $x_1, x_2, \dots, x_n$.

Конкурирующие гипотезы:

нулевая гипотеза $H_0 : F = G$ - простая гипотеза;

альтернатива $\left. \begin{array}{l} \text{а) } H_1^+ : F < G \\ \text{б) } H_1^- : F < G \end{array} \right\} - \text{односторонние гипотезы;}$

в) $H_1 : F \neq G$ - двусторонняя гипотеза

Как видим, нулевая гипотеза проста, альтернатива в любом из вариантов непараметрична, различие между ними задается односторонним или простым неравенством между F и G .

2. Задача сдвига (расположения). Иногда известно, что интересующий нас фактор приводит к сдвигу распределения в ту или иную сторону. Направление сдвига может быть известным или неизвестным. В таких обстоятельствах возникает задача обнаружения или локализации. В простейшей постановке задача расположения формулируется в том случае, когда известно, что альтернатива сводится только к сдвигу, т.е. $F(x|\theta) = F_0(x-\theta)$, где θ - параметр сдвига.

Нулевая гипотеза $H_0 : \theta = 0$.

Альтернатива:

- а) $H'_1 : \theta > 0$
 - б) $H''_1 : \theta < 0$
 - в) $H'''_1 : \theta \neq 0$ - двусторонняя гипотеза
- односторонние гипотезы;

В других случаях может быть не известно, проявляется ли влияние исследуемого фактора только в сдвиге, но известно, что сдвиг может иметь место.

Поскольку распределения неизвестны, среди них иногда могут встретиться и не имеющие моментов (по которым можно было бы судить о сдвиге); поэтому естественной мерой сдвига являются квантили того или иного уровня p . Возможны следующие варианты задачи сдвига.

Нулевая гипотеза $H^*_0 : F^{-1}(p) = x_p$.

Альтернатива:

- а) $H'_1 : F^{-1} > x_p$
 - б) $H''_1 : F^{-1} < x_p$
 - в) $H'''_1 : F^{-1} \neq x_p$ - двусторонняя гипотеза
- односторонние гипотезы;

В односторонних задачах иногда рассматривается несколько общая нулевая гипотеза

$H_0 : F^{-1}(p) \leq x_p; \quad H_1 : F^{-1}(p) > x_p$

В некоторых случаях известна симметричность распределения относительно медианы. Тогда задача сдвига может быть сформулирована с учетом этой информации:

$H_0 : F^{-1}(0,5) = x_0$ и $F(x)$ - симметрична относительно,

а) $H'_1 : F^{-1}(0,5) > x_0$, $F(x)$ - симметрична,

б) $H''_1 : F^{-1}(0,5) \neq x_0$, $F(x)$ - симметрична.

3. Задача расположения и симметрии. В отличие от задачи расположения в данной задаче альтернатива расширяется так, чтобы охватить как все сдвинутые, так и все несимметричные распределения:

$H_0 : F^{-1}(0,5) = x_0$ и $F(x)$ - симметрична,

$H_1 : F^{-1}(0,5) \neq x_0$ и $F(x)$ - несимметрична.

По существу, это задача проверки симметричности распределения $F(x)$ относительно точки x_0 .

4. Задача масштаба. В ряде случаев заранее известно, что исследуемый фактор приводит к изменению масштаба распределения.

Если изменяется только масштаб, имеем альтернативу вида $F(x/\theta) = F_0(\theta, x)$ и задачу следующего типа.

Нулевая гипотеза $H_0 : \theta = 1$.

Альтернатива:

- а) $H'_1 : \theta > 1$ }
 б) $H''_1 : \theta < 1$ } - односторонние гипотезы;
 в) $H'''_1 : \theta \neq 1$ - двусторонняя гипотеза

Если кроме изменения масштаба могут происходить какие-либо другие изменения распределения, а нас интересует только сам масштаб, необходимо ввести меру масштаба. В качестве меры масштаба, как и при сдвиге, разумно использовать квантильную меру или меру типа размаха выборки. Обозначим выбранную меру через ρ . Тогда имеем следующую задачу.

Нулевая гипотеза $H_0 : \rho = \rho_0$.

Альтернатива:

- а) $H'_1 : \rho > \rho_0$ }
 б) $H''_1 : \rho < \rho_0$ } - односторонние гипотезы;
 в) $H'''_1 : \rho \neq \rho_0$ - двусторонняя гипотеза

Для решения перечисленных задач используется ряд непараметрических методов и критериев проверки гипотез, основными из которых являются:

критерий сумм рангов Уилкоксона;

критерий знаков Фишера;

критерий Гупты;
 критерий Ансари-Бредли;
 критерий Краскела-Уолиса;
 критерий Фридмана;
 критерий Колмогорова-Смирнова.

Эти непараметрические методы являются наиболее распространенными, и эффективно применяются в разнообразных ситуациях [5,7,8]. Краткое описание критериев приведено в таб. 1.

Таблица 1

Непараметрические критерии проверки гипотез

Название критерия	Задача	Данные	Короткое описание
Критерий суммы рангов Уилкоксона	О положении (сдвиге) распределения.	Две выборки $X_1 \dots, X_m$ и $Y_1 \dots, Y_n$	Проверка гипотезы о том, что выборки X и Y выбраны из одной совокупности, то есть $\Delta = 0$ (разность медиан X и Y)
Критерий Фишера	О положении (сдвиге) распределения.	Парные повторные наблюдения $(X_1, Y_1) \dots, (X_n, Y_n)$	Проверка гипотезы об эффекте обработки θ , где θ – неизвестная медиана $X - Y$
Критерий Гупты	О положении (сдвиге) распределения.	Одна выборка $Z_1 \dots, Z_n$	Проверка гипотезы о симметричности совокупности Z относительно медианы θ
Критерий Ансари-Бредли	О рассеянии (масштабе) распределения	Две выборки $X_1 \dots, X_m$ и $Y_1 \dots, Y_n$	Проверка гипотезы о том, что выборки X и Y выбраны из одной совокупности.
Критерий Краскела-Уолиса	Однофакторный дисперсионный анализ (k выборок)	N наблюдений X_{ij} $n = 1 \dots, n_j$, $j = 1 \dots, k$	Проверка гипотезы о том, что k выборок выбраны из одной совокупности ($\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k$). τ_j – эффект обработки j выборки.
Критерий Фридмана	Двухфакторный дисперсионный анализ	$n * k$ наблюдений X_{ij} , $n = 1 \dots, n$, $j = 1 \dots, k$	Проверка гипотезы о том, что k выборок выбраны из одной совокупности ($\tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_k$). τ_j – эффект обработки j выборки.
Критерий Колмогорова-Смирнова	Критерии для альтернатив	Две выборки $X_1 \dots, X_m$ и $Y_1 \dots, Y_n$	Проверка однородности двух выборок против альтернативы, о том, что альтернативы отличны.

Изложенный в данной статье материал является частью системной методологии применения статистических методов в анализе сценариев, которая представлена в [1,2] .

Для реализации непараметрического оценивания в задачах сценарного анализа, представленные методы были реализованы в виде программного комплекса структура которого приведена на рис.1.

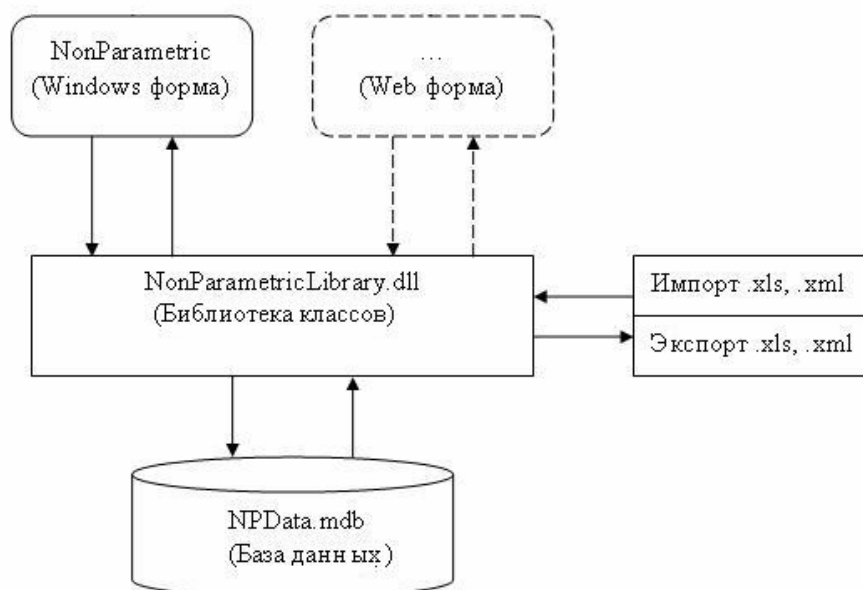


Рисунок 1 - Структура программного комплекса непараметрического оценивания

Главной частью программного комплекса является библиотека классов NonParametricLibrary.dll. В ней сохраняется иерархия классов, которая осуществляет анализ данных с помощью непараметрических методов. Каждому методу соответствует определенный класс. Кроме того реализованы классы которые инкапсулируют ввод и вывод данных. Эти классы могут использоваться любым приложением Windows (Windows-application): Windows форма, web форма, служба Windows или web служба. Необходимая для непараметрических критериев информация сохраняется в локальной базе данных NPData.mdb. Именно отсюда выбираются табличные значения для представленных выше методов. Кроме того, в базе данных сохраняется описание каждого реализованного метода и описание основной и альтернативной гипотез. Метод класса с .dll файла обращается к базе данных з запросом и получает набор данных (dataset) в ответ. Возможен ввод и вывод данных с помощью электронных таблиц MS Excel (.xls).

На рисунке 2 приведен внешний вид интерфейса программного комплекса.

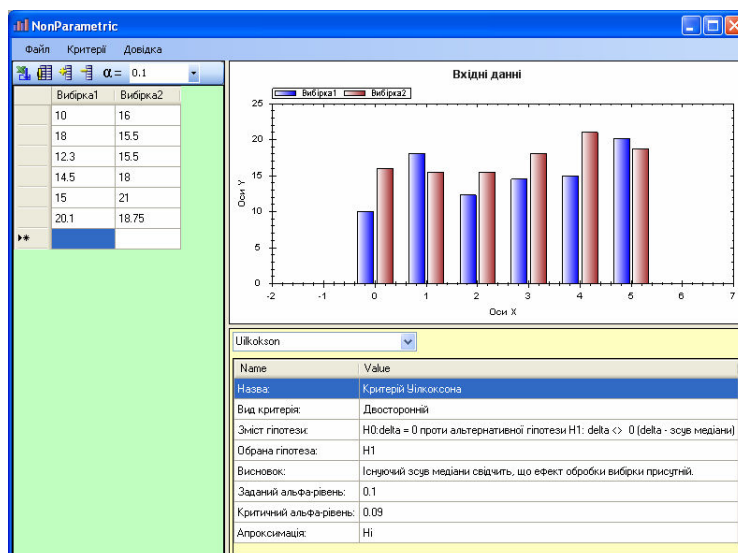


Рисунок 2 - Интерфейс программного комплекса непараметрического оценивания

Данный программный комплекс может использоваться автономно, а может применяться в качестве подсистемы непараметрического оценивания в системах поддержки принятия решений в задачах сценарного планирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гожий О.П., Коваленко И.И. Системный подход к выбору статистических методов при генерации и анализе сценариев // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов.- Выпуск №5 (46). Днепропетровск, 2006- с.38-49.
2. Коваленко И.И., Гожий А.П. Системные технологии генерации и анализа сценариев: Монография. – Николаев: Изд-во НГТУ им. Петра Могилы, 2006. – 160с.
3. Леман Э. Проверка статистических гипотез. М. .: Финансы и статистика, 1964.
4. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие. - М.: Издательство "Март", 2004
5. Рунион Ф. Справочник по непараметрической статистике. Пер с англ. – М.:Финансы и статистика, 1982. – 198с.
6. Тарасенко Ф.П., Непараметрическая статистика. – Томск,,: ТГУ, 1976.
7. Тюрин Ю.Н., Непараметрические методы статистики. – М.: «Знание» 1978.
8. Холлендер М., Вулф Д.А. Непараметрические методы статистики - М.: Финансы и статистика 1983 г.

Получено 18.03.2008 г.

АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУСКОМ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Применение компьютерных технологий в горнодобывающей промышленности позволяет повысить эффективность работы горных машин за счет выбора оптимальных режимов их работы. В частности, в конвейерном транспорте выбор оптимальных режимов пуска мощных ленточных конвейеров позволит существенно снизить динамические нагрузки на элементы привода конвейера и тем самым повысить надежность конвейерного оборудования.

Вопросы оптимального управления пуском ленточного конвейеров рассматривались в работах В.Л. Иносова [1], А.Н. Подъемщикова [2], В.К. Смирнова [3].

В работе [1] рассмотрена задача оптимального управления пуском одноприводного ленточного конвейера с жестким натяжным устройством. В ней математическая модель, описывающая упругие возмущения в ленте конвейера при пуске, представляет собой дискретную математическую модель, в которой лента заменяется системой точечных масс, связанных между собой упругими связями. Управляющая функция аппроксимируется кусочно-линейной функцией и представляется суммой ряда линейных функций с неизвестными коэффициентами. В результате задача оптимального управления пуском ленточного конвейера сводится к задаче линейного программирования с большим количеством ограничений в виде неравенств. Точность полученного решения задачи оптимального управления пуском ленточного конвейера в этой работе зависит от количества точечных масс, на которые разбивается лента, и ее длины. Поэтому этот алгоритм для каждого конкретного конвейера необходимо заново корректировать, что снижает эффективность его применения в управлении пуском конвейера.

В работе [2] также рассматривалась задача оптимизации пусковых режимов ленточных конвейеров. При этом рассматривались несколько однокритериальных задач, в которых критериями эффективности являлись время пуска при ограничении на

максимальное натяжение ленты и максимальное натяжение ленты при ограничении на время пуска конвейера. В отличие от предыдущей работы лента заменялась точечными массами, связанными упругими и диссипативными связями. Однако в этой работе алгоритм оптимального управления пуском не описан.

В работе [3] разработан алгоритм моделирования динамических процессов при пуске одноприводного ленточного конвейера для любых характеристик электродвигателя. При этом оптимизация сводилась к выбору рациональных характеристик пуска посредством сравнения различных вариантов.

Следовательно, в настоящее время не существует достаточно простого универсального алгоритма оптимального управления пуском ленточного конвейера.

Целью данной работы является создание такого алгоритма.

Рассмотрим процесс пуска одноприводного ленточного конвейера с жестким натяжным устройством, расположенным в хвосте конвейера (рис. 1).

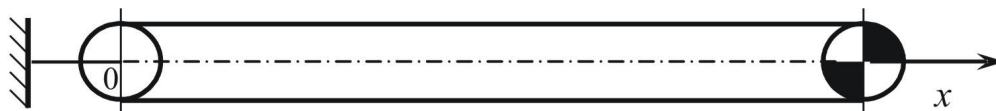


Рисунок 1 - Схема одноприводного конвейера

Согласно [4], система дифференциальных уравнений, описывающая динамические процессы пуска ленточного конвейера, имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial W_{\Gamma}}{\partial \varepsilon} = \rho a \cdot \frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial \eta}; \\ \frac{\partial W_{\Gamma}}{\partial \eta} = \frac{E}{a} \cdot \frac{\partial V_{\Gamma}}{\partial \varepsilon}; \\ \frac{\partial W_{\chi}}{\partial \varepsilon} = \rho a \cdot \frac{\partial V_{\chi}}{\partial \eta}; \\ \frac{\partial W_{\chi}}{\partial \eta} = \frac{E}{a} \cdot \frac{\partial V_{\chi}}{\partial \varepsilon}, \end{cases} \quad (1)$$

при начальных условиях: при $\eta = 0$

$$V_{\Gamma}(\varepsilon, 0) = V_{\chi}(\varepsilon, 0) = 0; \quad W_{\Gamma}(\varepsilon, 0) = W_{\chi}(\varepsilon, 0) = 0, \quad (2)$$

где $W_{\Gamma}(\varepsilon, \eta)$, $W_{\chi}(\varepsilon, \eta)$ – динамические составляющие натяжения в грузовой и холостой ветвях ленты конвейера соответственно, Н; $V_{\Gamma}(\varepsilon, \eta)$, $V_{\chi}(\varepsilon, \eta)$ – скорости точек грузовой и холостой ветвей ленты

конвейера соответственно, м/с; ε , η – соответственно безразмерные координаты и время; a – скорость распространения упругих возмущений в ленте, м/с; E – агрегатная жесткость ленты при ее растяжении, Н; ρ – эквивалентная погонная плотность ленты, кг/м ($\rho = E/a^2$).

Безразмерные координаты и безразмерное время определяются по формулам

$$\varepsilon = \frac{x}{L}; \quad \eta = \frac{at}{L},$$

где x – координата, направленная вдоль ленты в направлении головного барабана, с центром на оси хвостового барабана конвейера, м, (см. рис. 1); t – текущее время, с; L – длина контура ленты конвейера, м.

Динамические составляющие натяжения W_r , W_x определяются из выражений

$$W_r = S_r - \frac{1}{2}(q_r + q_l)L \sin \beta - S_0; \quad W_x = S_x - \frac{1}{2}q_l L \sin \beta - S_0,$$

где S_r , S_x – соответственно натяжение ленты на грузовой и холостой ветвях ленты при пуске, Н; S_0 – натяжение ленты от натяжной станции, Н; q_r – погонный вес груза, кг/м; q_l – погонный вес ленты, кг/м; β – угол наклона конвейера к горизонту, град.

Граничные условия на хвостовом и приводном барабанах зависят от типа натяжного устройства.

Для жесткого натяжного устройства (рис. 1) в силу условия неразрывности ленты имеем:

на хвостовом барабане при $\varepsilon = 0$

$$V_r(0, \eta) = -V_x(0, \eta), \quad W_r(0, \eta) = W_x(0, \eta); \quad (3)$$

на приводном барабане при $\varepsilon = 1/2$

$$V_r(1/2, \eta) = -V_x(1/2, \eta); \quad W_r(1/2, \eta) - W_x(1/2, \eta) = F(V_r) - G_1 - \frac{am}{L} \cdot \frac{dV_r}{d\eta}, \quad (4)$$

где $F(V_r)$ – пусковая характеристика привода в координатах F , V , Н (рис. 2); G_1 – сила сопротивления движению ленты и груза, включающая скатывающую силу от веса груза и ленты конвейера, Н; m – приведенная масса груза вращающихся частей привода ленточного конвейера, кг.

Сила сопротивления движению ленты и груза конвейера равна

$$G_1 = \frac{L}{2} [(q_{\Gamma} + q_{\text{л}} + q'_{\Gamma}) \omega_{\Gamma} \cos \beta + (q_{\text{л}} + q'_X) \omega_X \cos \beta + q_{\Gamma} \sin \beta],$$

где $\omega_{\Gamma}, \omega_X$ – коэффициенты сопротивления движению ленты и груза по роlikоопорам грузовой и холостой ветвей соответственно; $q'_{\Gamma}, q'_{\text{л}}$ – приведенный вес вращающихся частей роlikоопор грузовой и холостой ветвей соответственно, кГ/м.

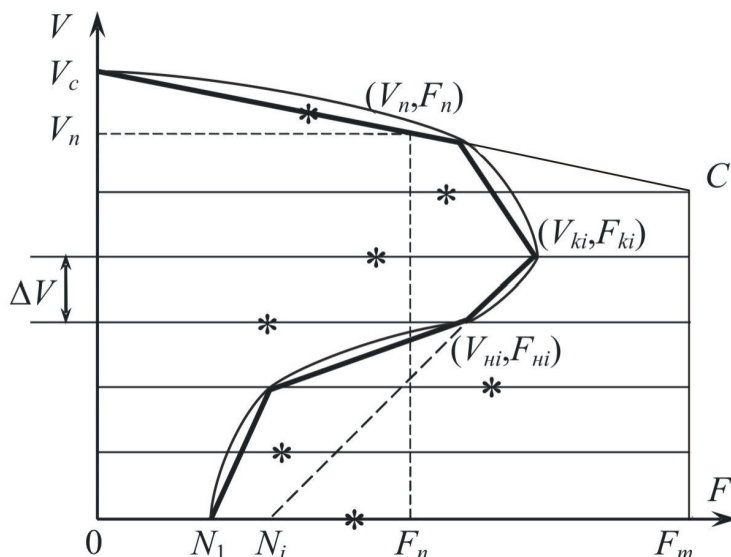


Рисунок 2 - Аппроксимированная пусковая характеристика двигателя конвейера

Функция $F(V_{\Gamma})$ в этой задаче управления пуском является управляющей функцией, ее графике представлен на рис. 2.

В соответствии с физическими процессами, происходящими в асинхронном электроприводе, на пусковую характеристику накладываются определенные ограничения.

Для заданного электродвигателя линейная скорость точек конвейерной ленты на барабане не должна превышать синхронной скорости V_c ($V_{\Gamma} < V_c$), а усилие на приводном барабане не должно превышать максимальное усилие электродвигателя F_m ($F < F_m$). Последний участок характеристики должен находиться на естественной характеристике электродвигателя, то есть проходить через синхронную скорость на оси OV и точку, соответствующую номинальной скорости V_n и номинальному усилию привода F_n . Это означает, что любая пусковая характеристика электродвигателя конвейера проходит внутри прямоугольной трапеции OV_cCF_m (см. рис. 2). Другими словами, управляющая функция $F(V_{\Gamma})$ должна находиться внутри прямоугольной трапеции OV_cCF_m .

Кроме того, для осуществления пуска ленточного конвейера необходимо, чтобы выполнялись следующие ограничения:

- на ускорение точек ленты при пуске конвейера:

$$\frac{dV}{dt} < a_{np}, \quad (5)$$

где $a_{np} = g(f \cos \beta - \sin \beta)$ – предельное значение ускорения ленты, при котором груз начинает скользить вдоль нее, м/с²; f – коэффициент трения груза о ленту; V – скорость ленты при пуске, м/с;

- на прочность конвейерной ленты:

$$kS_{max} < S_{np}, \quad (6)$$

где S_{max} – максимальное натяжение ленты, Н; S_{np} – предельная прочность ленты, Н; k – коэффициент запаса прочности конвейерной ленты;

- на непроскальзывание ленты на приводном барабане:

$$\frac{S_{нб}}{S_{сб}} < e^{\mu\alpha}, \quad (7)$$

где $S_{нб}, S_{сб}$ – соответственно натяжение ленты на приводном барабане в точке набегания и сбегания, Н; α – угол обхвата ленты на приводном барабане, град.; μ – коэффициент сцепления ленты с барабаном;

- на непровисание ленты конвейера:

$$S_{min} < S_0, \quad (8)$$

где S_0 – натяжение, при котором реализуется предельное провисание ленты, Н; S_{min} – минимальное натяжение ленты, Н.

За критерий эффективности в этой задаче принимаются:

- время пуска конвейера T_n , определяемое из условия

$$|V_{\Gamma}(T_n) - V_{\Gamma}| < \varepsilon, \quad (9)$$

где V_{Γ} – скорость ленты конвейера при стационарном движении, м/с; ε – малая положительная величина;

- коэффициент динамичности K_{∂} , определяемый по формуле

$$K_{\partial} = \frac{S_{max}}{S_{ст}}, \quad (10)$$

где $S_{ст}$ – натяжение ленты на приводном барабане при стационарном движении конвейера, Н.

Следовательно, задача оптимального управления пуском ленточного конвейера формулируется следующим образом.

Для заданного ленточного конвейера необходимо найти пусковую характеристику электродвигателя, т.е. управляющую функцию $F(V_r)$, при которой время пуска T_n и коэффициент динамичности K_d , определяемые по формулам (9), (10), были бы минимальны. При этом процесс пуска описывается системой уравнений (1) при начальных и граничных условиях (2), (3).

Кроме того, на управляющую функцию $F(V_r)$ накладываются ограничения, при которых она должна находиться внутри прямоугольной трапеции OV_cCF_m (см. рис.2), а на процесс пуска накладываются ограничения (5)-(8).

Поставленная задача оптимального управления пуском ленточного конвейера является двухкритериальной задачей оптимального управления системой с распределенными параметрами [5].

Для решения поставленной задачи пусковую характеристику электродвигателя аппроксимируем кусочно-линейным сплайном, который можно представить в виде (см. рис. 2):

$$F(V_r(\eta)) = \sum_{i=0}^n (N_i + q_i V_r(\eta)) \cdot [\sigma_0(\eta - \eta_i) - \sigma_0(\eta - \eta_{i+1})], \quad (11)$$

где N_i – координата пересечения i -го линейного участка аппроксимированной характеристики с осью OF , Н; q_i – тангенс угла наклона i -го линейного участка аппроксимированной характеристики к оси OF , кг/с; η_i – моменты перехода с одного линейного участка пусковой характеристики на другой; $\sigma_0(\eta)$ – единичная функция Хевисайда; n – количество линейных участков характеристики.

Параметры N_i , q_i определяются по координатам (V_{ni}, F_{ni}) начальной и координатам (V_{ki}, F_{ki}) конечной точек i -го линейного участка аппроксимированной характеристики электродвигателя согласно формул

$$q_i = \frac{F_{ki} - F_{ni}}{V_{ki} - V_{ni}}; \quad N_i = F_{ni} - q_i V_{ni}.$$

Затем, с помощью метода припасовывания [4,6] получена математическая модель динамического процесса пуска ленточного конвейера, сводящаяся к рекуррентным соотношениям и позволяющая по заданной аппроксимированной характеристике

электродвигателя определить скорость и динамические усилия в ленте на приводном барабане по ее значениям на предыдущих шагах времени. То есть на приводном барабане имеем:

при $\varepsilon = 1/2$

$$V_r(\eta_{j+1}) = \frac{L}{ma_c}(N_i - G_1)g_i(\Delta\eta) + V_r(\eta_j)\lambda_i(\Delta\eta) + \frac{2EL}{ma^2}g_i(\Delta\eta)(\Pi_1 + \Pi_2);$$

$$W_r(\eta_{j+1}) = \frac{E}{a} \sum_{k=0}^{r_2} (-1)^k [V_r(\eta_{j+1} - k) - V_r(\eta_{j+1} - k - 1)], \quad (12)$$

где $\Pi = 2 \sum_{k=0}^r (-1)^k V_r(\eta_j - k)$; $r = [\eta_j]$ – целая часть η_j ; $g_i(\Delta\eta) = \frac{1 - e^{-\alpha_i \Delta\eta}}{\alpha_i}$;

$$\lambda_i(\Delta\eta) = e^{-\alpha_i \Delta\eta}; \quad \alpha_i = \frac{2EL}{ma^2} - \frac{q_i L}{ma}; \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, n \cdot s.$$

Для определения оптимальной характеристики электродвигателя применялся метод зондирования области варьируемых параметров с помощью датчика случайных чисел. При этом варьируемыми параметрами являлись координаты начальных (V_{ni}, F_{ni}) и конечных (V_{ki}, F_{ki}) точек линейных участков характеристик двигателя.

При этом, область варьируемых параметров, т.е. прямоугольная трапеция OV_cCF_m в плоскости VF (см. рис. 2) разбивалась на m частей горизонтальными линиями, одинаково отстоящими друг от друга на расстоянии ΔV параллельно оси OF . С помощью датчика случайных чисел выбирались точки на горизонтальных отрезках, то есть начальный и конечный моменты на каждом i -том линейном участке аппроксимированной характеристики. Кроме того, с помощью датчика случайных чисел выбирается точка на последней естественной характеристике электропривода. На рис. 2 эти точки показаны «звездочками». Полученные точки соединялись отрезками прямой линии. В результате получались аппроксимированные характеристики двигателя, для которых по формулам (12) определялись скорость $V_r(t)$ и динамическое усилие $W_r(t)$ в ленте на приводном барабане в любой момент время пуска, а затем по формулам (9), (10) вычислялись критерии: время пуска T_n и коэффициент динамичности K_∂ .

Решение поставленной задачи сводится к определению множества Парето [5] из множества точек $(T_n; K_\partial)$, полученных при имитации различных вариантов пуска конвейера. Это множество

обладает тем свойством, что пуск по любой другой характеристике двигателя осуществляется дольше и с большей динамикой.

На рис. 3,а,б показаны оптимальные пусковые характеристики асинхронного электродвигателя ленточного конвейера, построенные с помощью разработанного алгоритма. Пусковые характеристики построены в системе координат $(S; \bar{M})$, где S – скольжение двигателя, $S = (V_c - V)/V_c$; $\bar{M}$ – момент двигателя, отнесенный к номинальному моменту и приведенный к радиусу приводного барабана конвейера, $\bar{M} = F/F_m$. При этом длина ленточного конвейера равнялась 840 м, скорость ленты при стационарном движении равнялась 3 м/с, а мощность асинхронного электродвигателя равнялась 800 кВт.

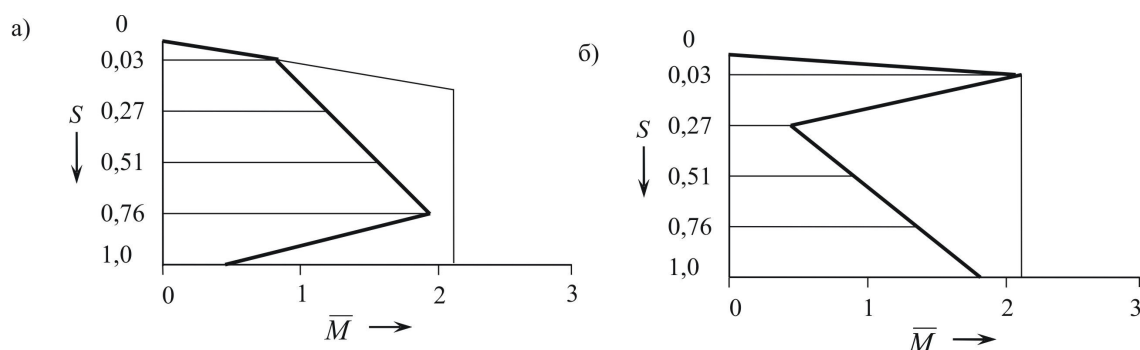


Рисунок 3 - Оптимальные пусковые характеристики двигателя конвейера

Оптимальные пусковые характеристики группируются вокруг двух характерных форм (см. рис. 3,а,б). Первая группа оптимальных характеристик (см. рис. 3,а) имеет начальный разгонный участок, на котором момент двигателя увеличивается с небольшого значения до максимальной величины, а затем постепенно снижается до минимального значения. Другими словами, в начале происходит предварительный разгон конвейера с малого значения момента электродвигателя. Во второй группе характеристик (см. рис. 3,б), в отличие от первой группы, предварительного разгона нет, разгонный участок появляется только в конце процесса пуска.

В начале пуска происходит резкое увеличение момента, а затем его снижение до небольшой величины. После этого происходит увеличение момента до максимального, а затем снижение его до номинального значения. Кроме того, для первой группы оптимальных характеристик коэффициент динамичности больше, а время пуска меньше по сравнению со второй группой оптимальных характеристик. Однако реализовать оптимальную характеристику

второй группы сложнее, чем первой. Поэтому для длинных конвейеров при пуске выбирается оптимальная характеристика из первой группы (см. рис. 3,а).

Исследования показали, что для конвейеров, длиной меньше 500м, существует лишь первая группа оптимальных пусковых характеристик (см. рис. 3,а). Это связано с различной волновой картиной, возникающей при пуске средних и длинных ленточных конвейеров.

Следовательно, поставлена и решена двухкритериальная задача оптимального управления пуском ленточного конвейера. На основании метода зондирования области варьируемых параметров с помощью датчика случайных чисел разработан алгоритм поиска оптимальных характеристик пуска ленточного конвейера. С помощью полученного алгоритма для мощных ленточных конвейеров были найдены две различные группы оптимальных пусковых характеристик электропривода. В первой группе оптимальных характеристик разгон конвейера происходит в начале процесса пуска, а во второй группе разгон конвейера происходит в конце процесса пуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иносов В.Л. Оптимальное управление пуском ленточного конвейера [Текст] / В.Л. Иносов, Ф.Н. Теплицкий // Изв. Горный журнал. - 1970. - №1. - С. 155-160.
2. Спиваковский А.О. Теория ленточных конвейеров [Текст] / А.О. Спиваковский, В.Г. Дмитриев. - М.: Наука, 1982. - 192 с.
3. Смирнов В.К. Исследование пуска наклонного конвейера с учетом механических характеристик двигателей [Текст] / В.К. Смирнов, И.А. Бужинский, В.П. Неня // Вопросы рудничного транспорта. - Киев: Наукова думка, 1974. - С. 69-85.
4. Кирия Р.В. Моделирование динамических процессов пуска ленточных конвейеров [Текст] // Вісник Дніпропетровського Університету: Механіка: Зб. наук. пр. / ДНУ. – Дніпропетровськ, 2007. - №11. – Т.2. – С.
5. Бутковский А.Г. Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами [Текст]. – М.: Наука, 1965. – 474 с.
6. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями [Текст] / И.И. Соболев, Е.А. Статников. - М.: Наука, 1981. – 110 с.

Получено 21.03.2008 г.

УДК 519.87

В.Я.Копп, Ю.Е. Обжерин, И.В. Ольшанская, М.В. Заморенов

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЯЧЕЙКИ С РАЗЛИЧНЫМИ ОБЕСЦЕНИВАЮЩИМИ ПРОСТОЯМИ

Современный этап развития машиностроения характеризуется широким применением в промышленности гибких производственных систем (ГПС), область использования которых распространилась на все типы производства – от индивидуального до крупносерийного и массового. С помощью ГПС решается такая задача в промышленности, как повышение производительности и надежности производства в целом. Гибкость производственной системы, в частности, характеризуется количественным составом обрабатываемых деталей или собираемых данной системой изделий, числом вариантов технологических процессов и скоростью переналадки на выпуск другого изделия. Важным фактором, определяющим эффективность функционирования гибких производственных систем (ГПС) являются возникающие в процессе их функционирования простои, причины которых разнообразны.

Учет специфики простоев ГПС, включая переналадки, является одним из основных моментов, позволяющих повысить производительность.

Резервы повышения производительности и надежности ГПС путем сокращения времени простоев оценивают с помощью баланса производительности, который учитывает все факторы ее определяющие.

В данной работе исследуется модель функционирования гибкой производственной ячейки (ГПЯ) [1] при условии, что в случае простоя ГПЯ обслуживание продукции прерывается, а после восстановления ее работоспособности оно начинается сначала, т.е. время, затраченное на обслуживание единицы продукции до момента простоя ГПЯ, обесценивается [2,3].

Необходимо определить функцию распределения (ФР) $F_{\theta}(t)$ случайной величины (СВ) θ - времени между двумя соседними моментами окончания обслуживания продукции с учетом простоев

ГПЯ, а также математическое ожидание, дисперсию указанной СВ θ и производительность ГПЯ.

Время обслуживания единицы продукции ГПЯ – СВ α_1 с ФР $F_1(t) = P\{\alpha_1 \leq t\}$. Время безотказной работы ГПЯ – СВ α_2 с ФР $F_2(t) = P\{\alpha_2 \leq t\}$. ГПЯ может простаивать в силу простоя i -го вида, $i = \overline{1, n}$ с вероятностью $p_i > 0$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Если ГПЯ простаивает вследствие простоя i -го вида, то время восстановления ГПЯ – СВ β_i с ФР $G_i(t) = P\{\beta_i \leq t\}$. СВ $\alpha_1, \alpha_2, \beta_i$ предполагаются независимыми, имеющими конечные математические ожидания и дисперсии; у ФР $F_1(t), F_2(t), G_i(t)$ существуют плотности $f_1(t), f_2(t), g_i(t)$. При простое ГПЯ обслуживание единицы продукции прерывается, после восстановления его работоспособности прерванное обслуживание единицы продукции начинается сначала.

Для описания функционирования системы S используем процесс марковского восстановления (ПМВ) $\{\xi_n, \theta_n; n \geq 0\}$ и соответствующий ему полумарковский процесс (ПМП) $\xi(t)$ с состояниями:

10х- ГПЯ работоспособна, началось обслуживание очередной единицы продукции; время, оставшееся до отказа ГПЯ, равно $x > 0$;

11х - мгновенное состояние, соответствующее моменту окончания обслуживания единицы продукции; время, оставшееся до простоя ГПЯ, равно $x \geq 0$;

20 - произошло восстановление работоспособности ГПЯ, прерванное обслуживание единицы продукции начинается сначала;

21i - наступил простой i -го вида $i = \overline{1, n}$, обслуживание единицы продукции прервано.

Фазовое пространство состояний E имеет вид:

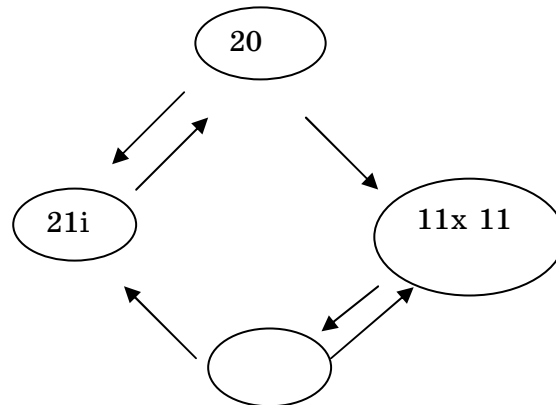
$$E = \{10x, 11x, 20, 21i\}.$$

Граф состояний функционирования ГПЯ - на рисунке 1

Определим полумарковское ядро $Q(t, x, B)$ ПМВ $\{\xi_n, \theta_n, n \geq 0\}$ в дифференциальной форме:

$$Q(t, 10x, 21i) = p_i \bar{F}_1(x) \cdot 1_x(t), \quad Q(t, 10, 11dy) = f_1(x-y) \cdot 1_{x-y}(t) dy, \quad 0 < y < x,$$

$$Q(t, 20, 11dy) = \int_0^t f_1(s) \cdot f_2(y+s) ds dy, \quad y > 0,$$



$$Q(t, 20x, 21i) = \int_0^t p_i f_2(s) \bar{F}_1(s) ds, \quad Q(t, 11x, 10x) = 1(t), \quad Q(t, 21i, 20) = G_i(t).$$

Рисунок 1 - Граф переходов системы

Представим множество всех состояний в виде:

$$E = E_+ \cup E_-, \quad E_+ = \{10x, 20, 21i\}, \quad E_- = \{11x\}.$$

Найдем распределение времени пребывания ПМП $\xi(t)$ в подмножестве состояний E_+ . Пусть τ_{10x} , τ_{20} , τ_{21i} - времена пребывания ПМП $\xi(t)$ в E_+ с начальными состояниями $10x$, 20 , $21i$ соответственно; $\Phi_1(x, t)$, $\Phi_2(x, t)$, $\Phi_{3i}(x, t)$ - их ФР.

Система уравнений марковского восстановления (2.10) Для функций $\bar{\Phi}_1(x, t) = 1 - \Phi_1(x, t)$, $\bar{\Phi}_2(x, t) = 1 - \Phi_2(x, t)$, $\bar{\Phi}_{3i}(x, t) = 1 - \Phi_{3i}(x, t)$ имеет вид:

$$\begin{cases} \bar{\Phi}_1(x, t) = \bar{F}_1(x) \sum_{i=1}^n p_i \bar{\Phi}_{3i}(t-x), t \geq x, \\ \bar{\Phi}_2(t) = \int_0^t \bar{F}_1(t-y) f_2(t-y) \sum_{i=1}^n p_i \bar{\Phi}_{3i}(y) dy + \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t), \\ \bar{\Phi}_{3i}(t) = \int_0^t p_i g_i(t-y) \bar{\Phi}_2(y) dy + p_i \bar{G}_i(t), i = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (1)$$

Подставляя $\bar{\Phi}_2(t)$ из второго уравнения системы (1) в третье, находим

$$\bar{\Phi}_{3i}(t) = \int_0^t g_i(t-y) p_i dy \left[\int_0^y \bar{F}_1(y-z) f_2(y-z) \bar{\Phi}_{3i}(z) dz + \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) \right] + p_i \bar{G}_i(t) =$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_0^t g_i(t-y) p_i dy \int_0^y \bar{F}_1(y-z) f_2(y-z) \bar{\Phi}_{3i}(z) dz + \int_0^t g_i(t-y) p_i dy \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) + p_i \bar{G}_i(t) = \\
 &= \int_0^t \bar{\Phi}_{3i}(z) dz \int_z^t g_i(t-y) p_i \bar{F}_1(y-z) f_2(y-z) dy + \int_0^t g_i(t-y) p_i \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) dy + p_i \bar{G}_i(t) = \\
 &= \left[\begin{array}{l} y-z=y' \\ y=y'+z \end{array} \right] = \int_0^t \bar{\Phi}_{3i}(z) dz \int_0^{t-z} g_i(t-y'-z) p_i \bar{F}_1(y') f_2(y') dy' + \\
 &\quad + \int_0^t g_i(t-y) p_i \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) dy + p_i \bar{G}_i(t)
 \end{aligned}$$

Введем функцию $\gamma_i(t) = \int_0^t p_i g_i(t-y) \bar{F}_1(y) f_2(y) dy$

Тогда получаем

$$\bar{\Phi}_{3i}(t) = \int_0^t \gamma_i(t-y) p_i \bar{\Phi}_{3i}(y) dy + \int_0^t p_i g_i(t-y) \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) dy + p_i \bar{G}_i(t), \quad (2)$$

Решение уравнения (2) можно найти методом последовательных приближений [4]

$$\begin{aligned}
 \bar{\Phi}_{3i}(t) &= p_i \bar{G}_i(t) + \int_0^t p_i g_i(t-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_2(s) ds + \int_0^t p_i h_\gamma(t-s) \bar{G}_i(s) ds + \\
 &\quad + \int_0^t h_\gamma(t-s) ds \int_0^s p_i g_i(s-y) \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) dy,
 \end{aligned}$$

где $h_\gamma(t) = \sum_{k=1}^{\infty} (\sum_{i=1}^n p_i g_i * (\bar{F}_1 f_2))^{*(k)}(t)$ - плотность функции

восстановления с несобственным распределением.

Из системы (1) найдем функции $\bar{\Phi}_2(t)$ и $\bar{\Phi}_1(x, t)$:

$$\begin{aligned}
 \bar{\Phi}_2(t) &= \int_0^t \bar{F}_1(t-y) f_2(t-y) \left[\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(y) + \int_0^y \sum_{i=1}^n p_i g_i(y-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_1(s) ds + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^y h_\gamma(y-s) \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(s) ds + \int_0^y h_\gamma(y-s) ds \int_0^s \bar{F}_1(z) \bar{F}_2(z) \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-z) dz \right] dy + \bar{F}_1(t) \bar{F}_2(t), \\
 \bar{\Phi}_1(x, t) &= \bar{F}_1(t) \left[\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t-x) + \int_0^{t-x} \sum_{i=1}^n p_i g_i(t-x-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_1(s) ds + \right. \\
 &\quad \left. + \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s) ds \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(s) ds + \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s) ds \int_0^s \bar{F}_1(y) \bar{F}_2(y) \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-y) dy \right], \\
 &\quad t \geq x, \quad \bar{\Phi}_1(x, t) = \bar{F}_1(t), \quad 0 < t < x.
 \end{aligned} \quad (3)$$

Чтобы найти ФР $F_\theta(t)$ СВ θ - времени цикла обслуживания ГПЯ единицы продукции вне зависимости от непрерывной компоненты начального состояния 10х, воспользуемся формулой усреднения [5]

$$\bar{F}_\theta(t) = \frac{\int_{E_-}^{E_+} \rho(dx) \int \bar{F}_y(t) P(x, dy)}{\int_{E_-} P(x, E_+) \rho(dx)}, \quad (4)$$

где $\rho(dx)$ - стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$, $P(x, dy)$ - вероятности переходов ВЦМ, $F_y(t)$ - ФР времени пребывания в состоянии y .

Для этого предварительно найдем плотности стационарного распределения ВЦМ $\{\xi_n; n \geq 0\}$. Значения стационарного распределения на состояниях 20 и 21i равны, обозначим их ρ_0 , а через $\rho_{11}(x)$, $\rho_{10}(x)$ обозначим стационарные плотности для состояний 11х и 10х.

Опишем вероятности переходов ВЦМ:

$$\begin{aligned} P_{10x}^{11y} &= f_1(x-y), \quad 0 < y < x; \quad P_{10x}^{21i} = \bar{F}_1(x); \quad P_{11x}^{10x} = 1; \\ P_{20}^{11y} &= \int_0^\infty f_2(y+t) f_1(t) dt, \quad y > 0; \quad P_{20}^{21i} = \int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt; \quad P_{21i}^{20} = 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Система интегральных уравнений для стационарных плотностей имеет вид:

$$\begin{cases} \rho_{10}(x) = \rho_{11}(x) = \int_0^\infty f_1(y-x) \rho_{10}(y) dy + \rho_0 \int_0^\infty f_2(x+t) f_1(t) dt, \\ \rho_0 = \rho_0 \int_0^\infty \bar{F}_1(t) f_2(t) dt + \int_0^\infty \bar{F}_1(x) \rho_{10}(x) dx, \\ 2\rho_0 + \int_0^\infty (\rho_{11}(x) + \rho_{10}(x)) dx = 1. \end{cases} \quad (6)$$

Найдем решение системы (6). Введем оператор

$$[A_{f_1} \phi](x) = \int_x^\infty f_1(y-x) \phi(y) dy.$$

Тогда первое уравнение системы (6) запишется в виде:

$$\rho_{10}(x) = [A_{f_1} \rho_{10}](x) + \rho_0 \int_0^\infty f_2(x+t) f_1(t) dt$$

Или $[(I - A_{f_1}) \rho_{10}](x) = \psi(x)$, следовательно,

$$\rho_{10}(x) = (I - A_{f_1})^{-1} \psi = \psi(x) + \sum_{n=1}^{\infty} A_{f_1}^{(n)} \psi(x)$$

Найдем n -ю степень оператора A_{f_1}

$$\begin{aligned} [A_{f_1}^2 \phi](x) &= \int_x^{\infty} f_1(y-x) dy \int_n^{\infty} f_1(z-y) \phi(z) dz = \int_x^{\infty} \phi(z) dz \int_0^{z-x} f_1(y-x) f_1(z-y) dy = \\ &= \left[\begin{matrix} y-x=y' \\ y=x+y' \end{matrix} \right] = \int_x^{\infty} \phi(z) dz \int_0^{z-x} f_1(y') f_1(z-x-y') dy' = \int_x^{\infty} f_1^{*(2)}(z-x) \phi(z) dz. \end{aligned}$$

Аналогично $[A_{f_1}^{*(n)} \phi](x) = \int_x^{\infty} f_1^{*(n)}(y-x) \phi(y) dy$

Поэтому $\rho_{10}(x) = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_1^{*(n)}(y-x) dy \int_0^{\infty} f_2(y+t) f_1(t) dt =$

$$\begin{aligned} &= [y+t=t'] = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_1^{*(n)}(y-x) dy \int_y^{\infty} f_2(t') f_1(t'-y) dt' = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_2(t) dt \int_x^t f_1(y-x) f_1(t-y) dy = \left[\begin{matrix} y-x=y' \\ y=x+y' \end{matrix} \right] = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_2(t) dt \int_0^{t-x} f_1^{*(n)}(y') f_1(t-x-y') dy = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_x^{\infty} f_2(t) dt f_1^{*(n+1)}(t-x) = \left[\begin{matrix} t-x=t' \\ t=t'+x \end{matrix} \right] = \\ &= \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) f_1(t) dt + \rho_0 \sum_{n=1}^{\infty} \int_0^{\infty} f_1^{*(n+1)}(t) f_2(t+x) dt = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+t) h(t) dt \end{aligned}$$

Таким образом решением первого уравнения системы (6) является функция

$$\rho_{10}(x) = \rho_{11}(x) = \rho_0 \int_0^{\infty} f_2(x+y) h_1(y) dy, \quad (7)$$

где $h_1(t) = \sum_{k=1}^{\infty} f_1^{*(k)}(t)$ – плотность функции восстановления процесса

с временем восстановления α_1 . Постоянная ρ_0 находится из условия нормировки.

Вычислим знаменатель в формуле (4).

$$\int_{E_-} P(x, E_+) \rho(dx) = \rho_0 \int_0^\infty dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \rho_0 \int_0^\infty H_1(x) f_2(x) dx.$$

Определим числитель формулы (4) $\int_{E_-} \rho(dx) \int_{E_+} \bar{F}_y(t) P(x, dy),$

$$\begin{aligned} \int_{E_-} \rho(dx) \int_{E_+} \bar{F}_y(t) P(x, dy) &= \rho_0 \int_0^\infty dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy \bar{\phi}_1(x, t) = \\ &= \rho_0 \int_0^\infty \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \rho_0 \int_0^t \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy + \\ &+ \rho_0 \int_t^\infty \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy \end{aligned}$$

Рассмотрим второе слагаемое

$$\begin{aligned} \int_t^\infty \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy &= \bar{F}_1(t) \rho_0 \int_t^\infty dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \\ &= \bar{F}_1(t) \int_0^\infty h_1(y) dy \int_t^\infty f_2(x+y) dx = [x+y=x'] = \\ &= \bar{F}_1(t) \int_0^\infty h_1(y) dy \int_{t+y}^\infty f_2(x') dx' = \bar{F}_1(t) \int_0^\infty \bar{F}_2(t+y) h_1(y) dy. \end{aligned}$$

Рассмотрим первое слагаемое

$$\begin{aligned} \int_0^t \bar{\phi}_1(x, t) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy &= \int_0^t \left[\bar{F}_1(x) \left[\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t-x) + \right. \right. \\ &+ \left. \int_0^{t-x} \sum_{i=1}^n p_i g_i(t-x-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_2(s) ds + \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s) \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_2(s) ds + \right. \\ &+ \left. \left. \int_0^{t-x} h_\gamma(t-x-s) ds \int_0^s \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-z) \bar{F}_1(z) \bar{F}_2(z) dz \right] \right] dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy = \\ &= \int_0^t \psi(t-x) \bar{F}_1(x) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} \psi(t) &= \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t-x) + \left(\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2 \right)(t) + [h_\gamma + \left(\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i + \sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2 \right)](t), \\ \left(\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2 \right)(t) &= \int_0^t \sum_{i=1}^n p_i g_i(t-s) \bar{F}_1(s) \bar{F}_2(s) ds \end{aligned}$$

$$[h_\gamma + (\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i + \sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)](t) = [h_\gamma * \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i](t) + h_\gamma * (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)](t),$$

$$[h_\gamma * \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i](t) = \int_0^t h_\gamma(t-s) \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(s) ds,$$

$$[h_\gamma * (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)](t) = \int_0^t h_\gamma(t-s) ds \int_0^s \sum_{i=1}^n p_i g_i(s-z) \bar{F}_1(z) \bar{F}_2(z) dz.$$

Таким образом, усредненная функция распределения $\bar{F}_\theta(t)$ имеет следующий вид:

$$\bar{F}_\theta(t) = \frac{1}{c} (\bar{F}_1(t) \int_0^\infty \bar{F}_2(t+y) h_1(y) dy + \int_0^t \psi(t-x) \bar{F}_1(x) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy), \quad (8)$$

где

$$\psi(t) = \sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t) + (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)(t) + [h_\gamma * (\sum_{i=1}^n p_i \bar{G}_i(t) + (\sum_{i=1}^n p_i g_i * \bar{F}_1 \bar{F}_2)(t))], \quad (9)$$

$$c = \int_0^\infty f_2(x) H_1(x) dx, \quad H_1(x) = \sum_{k=1}^\infty F_1^{*(k)}(x).$$

Используя формулу (8), определим математическое ожидание СВ θ :

$$\begin{aligned} M\theta &= \int_0^\infty \bar{F}_\theta(t) dt = \frac{1}{c} \left(\int_0^\infty \bar{F}_2(s) ds \int_0^s h_1(s-t) \bar{F}_1(t) dt + \right. \\ &+ \int_0^\infty \psi(t) dt \int_0^\infty \bar{F}_1(x) dx \int_0^\infty f_2(x+y) h_1(y) dy \Big) = \frac{1}{c} \left(\int_0^\infty \bar{F}_2(s) \bar{F}_1(s) ds + \right. \\ &+ \int_0^\infty \psi(t) dt P(\alpha_1 < \alpha_2) \Big) = \frac{1}{c} (M\alpha_2 - M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + \\ &+ P(\alpha_1 < \alpha_2) (\sum_{i=1}^n p_i M\beta_i + M(\alpha_1 \wedge \alpha_2)) + \int_0^\infty h_\gamma(t) dt (\sum_{i=1}^n p_i M\beta_i + M(\alpha_1 \wedge \alpha_2))). \end{aligned}$$

Учитывая, что

$$\int_0^\infty h_\gamma(t) dt = \sum_{k=1}^\infty \int_0^\infty \gamma^{*(k)}(t) dt = \sum_{k=1}^\infty \left(\int_0^\infty \gamma(t) dt \right)^k = \sum_{k=1}^\infty [P(\alpha_1 > \alpha_2)]^k = \frac{P(\alpha_1 > \alpha_2)}{P(\alpha_1 < \alpha_2)},$$

Получаем

$$M\theta = \frac{1}{c}(M\alpha_2 - M(\alpha_1 \wedge \alpha_2) + (\sum_{i=1}^n p_i M\beta_i + M(\alpha_1 \wedge \alpha_2))P(\alpha_1 < \alpha_2) \times \\ \times (1 + \frac{P(\alpha_1 > \alpha_2)}{P(\alpha_1 < \alpha_2)})) = \frac{1}{c}(M\alpha_2 + \sum_{i=1}^n p_i M\beta_i)$$

Таким образом, производительность ГПЯ с различными видами простоев в случае, когда не учитывается время прерванного обслуживания, равна:

$$\Pi_{ГПЯ} = \frac{\int_0^{\infty} H_1(x) f_2(x) dx}{M\alpha_2 + \sum_{i=1}^n p_i M\beta_i}.$$

Полученные результаты позволяют проводить анализ влияния различных видов простоев на производительность ГПЯ. Данную методику планируется перенести на многокомпонентную систему.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Песчанский А.И. Моделирование автоматизированных линий/ Монография.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2006.-240с.
2. Копп В.Я. Анализ производительности технологической ячейки с учетом ее надежности/ Копп В.Я., Обжерин Ю.Е. , Песчанский А.И.// Кибернетика и системный анализ.-2001.-№5.-с.17-24.
3. Математическая модель функционирования сборочной ячейки при обесценивающих отказах./ Ю.Е. Обжерин, В.Я. Копп, А.И. Песчанский // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. Тр.-Севастополь, 2000.-№3.-С.24-32.
4. Михлин С.Г. Интегральные уравнения и их приложения к некоторым проблемам механики, математической физики и техники/ С.Г. Михлин.-М.:Гостехиздат,1949.-380с.
5. Разработка САПР: в 10 кн. Кн.9, Имитационное моделирование/ А.В. Петров, И.М. Черненький и др./ Под ред. А.В. Петрова.- М.: Высш. шк., 1990.- 110с.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 621.771.05

А.А. Пушкин, А.В. Тимошенко

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПРОКАТНЫХ СТАНОВ С ЦЕЛЬЮ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Введение. Металлургия является ведущей отраслью промышленности Украины, а, следовательно, производительность данной отрасли и качество продукции в значительной степени определяют состояние и темпы развития экономики нашего государства.

Постановка проблемы. Надежность прокатных станов во многом определяется значительными динамическими нагрузками колебательного характера, которые возникают из-за наличия упругих звеньев [1]. Подавление упругих колебаний, возникающих в электроприводах при пуске и ударных нагрузках, существенно увеличит срок службы передаточных устройств, вызовет снижение динамических нагрузок, что приведет к уменьшению потребления энергии на бесполезные колебательные движения, а также уменьшит тепловые нагрузки на двигатель и управляемый преобразователь.

Анализ публикаций. Наиболее распространенными способами гашения упругих колебаний являются: 1) технологический, который осуществляется за счет управления технологическим процессом [2]; 2) конструктивный, основанный на выборе необходимых конструктивных параметров электромеханической системы в процессе проектирования приводов; 3) использование дополнительных демпфирующих устройств; 4) электротехнический [3-4]. Наиболее перспективным и рациональным способом демпфирования упругих колебаний является электротехнический, поскольку он сравнительно просто реализуется, легко может использоваться для любой электромеханической системы и не требует никаких дополнительных затрат. Принцип подчиненного регулирования – один из самых распространенных принципов, используемых при построении систем автоматического управления.[5]

Цель работы. Исследование главного привода рабочей клетки прокатного стана «200», реализованного на принципе подчиненного

регулирования, структурная схема которого приведена на рисунке 1, и расчет параметров данной системы, необходимых для минимизации колебательности в системе. Параметры системы, полученные из каталожных данных, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры главного привода прокатного стана «200»

№	Наименование параметров	Ед.изм.	Знач.
Электродвигатель			
1	Номинальная мощность двигателя, P_n	кВт	85
2	Номинальное напряжение двигателя, U_n	В	220
3	Номинальный ток якоря двигателя, I_n	А	440
4	Номинальная частота вращения двигателя, n_n	об/мин	540
5	Момент инерции двигателя, J_1	кг·м ²	8,25
6	Электромагнитная постоянная времени, T_ω	с	0,084
Тиристорный преобразователь			
1	Номинальный ток преобразователя, $I_{дн}$	А	500
2	Номин. напряжение преобразователя, $U_{дн}$	В	460
Система автоматического регулирования			
1	Нек. постоянная времени контура тока, $T_{\mu i}$	с	0,005
2	Напряжение питания элементов САР, $U_{пит}$	В	12

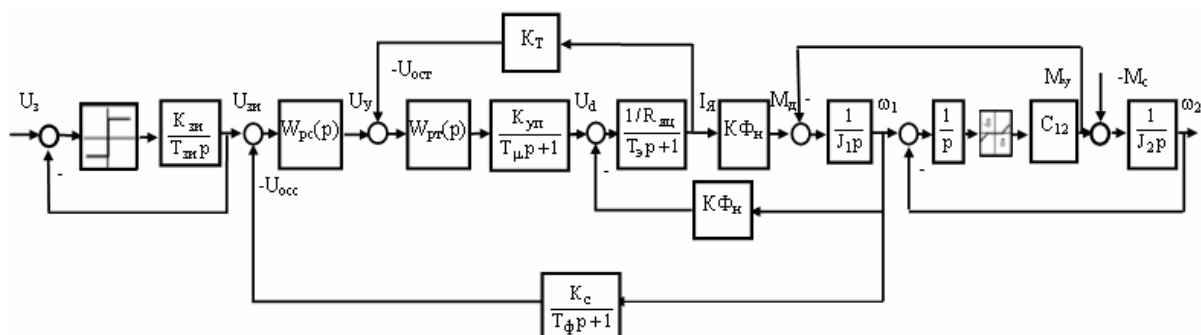


Рисунок 1 – Структурная схема главного привода прокатного стана

В структурной схеме приняты следующие обозначения: ω_1 – скорость двигателя; ω_2 – скорость механизма; U_3 – напряжения задания; I_a – ток якоря двигателя; M_d – момент развиваемый на валу двигателя; M_c – момент сопротивления на валу двигателя; M_y – момент упругих колебаний; T_ω – электромагнитная постоянная времени; K_c – коэффициент обратной связи по скорости; K_T – коэффициент обратной связи по току; K_{yn} – коэффициент передачи преобразователя;

Выполнив преобразование структурной схемы, получаем передаточные функции. Демпфирующие свойства электропривода определяются характеристическим уравнением, которое имеет вид:

$$Q(p) = \frac{T_c T_T}{\Pi_{12}^2} p^4 + \frac{T_c}{\Pi_{12}^2} p^3 + \frac{\Gamma + T_c T_T \Pi_{12}^2}{\Pi_{12}^2} p^2 + T_c p + 1 = 0 \quad (1)$$

Для выявления закономерностей электромеханического демпфирования более удобно пользоваться нормированием характеристического уравнения по обобщенным показателям (2), что дает возможность определить наилучшие параметры ЭМС [5]:

$$Q(p) = K_B T_y^4 p^4 + 2\sqrt{K_B} o_d T_y^3 p^3 + (\Gamma + K_B) T_y^2 p^2 + 2\sqrt{K_B} o_d T_y p + 1 \quad (2)$$

$$K_B^* = 1, o_d^* = \sqrt{\Gamma - 1} \quad (3)$$

где K_B^* , ξ_d^* – оптимальные коэффициенты электромеханического взаимодействия и демпфирования соответственно;

Перейдем от обобщенных показателей к параметрам эл-привода:

$$T_T^* = \sqrt{K_B^*} \frac{T_y}{2o_d^*} = \frac{1}{2\sqrt{\Gamma - 1}\Pi_{12}} \quad (4)$$

$$T_c^* = 2\sqrt{K_B^*} o_d^* T_y = \frac{2\sqrt{\Gamma - 1}}{\Pi_{12}} \quad (5)$$

По виду полученных соотношений можно сделать важные выводы о свойствах ЭМС: при выполнении условий (4), (5) достигается предельное значение демпфирования упругих колебаний в полной ЭМС, улучшается качество переходных процессов; достижение необходимых значений постоянных времени (4), (5) возможно за счет соответствующего выбора выпрямителей, фильтров, аналоговых элементов, датчиков на этапе проектирования СПР, а также подбором коэффициентов передачи регуляторов тока и скорости.

Для анализа результатов исследования первостепенное значение имеют следующие показатели качества ЭМС: а) Логарифмический декремент затухания λ , который является прямой оценкой колебательности ЭМС, он определяется из соотношения: $\lambda = 2\pi|\alpha/\beta|$; б) Степень устойчивости электромеханической системы η , которая характеризует расстояние от мнимой оси до ближайшего корня характеристического уравнения: $\eta = |\alpha|$; в) Колебательность переходного процесса μ , характеризует быстроту затухания амплитуды колебаний за каждый период, определяется величиной: $\mu = |\beta/\alpha|$; г) Перерегулирование σ , максимальное отклонение регулируемой величины: $\sigma = e^{-\pi/\mu}$; д) Длительность переходного процесса: $t_{np} = 1/\eta \cdot \ln(1/\Delta)$; е) Статическое падение скорости: $\Delta\omega_c = (\omega_0 - \omega_H)100\% / \omega_0$

ж) Динамическое падение скорости: $\Delta\omega_d$; з) Коэффициент динамичности: $K_d = M_{y_{max}} / M_{y_{ном}}$.

Составим математическую модель главного привода прокатного стана «200», реализованную в среде SIMULINK (Рис. 3.). На её основе определим показатели качества ЭМС до и после усовершенствования, сравним их с требованиями, предъявляемыми технологическим процессом. Графики переходных процессов по основным координатам после оптимизации приведены на рисунке 3. С использованием пакета прикладных программ Mathcad определим корни характеристического уравнения (1), которые дают возможность установить значения показателей колебательности ЭМС главного привода прокатного стана «200». Полученные результаты сведем в таблицу 2.

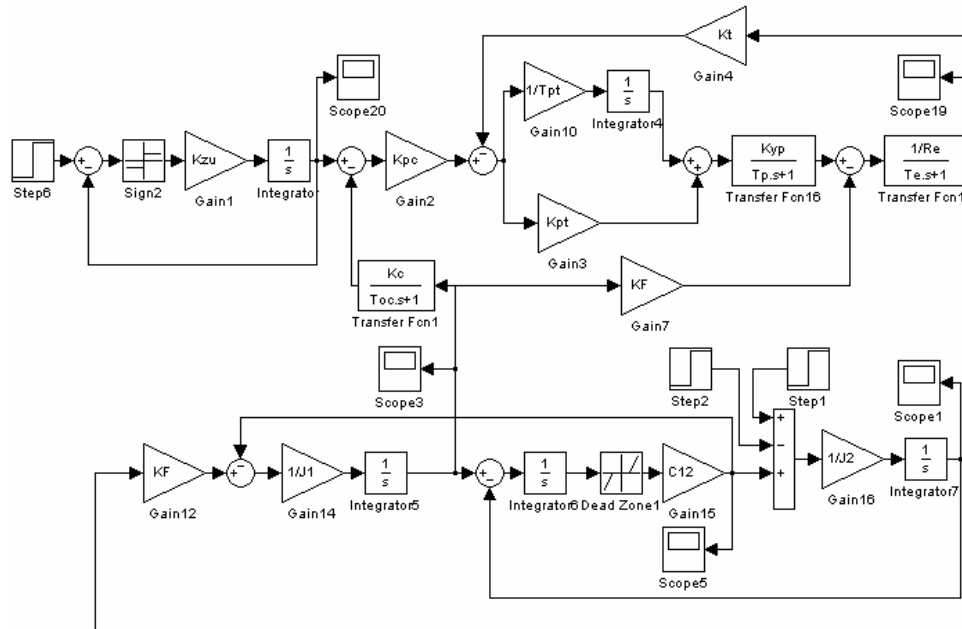


Рисунок 2 – Математическая модель главного привода прокатного стана

Таблица 2

Динамические показатели качества работы главного привода
прокатного стана «200»

Показатели качества	λ	η	μ	σ , %	$t_{пр}$, с	$\Delta\omega_{с2}$, %	$\Delta\omega_{д2}$, %	K_d
Требуемые	3,1	19,1	2	34	0,3	4	8	1,5
Реальные	1,8	11,4	3,49	40,7	0,34	1.92	5,25	1,8
Оптимизируемые	4.1	34,4	1,53	12,8	0,11	2,5	6,1	1.2

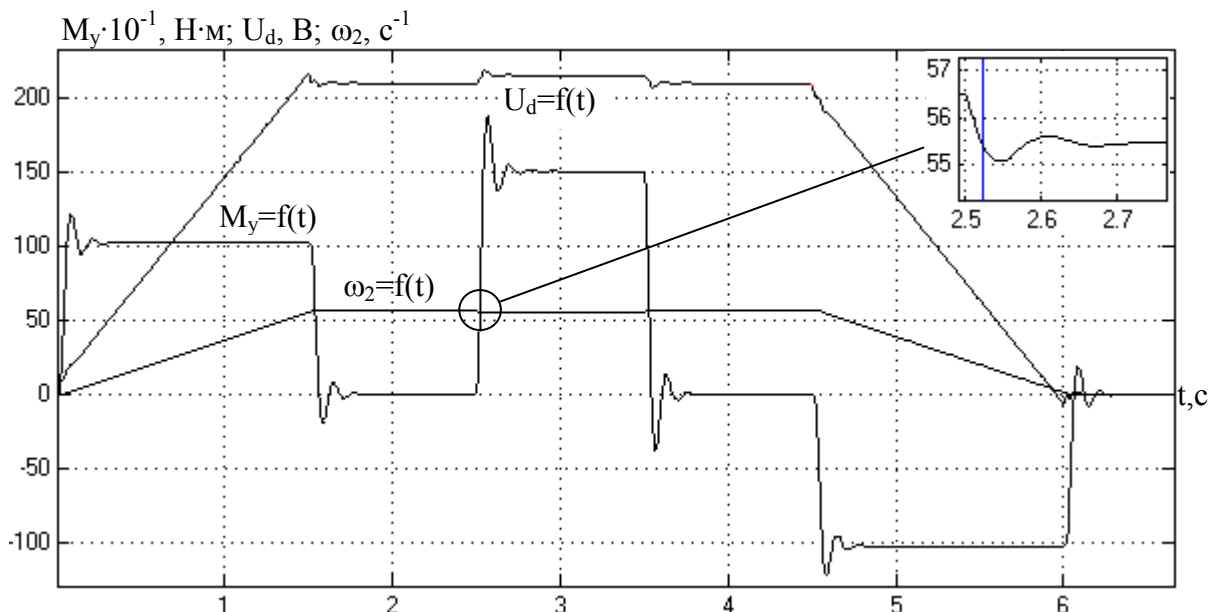


Рисунок 3 – Графики переходных процессов $M_y=f(t)$, $\omega_2=f(t)$, $U_d=f(t)$, в главном приводе реверсивного прокатного стана 105/260x250

Из таблицы 2 видно, что многие реальные показатели качества работы главного привода прокатного стана до усовершенствования не удовлетворяют требованиям, предъявляемым технологическим процессом, соответственно в результате усовершенствования СПР – удовлетворяют.

Выводы. Предложена методика определения параметров системы подчиненного регулирования главного привода прокатного стана с целью достижения максимального демпфирования упругих колебаний. На основе математической модели подтверждены результаты исследований. Данный способ может быть использован для электроприводов с целью энергосбережения и выполнения требований технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. – М: Высшая школа, 1977 – 392 с.
2. Смирнов В. В. Механика привода прокатных станов/ В. В. Смирнов, Р. А. Яковлев. – М.: Металлургия, 1977. – 216 с.
3. Пушкин А. А. Исследование влияния параметров системы автоматического управления на демпфирование упругих колебаний в электроприводе. – Сборник научных трудов Днепропетровского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»/ Днепропетровск: ДГТУ, 2007 – С.573 – 574.

4. Тимошенко А. В. Исследование чувствительности передаточных функций упругой электромеханической системы. – Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривод. Теория и практика»/Днепродзержинск: ДГТУ, 2007 – С.185-186.
5. Пушкин А.А. Определение путей достижения минимума колебательности в электроприводе с упругими связями. – Электротехника и электромеханика: материалы Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых с международным участием. – Николаев: НУК, 2007 – С.77 – 82.

Получено 20.03.2008 г.

ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 539.4

С.В. Белодеденко

РЕСУРСНАЯ МЕХАНИКА – НАПРАВЛЕНИЕ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА МАШИН И ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Современное проектирование механических систем осуществляется машинным способом. Широко используются три-четыре системы автоматизированного проектирования (CAD), имеющие принципиальные различия. Для расчетов механизмов и их деталей в арсенале конструктора есть широкий круг средств компьютерного моделирования. Это относится в первую очередь к созданию образцов деталей, которые могут быть собраны в механизмы, а они – приведены в движение. Появляется возможность подробно исследовать кинематику механизма, получить статические и динамические нагрузки. В результате подбирается конфигурация механизма, максимально отвечающая задаваемому закону движения рабочего органа и минимизирующая паразитные нагрузки.

Для технологического оборудования традиционно сложившаяся структура расчетов предполагает первоочередное обоснование функционирования механической системы, после чего выполняются расчеты, обеспечивающие ее надежность. Причем в этой области преобладают расчеты проверочного характера. В качестве проектировочных выступают расчеты в статической постановке по запасам прочности. От этого оборудование выходит тяжелым и габаритным. Автоматизация проектирования позволяет рассчитывать напряженно-деформированное состояние, практически, каждой нестандартной детали, а увеличение количества обоснованных таким путем элементов в конструкции снижает ее материалоемкость. Это объясняется уточнением действующих расчетных напряжений, которое дает уменьшение массы единицы конструкции на 8-10% [1]. Если учесть, что при «ручных» проектах рассчитывается не более

трети деталей, то только машинное проектирование без изменения его концепции позволяет на 6-8% снизить массу машины.

Сложившаяся структура расчетов плохо восприимчива к возможностям современного инженерного инструментария из числа информационных технологий. Для создания качественных машин следует сместить акцент от проверочных расчетов к оптимизационно-поисковым. Целью данной работы является построение методологии проектирования и использования механических систем технологического оборудования, минимизирующей расходы на их создание и эксплуатацию при требуемом уровне надежности и безопасности. Такие задачи могут решаться методами ресурсной механики – направления машиноведения, изучающего влияние повреждающих процессов на долговечность.

Сущность ресурсной механики

Долгие годы обеспечение надежности технологических машин при проектировании было опосредствовано через оценку напряженно-деформированного состояния элементов конструкций и обоснование их запасов прочности $n\sigma$. Регламентировано минимальное значение этой величины – несколько большее единицы. По максимуму величина $n\sigma$ не ограничена. Фактически она устанавливается из конструктивной целесообразности, чтобы соблюсти требуемые параметры механизмов. Невзирая на произвольно сформированные таким подходом многократные запасы прочности, оборудование не застраховано от внезапных разрушений.

Привлечение в инженерную практику вероятностных методов расширило трактовку запасов прочности. Понимание того, что при $n\sigma=1$ разрушение произойдет в 50% случаев, снизило степень консерватизма при проектировании, но, естественно, не повысило безопасность. Вероятностная трактовка запаса прочности, несмотря на ее результативность по сравнению с детерминированной оценкой, не дает возможности судить об ожидаемом числе разрушений [2], и значит, не дает возможности нормировать величину $n\sigma$.

В этом аспекте более продуктивен такой показатель, как вероятность безотказной работы (ВБР) или безопасность R . Обычно они трактуются, как вероятность того, что несущая способность (прочность) конструкции σ превышает действующую на нее нагрузку

S , то есть – вероятность события $\sigma - S > 0$. Подобная интерпретация безусловно справедлива для отказов внезапного типа, но распространение ее на постепенные отказы (усталость, износ) некорректно, поскольку здесь векторы σ и S перестают быть независимыми.

Этих недостатков лишен ресурсный подход, при котором ВБР устанавливается при сравнении пары наработка n_s - долговечность n_o [3]. Необходимость создания экономного по материало- и энергоемкости оборудования, переход к системе его обслуживания по фактическому техническому состоянию, вынужденное стремление обезопасить выработавшие амортизационный срок конструкции, которые невозможно заменить, заставили обратиться к более ясным для потребителя показателям ресурсного происхождения. Изучение физической природы надежности материалов и конструкций привело к появлению новых уравнений предельного состояния. Процессы развития повреждений различного типа и природы могут быть объединены в рамках ресурсной механики, которая характеризуется такими принципами.

Проектирование на заданный ресурс, когда размеры сечений устанавливаются по долговечности, а не проверяются по запасам прочности.

При эксплуатации поддержание безопасности осуществляется по концепции поэтапного назначения ресурса.

При этом ВБР оценивается на основании ресурсного подхода.

Таким образом, ресурсная механика машин изучает ресурсные свойства, как механических систем в целом, так и ее элементов в отдельности [4].

В отличие от аппарата запаса прочности, ресурсная механика эффективно воспринимает новые возможности по углублению расчетов, открывающиеся с появлением современных пакетов автоматизированного проектирования. Иходя из концепции поэтапного назначения ресурса, методология его оценки должна обладать свойством уточнения прогноза. То есть параметры рассеяния итоговой функции распределения долговечностей должны быть чувствительны не только к изменению средних исходных показателей эксплуатационного процесса и сопротивляемости механической

системы, но и к вариации этих показателей, меняющейся после наработки.

Идея реализации машин посредством ресурсной механики состоит в том, что объекты проектируются на гарантированно назначенный ресурс, а в процессе эксплуатации, благодаря идентификации моделей старения (выявление детерминированной компоненты в априорно стохастических свойствах эксплуатационного процесса и механической системы), происходит переоценка технического состояния, устанавливается более точный (с меньшим рассеянием) исходный ресурс, а далее определяется последовательность остаточных ресурсов. Это дает возможность спроектировать материалоекономное изделие с требуемым уровнем надежности, а на стадии эксплуатации – обеспечить безопасность при наиболее полном исчерпании ресурса (рис.1).

Приемы ресурсной механики в аспекте информационных технологий

Осуществление концепции ресурсной механики требует изменения содержания этапов проектирования. Остановимся на некоторых особенностях, связанных с информационными технологиями. В частности, об использовании программ анализа напряженно-деформированного состояния по МКЭ. Они обладают большими возможностями. Пользователи этими программными продуктами могут решать задачи, которые раньше являлись предметом исследований научных коллективов. Наглядность и всесторонность представления результатов убеждают в их достоверности. Однако, необходимо иметь в виду, что указанные программы чувствительны к подготовительным процедурам вычислений и результаты могут разниться на сотни процентов. В ответственных ситуациях расчетчик должен убедиться в приемлимости результатов и доказать это заказчику, произведя сопоставительный расчет иными методами. Такой поверочный расчет может быть сделан для одной расчетной схемы.

Пример ответственного подхода к использованию средств CAD связан с Институтом подвижного состава (Россия), где осваивается программа *Fatigue*, предназначенная для расчета долговечности при циклическом нагружении [5]. Процесс освоения заключается не столько в изучении правил работы с программой, а в

экспериментальной проверке результатов и объяснении обнаруженных расхождений.

Одним из условий оптимально-поискового проектирования является выполнение многовариантных расчетов, охватывающих весь диапазон возможных рабочих ситуаций, в том числе и аварийных, когда возникают перегрузки. Результаты многовариантных расчетов объединяются в факторные модели, которые позволяют отсеять второстепенные причины, выявить значимые факторы и установить оптимальные параметры системы.

Многовариантные расчеты позволяют на стадии проектирования сформировать режим нагружения элементов конструкций с учетом эксплуатационной и конструкционной нестационарности процесса. Обычно общая нагруженность машины задается в виде частотного спектра, что требует значительного объема экспериментальных данных. При этом реально в таком режиме конструкция не работает и прогнозирование долговечности получается с недостаточными для целей ресурсной механики достоверностью и точностью. Итоговые спектры являются результатом суперпозиции эргодичности процессов, наблюдаемых при одном технологическом режиме обработки продукции конкретного типоразмера. Целесообразно в таком виде и представлять общую нагруженность, где вариация ступеней регламентируется эксплуатационными свойствами сопротивляемости рабочего вещества обработке (рис. 1, а). Еще более точный прогноз дает переход к нагруженности деталей в виде двухступенчатых блоков, учитывающих историю нагружения (последовательность напряжений основного процесса σ_ϕ и выбросов-перегрузок σ_n) и ее конструкционную нестационарность (рис. 1, б). Последняя также устанавливается при помощи многовариантных расчетов. В результате мониторинга эксплуатационного процесса уменьшаются коэффициенты вариации чисел циклов фактической наработки n_L и возможной долговечности n_o (рис. 1, в).

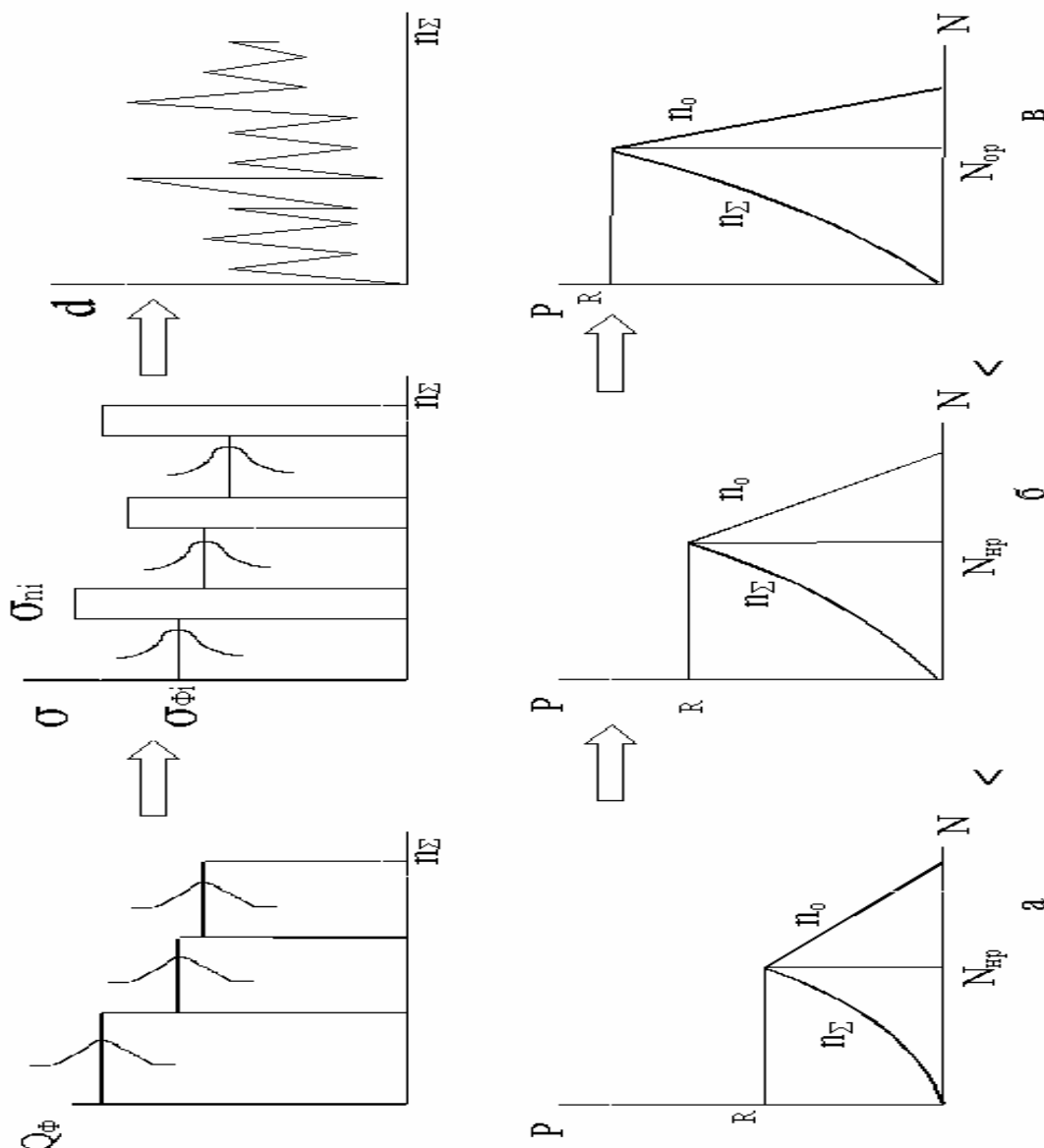


Рисунок 1 - Укрупненная схема реализации концепции поэтапного установления назначенного N_{nr} (а), исходного N_{ur} (б), и остаточного N_{or} ресурса для вероятности P , ведущей к росту безопасности R , определяемой при сравнении функции распределения числа циклов наработки n_{Σ} и долговечности n_o , путем замены спектра общей нагруженности Q_{ϕ} (а) многорежимным макроблоком напряжений σ_{ϕ} и σ_n (б), который трансформируется в процесс накопления повреждений d .

Вследствие многофакторности процесса усталости, довольно сложно по заданным нагрузкам и сроку службы установить размеры, форму и материал детали. Решить аналитически задачу проектирования на заданный ресурс возможно для простых деталей, работающих в стационарном режиме нагружения. Проще выполнить данный этап посредством предварительного построения для типовых конструктивных элементов (галтель, резьба, проушина) эксплуатационно-конструкционных диаграмм долговечности (ЭКДД).

Это есть график зависимости основного размера конструктивного элемента A от гарантированной долговечности n_0 для действующей формы блока нагружения (рис. 2, I). Блок имеет повреждающую характеристику y , для которой величина A играет роль масштаба (рис. 2, II). Возможность существования и применения ЭКДД обусловлена различной интенсивностью накопления повреждений для зон с различным уровнем концентрации напряжений K . благодаря наличию в ЭКДД зависимости $K(n_0)$ при параметре A_i удобно проектировать элементы конст-

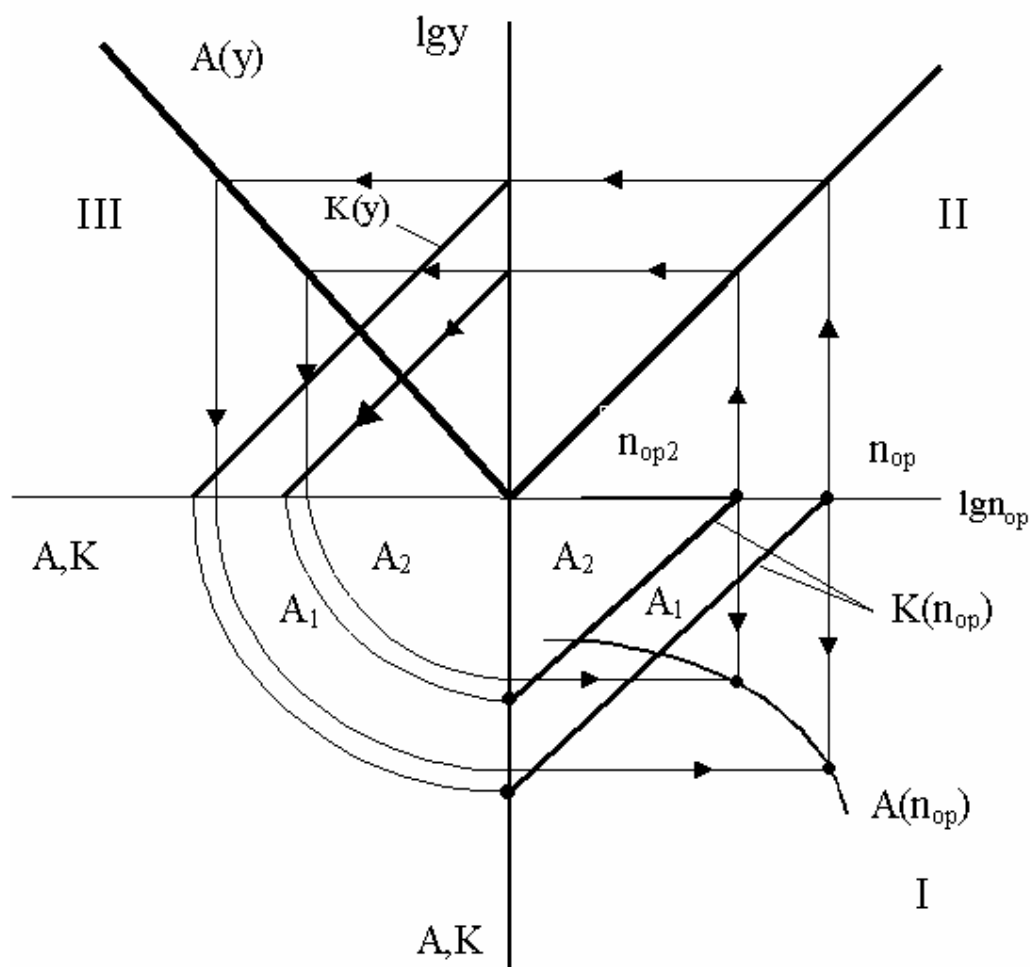


Рисунок 2 - Принцип образования эксплуатационно-конструкционных диаграмм долговечности n_0 для надежности $P(I)$ при помощи повреждающей характеристики процесса y (II) применительно к циклическому нагружению деталей, имеющих коэффициент снижения сопротивления усталости K и размер сечения $A(I)$.

рукций по критерию равнодолговечности, что повышает коэффициент использования металла при эксплуатации. Наличие подобных диаграмм повышает информативность конструктора и избавляет его от проведения нетипичных расчетов. Проблема

разработки ЭКДД связана, главным образом, не с отсутствием экспериментальных данных, а с большим массивом вычислений.

Заключение

Для решения указанных проблем на кафедре машин и агрегатов металлургического производства НМетАУ разработаны программы поиска функций распределения долговечностей для блоков с перегрузками на основе метода статического моделирования; нахождения гарантированной долговечности зубчатых передач; нахождения гамма-процентного ресурса подшипников качения; выбора конструктивных параметров опорных роликов металлургических агрегатов. Применение приемов оптимизационно-поискового проектирования, наличие многовариантного расчета обязательно для дипломных проектов студентов-механиков с 1996 года, когда на кафедре начали обучать системам автоматизированного проектирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков Б. Н., Кремянский В. Я. Унификация деталей машин. – М.:Изд-во стандартов. 1989. – 229 с.
2. Смит С. Вероятностные критерии проектирования цилиндров и сфер, нагруженных термическими напряжениями //Конструирование и технология машиностроения. –1984. - №4. – с. 39-45.
3. Мониторинг состояния технологического оборудования и ресурсные подходы к диагностическим моделям /С. В. Беледеденко, В. Ю. Богдан, Е. И. Хребто, А. В. Ларионцев//Металлург. и грнорудн. пром-ть. 2007. - №6. – с.
4. Альгин В. Б. Ресурсная механика как основа прогнозирования и обеспечения износо-усталостной надежности машин //Трибофатика: Тр. 4 междунар. симпозиума. – Тернополь, 2002. – с. 55-60.
5. Бунин Б. Б., Шашкова Е. В. Особенности применения современного программного обеспечения для расчета долговечности деталей машин//Деформация и разрушение материалов: Сб. статей I междунар. конф. – Москва, 2006 – с. 598-600.

Получено 21.03.2008 г.

УДК 622.015.002.5

С.В. Белодеденко, В.И.Гануш, А.С.Иваница

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОИСК ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЕЙ И ФАКТОРНАЯ МОДЕЛЬ СРОКА СЛУЖБЫ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Актуальной проблемой современного машиностроения, является разработка методов оценки долговечности с учетом вероятностных свойств механической системы на основе формирования нагруженности элементов привода, где отражены стохастические свойства рабочего процесса. В основе методов лежит статистическая информация о технологических параметрах работы оборудования, устоявшихся в конкретных условиях его эксплуатации.

На настоящем этапе развития производства практический интерес представляет задача мониторинга технического состояния механического оборудования. Для этого необходимо отслеживать параметры технического состояния. В качестве таких параметров можно использовать наработки механической системы по времени и по объему производства. Поэтому целью данной работы является составление алгоритма определения гарантированной долговечности для зубчатых передач и его реализация в виде программы с целью автоматизации проектных расчетов, а также с целью планирования обслуживания по техническому состоянию. Моделирование, проектирование и эксплуатация механического оборудования не возможны без использования компьютерных технологий и программного обеспечения. В данной работе используются электронные таблицы Excel, которые позволяют персоналу определить сроки службы зубчатых передач при различных условиях эксплуатации.

В качестве показателей надежности используется функция распределения долговечности, представляющая связь числа оборотов зубчатого колеса (шестерни) с вероятностью разрушения зубьев. Если перейти от чисел оборотов к календарному времени (часы, годы) или к объему выполненной работы, то определится гамма-процентный ресурс, по которому оценивается гарантированный срок службы.

Новизной метода является учет эксплуатационной и конструкционной нестационарности нагружения.

Основными видами поверхностного разрушения зубьев передачи являются усталостное, абразивное, адгезионное, коррозионно-механическое, при заедании. Механизм, характер, скорость изнашивания зубчатых колес зависит от контактных напряжений, температуры, свойств конструкционных и смазочных материалов. Некоторые виды поверхностного разрушения (заедание) приводят к интенсивному износу и быстрому выходу из строя зубчатой передачи. К основным видам отказов относят также излом зуба у основания, вследствие циклических напряжений изгиба, а также контактная усталость активной поверхности зубьев.

Алгоритм нахождения ФРД и сроков службы зубчатых колес

Стохастические свойства нагрузки в алгоритме отражены посредством коэффициента вариации внешнего фактора $V_{уэ}$, а сопротивление усталости зубчатых колес передачи, соответственно коэффициентом вариации внутреннего фактора $V_{aH(F)}$.

1. Найти напряжения ступени для 6 ступеней блока.

$$\sigma_{H(F)_i} = f(M_i) \quad (1)$$

2. Для каждой ступени $\sigma_{H(F)_i}$ по кривой усталости находится

величина элементарного повреждения $d_{HF_i}^{-1} = N_{H(F)_i}$:

$$N_{H(F)_i} = 10^{m \cdot (\lg \sigma_R - \lg \sigma_{H(F)_i}) + \lg N_G} \quad (2)$$

где, $\lg N_G$ - предел неограниченной долговечности ($\lg N_G = 7$ - для σ_H ; $\lg N_G = 6,6$ - для σ_F);

σ_R - предел выносливости.

Если $\sigma_{HF(i)} > 0,8\sigma_{R_{H(F)}}$, то:

$m_F = 9$ - изгиб циклический;

$m_H = 6$ - контактная усталость.

При $\sigma_{FH(i)} < 0,8 \cdot \sigma_{R_{H(F)}}$, то

$m_F = 40$ - изгиб циклический;

$m_H = 150$ - контактная усталость;

$$d_i = 0$$

3. Определяется медианная итоговая долговечность

$$n_o = \frac{a}{\sum_i c_i \cdot d_i} = \frac{a}{\sum_i (c_i / N_i)} \quad (3)$$

Величина a выбирается, исходя из формы блока, которым схематизирован рабочий процесс.

4. Определяется эксплуатационные составляющие среднеквадратического отклонения ступеней напряжения блока

$$CKO_{N_i} = \frac{1}{2} \cdot V_{M_i} \cdot \sigma_{H_i}; \quad (4)$$

$$CKO_{F_i} = V_{M_i} \cdot \sigma_{F_i}.$$

5. Определяем среднеквадратические отклонения элементарных повреждений

$$CKO_{dF_i} = m_F \cdot V_{M_i} \cdot 0,75 \cdot (N_{F_i}^{-1});$$

$$CKO_{dH_i} = \frac{1}{2} \cdot m_H \cdot V_{M_i} \cdot (N_{H_i}^{-1}). \quad (5)$$

Для $\sigma_{F(H)_i} < 0,8 \cdot \sigma_{R_{F(H)}}$ этот расчет не выполнять.

6. Определяем коэффициент вариации внешнего эксплуатационного фактора

$$V_{yэ} = \frac{\sqrt{\sum c_i^2 \cdot CKO_{dH(F)_i}^2}}{\sum c_i \cdot d_i} = \sqrt{\sum c_i^2 \cdot CKO_{dH(F)_i}^2} \cdot a \cdot n_o. \quad (6)$$

7. Определяем коэффициент вариации внутреннего фактора

$$V_{aH(F)} = 2,3 \cdot S_{lg RH(F)}, \quad (7)$$

$$S_{lg RH} = 0,24;$$

где, $S_{lg RF} = 0,13$, СКО ресурса при контактной усталости и циклическом изгибе.

т.е. в данном случае $V_{aH} = 0,552$, $V_{aF} = 0,3$.

8. Находим СКО итогового логарифма долговечности

$$S_{lg n_o} = \frac{\sqrt{V_{aH(F)}^2 + V_{yэ}^2 + V_{H(F)}^2}}{2,3}. \quad (8)$$

9. Находим медианный логарифм итоговой долговечности

$$\overline{\lg n_o} = (\lg \overline{n_o} - 1,15 \cdot S_{\lg n_o}^2) \quad (9)$$

10. Находим коэффициент вариации логнормального распределения долговечности:

$$V = \frac{S_{\lg n_o}}{\overline{\lg n_o}}. \quad (10)$$

11. Находим ФРД в виде

$$\lg n_{op} = \overline{\lg n_o} \cdot (1 + U_p \cdot V), \quad (11)$$

где, U_p - квантиль нормального распределения.

12. Определяем долговечность в оборотах зубчатого колеса при $U_p = 0$ и $U_p = -2$.

$$\overline{N} = 10^{\overline{\lg n_o}} \text{ и } N_\Gamma = 10^{\lg n_{op}}. \quad (12)$$

13. Получаем гарантированный и средний срок службы:

- в часах:

$$\overline{T} = \frac{\overline{N}}{60 \cdot n} \text{ и } T_\Gamma = \frac{N_\Gamma}{60 \cdot n}, \quad (13)$$

где, n - средняя частота вращения колеса в $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$,

- в годах:

$$\overline{T'} = \frac{\overline{T}}{P} \text{ и } T'_\Gamma = \frac{T_\Gamma}{P}, \quad (14)$$

где, $P = 1000 \frac{\text{час}}{\text{год}}$ - годовая загрузка ротора в часах,

- в объеме переработанной рыхлой породы

$$\overline{V} = \overline{T} \cdot \overline{Q}, \quad V_\Gamma = T_\Gamma \cdot \overline{Q}, \quad \text{м}^3 \quad (15)$$

Если $\overline{Q} = 3582 \frac{\text{м}^3}{\text{час}}$ - часовая производительность (по полученному

спектру),

или

$$\overline{V'} = \overline{T'} \cdot \overline{Q'}, \quad V'_\Gamma = T'_\Gamma \cdot \overline{Q'}, \quad \text{млн.м}^3 \quad (16)$$

$$\overline{Q'} = 3,5 \frac{\text{млн.м}^3}{\text{год}}$$

Если - годовая производительность (по зарегистрированной производительности).

Факторная модель

Использование компьютерных программ позволяет производить многовариантные расчеты, которые вытекают из принципов оптимизационно-поискового проектирования. Результаты расчетов объединяются факторными моделями, по которым удобно принимать решения, как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации. В качестве примера рассмотрен расчет зубчатых передач тяжелых редукторов роторного колеса экскаватора, для которого предварительно по экспериментальным исследованиям был сформирован режим общей нагруженности привода.

Модель составляется для зубчатых передач редукторов привода роторного колеса экскаватора. Роторное колесо с ковшами закреплено в середине вала, приводимого во вращение двумя одинаковыми редукторами, расположенными на противоположных его концах. Четырехступенчатые редуктора имеют такие особенности:

1. На 3 ступени поток мощности разделяется на три и тихоходное колесо вращается от трех сателлитных шестерен;
2. Тихоходным валом редуктора является вал роторного колеса, соединенный шлицами со ступицей тихоходного колеса;
3. Тихоходное колесо состоит из четырех «подрессоренных» зубчатых венцов шириной по 100 мм;

Наиболее напряженными, как по контакту, так и по изгибу являются зубья шестерен 4 ступени. Они имеют значительные запасы прочности при проектных условиях работы. Но неравномерность загрузки приводов ведет к тому, что правый редуктор работает при нагрузках выше расчетных.

Наиболее низкие по механическим свойствам стали, которые используются в редукторостроении ($\sigma_{RH} = 770 \text{ МПа}$; $\sigma_{RF} = 600 \text{ МПа}$), не обеспечивают достаточной долговечности передачи. По модели можно определить необходимый уровень характеристик сопротивления усталости для среднего срока службы $T = 21000$ час.

Расчет выполнен для (рис. 1):

$$\sigma_{RF} = 600 \text{ МПа}; 700 \text{ МПа}; 800 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_{RH} = 770 \text{ МПа}; 830 \text{ МПа}; 900 \text{ МПа}.$$

Для получения модели срока службы зубчатых колес в программе, реализующей алгоритм, выполненной в среде

электронных таблиц Excel, были проведены расчеты для четырех ступеней левого и правого редукторов привода ротора экскаватора при трех режимах нагружения. Таким образом, было проведено 24 расчета.

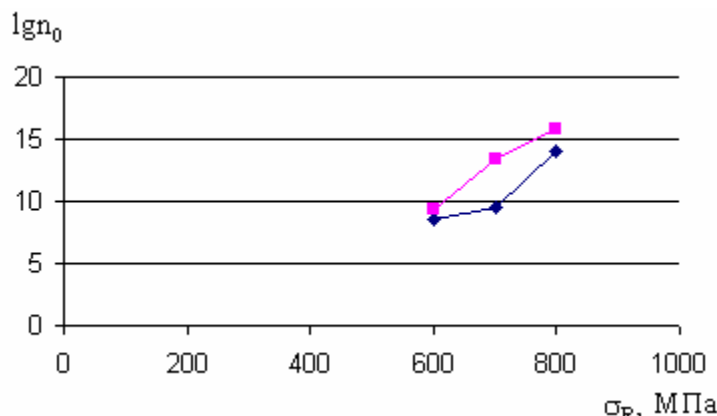


Рисунок 1 - График зависимости долговечности зубчатого колеса и шестерни от предела выносливости стали

Таблица 1

Срок службы шестерен 4 ступени

$\sigma_{RH}(F)$	Правый редуктор				Левый редуктор			
	I режим			II режим	I режим			II режим
	T, час	T _г , час	V, млн. м ³	T _г , час	T, час	T _г , час	V, млн. м ³	T _г , час
σ_{RH} :								
770	8700	2580	30	4530	63000	17400	221	118000
830	16000	4610	56	9150	н/о	27300	348	н/о
900	26000	7500	91	34200	н/о	52600	1291	н/о
σ_{RF} :								
600	2700	451	9	8180	н/о	12100	405	н/о
700	11000	1640	38	н/о	н/о	27200	2174	н/о
800	40000	4170	140	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о

н/о – неограниченный срок службы по усталости

В качестве результатов расчета предлагается долговечность n_0 в числе оборотов, а такие сроки службы T в часах и T' годах работы или в кубометрах (V), в миллионах кубометров (V') переработанной рыхлой породы. Даны их средние (медианные) значения и гарантированные (с индексом г).

Модели для среднего срока службы в часах:

для контактной усталости

$$\lg T_H = 4,4 + 0,35 \cdot X_{1H} - 0,21 \cdot X_2 - 0,11 \cdot X_{1H} \cdot X_2 + 0,053 \cdot X_1^2, \quad (17)$$

для циклического изгиба

$$\lg T_F = 5,4 + 1,43 \cdot X_{1F} - 1,71 \cdot X_2 - 1,25 \cdot X_{1F} \cdot X_2 + 0,57 \cdot X_2^2. \quad (18)$$

$$X_{1H} = \frac{\sigma_{RH} - 835}{65}; X_{1F} = \frac{\sigma_{RF} - 700}{100}; X_2 = \frac{V_M - 0,35}{0,15}.$$

где,

Из моделей видно, что уровень свойств по сопротивлению контактной усталости слабо влияет на долговечность, в то время, как предел выносливости по изгибу играет решающую роль в обеспечении надежности передачи. Фактор широты спектра, оцениваемый величиной V_M , также более значим при отказах по усталости зуба. Однако, уровень среднего момента – наиболее существенный фактор внешнего воздействия при любых видах отказов. Это видно по разнице сроков службы зубчатых передач левого и правого редукторов, средний момент которых разнится на 40%.

По моделям (17), (18) характеристики сопротивления усталости приняты равными $\sigma_{RH} = 890 \text{ МПа}$; $\sigma_{RF} = 755 \text{ МПа}$. По этим величинам может быть выбран материал, который обеспечит заданный срок службы.

Заключение

В данной работе на основе созданной методики проанализированы отказы зубчатых колёс приводного редуктора по основным процессам постепенных отказов – циклического изгиба и контактной усталости. Найдены области, где срок службы лимитируется контактными, а где изгибными напряжениями. Расчет приведен для 3-х режимов нагружения.

Предложенный алгоритм позволяет определять долговечности и сроки службы зубчатых колес. Его реализация в среде электронных таблиц Excel дает возможность автоматизировать расчет и выполнить его для различных вариаций нагружения и свойств материала, из которого изготавливается зубчатое колесо, что позволяет выбрать материал с необходимыми характеристиками для достижения требуемой долговечности и срока службы колеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белодеденко С. В. Оценка безопасной долговечности элементов конструкций при проектировании и эксплуатации технологического оборудования // Завод. Лаб. Диагностика материалов. – 2005. - №6. – с. 40-46.

Получено 17.03.2008 г.

УДК 621.774.21:621.791.7

В.У. Григоренко С.В. Пилипенко

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Проблема. Стани холодної прокатки труб в більшій мірі використовуються при виробництві труб з підвищеними вимогами до їх якості. Розрахунок і раціоналізація процесів обробки металів тиском на станах холодної пільгерної валкової прокатки труб пов'язані з обробкою великої кількості інформації.

Аналіз досліджень. На теперішній час до 70% проектних та конструкторських робіт проводиться з використанням тої чи іншої комп'ютерної системи [1] і ця тенденція зростає. При цьому важливим являється не тільки сам факт обробки цифрових параметрів процесу або його моделювання, а і зручність комп'ютерної системи, наглядність видачі результатів обробки даних які потребують аналізу.

Одним з шляхів удосконалення процесу холодної пільгерної прокатки труб є широке використання математичного моделювання з допомогою комп'ютерної техніки. Основою моделі [2, 3, 4] є аналітичні залежності, що визначають геометричні, деформаційні, силові параметри та параметри миттєвого осередку деформації [5]. Відомі методи розрахунку параметрів процесу основані на первинному розподілі товщини стінки по довжині робочого конусу, після того вираховуються всі інші параметри.

Авторами цієї статті було розроблено новий метод розрахунку параметрів процесу ХПТ при первинному врахуванні поширення металу [4,6].

Виділення невирішеного. Усі відомі комп'ютерні реалізації методів розрахунку параметрів процесу ХПТ дозволяють розрахувати значення параметрів процесу значно полегшують його аналіз. Поява таких графічних редакторів, як «T-FLEX CAD», «AutoCad», «Компас» та ін., з вбудованими математичними редакторами, дозволяють реалізувати результати розрахунків в готові креслення калібровок інструменту у відповідному масштабі.

Ціль роботи. В даній роботі поставлена задача створити систему автоматизованого розрахунку і проєктування параметрів процесу ХПТ з можливістю автоматичного викреслювання калібровок інструменту (розгортка калібру, креслення оправки, калібру а також графіків результатів розрахунків більшості параметрів процесу).

Необхідно реалізувати розроблений математичний опис процесу ХПТ з первинним урахуванням поширення металу в мережі САПР «T-FLEX CAD».

Викладення основного матеріалу. Логічна схема роботи програми вказана на рисунку 1.

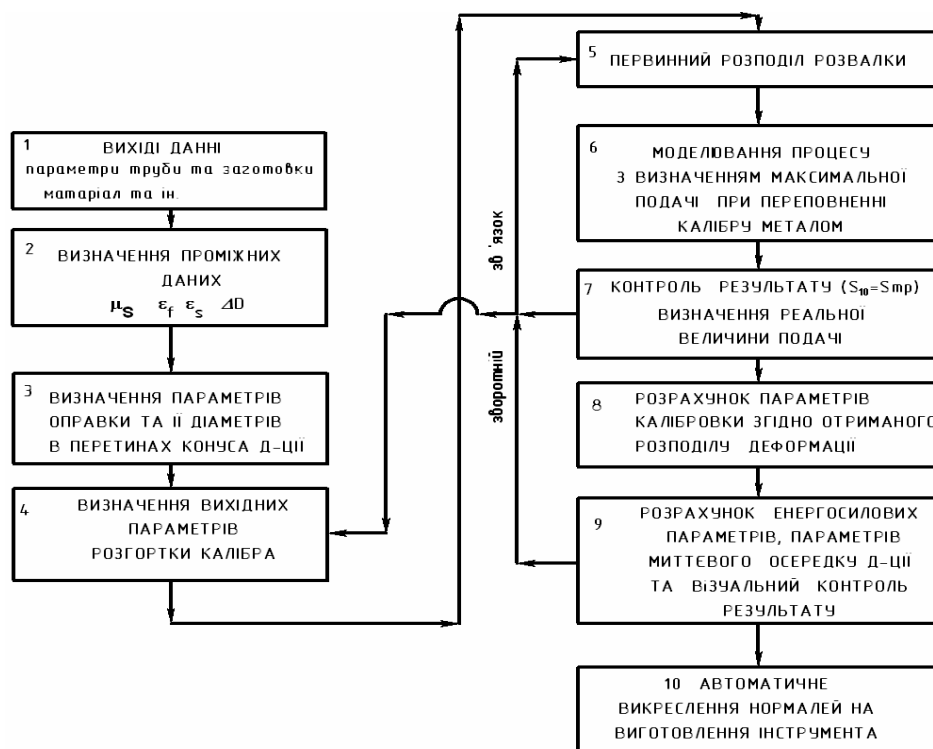


Рисунок 1 - Логічна схема роботи програми «ХПТ – розвалка»

Працює вона за наступним шляхом: введення вхідних даних (параметри труби та заготовки); визначення проміжних даних (витягнення, відносне обтиснення по площі поперечного перетину та стінці, загальне редукування та ін.); визначення параметрів оправки; задання величини розвалки та її розподіл по довжині робочого конуса в залежності від матеріалу труби [4, 6]; проведення моделювання процесу для забезпечення необхідної величини поперечного плину металу та з метою визначення максимальної величини подачі; визначення параметрів калібровки; розрахунок та візуальний

контроль силових параметрів та параметрів миттєвого осередку деформації вздовж конуса деформації.

В даному випадку більш доцільно використовувати систему автоматичного проектування (САПР) з вбудованим потужним математичним редактором. Однією з таких програм являється САПР «T-FLEX CAD».

САПР «T-FLEX CAD», - Є системою автоматизованого проектування. Вона здатна реалізувати проекти будь-якої складності всіма сучасними методами проектування. Зрозумілий інтерфейс цієї програми поєднується з інтуїтивно зрозумілими прийомами роботи з нею. Програма дозволяє перерахувати по введеним даним необхідні параметри і перекреслити готові до реалізації креслення згідно розрахунків.

Першим кроком реалізації було переведення математичного опису в редактор змінних «T-FLEX CAD», який мало чим відрізняється від таблиць «EXEL». Таким чином було створено ряд змінних необхідних для створення параметричного креслення (тобто креслення яке змінюється в залежності від перерахованих параметрів). Після реалізації параметричних креслень, для зручності користування було створено інтерфейс введення початкових даних (рис. 2). Результати розрахунків програми виводяться в вигляді готових креслень та таблиць калібрування (рис.3-4).

Калибровка**ДИАМЕТРЫ**53 D_8 -- диаметр заготовки28 D_7 -- диаметр трубы**ТОЩИНЫ СТЕНК**

3.5

2

 S_8 -- стенка заготовки S_7 -- стенка трубы

4

зазор между заготовкой и оправкой

ПРОЧЕ

0.15

зазор между калибрами

5718

Длина конусной части оправки

0

минусовый допуск

100

Длина калибровочного участка

ОПРАВКА

28

диаметр болта

40

длина болта

640

Общая длина оправки

ПОЛУДИСК

364

диаметр полудиска

140

ширина полудиска

55

глубина болта

45

резьба

76.2

ширина паза под клин

13

глубина паза под клин

30

диаметр болта

Рисунок 2 - Загальний вигляд інтерфейсу роботи з програмою (ХПТ -55 маршрут 53х3,5-28х2)

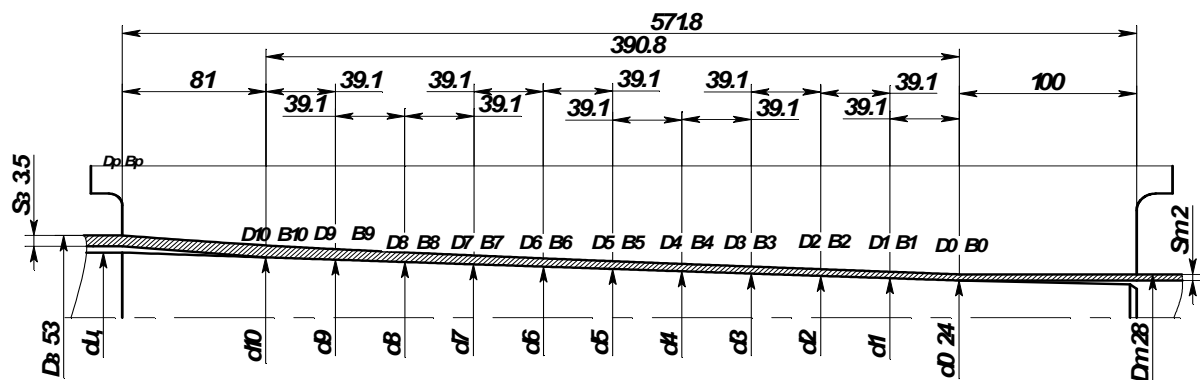


Рисунок 3 - Загальний вигляд параметричного креслення розгортки калібру з результатами розрахунків (ХПТ -55 маршрут 53х3,5-28х2):

$d_1 - d_{10}$ – значення діаметрів оправки в контрольних перетинах;
 $D_1 - D_{10}$ – значення діаметрів калібру в контрольних перетинах; $B_1 - B_{10}$ – значення ширини калібру в контрольних перетинах; $S_{т(з)}$ та $D_{т(з)}$ – значення діаметру та товщини стінки труби (заготовки) відповідно

Значення силових параметрів видаються в вигляді зручних для аналізу графіків.

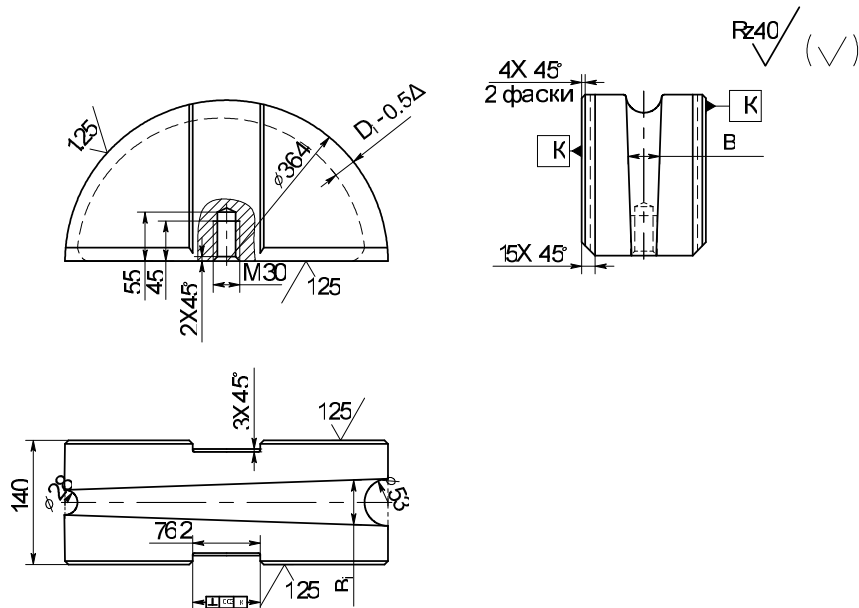


Рисунок 4 - Загальний вигляд параметричного креслення калібру – напівдиску з результатами розрахунків (ХПТ -55 маршрут 53х3,5-28х2).

Крім вказаних на рисунках креслень програма викреслює креслення оправки стану ХПТ, видає таблицю калібровки інструменту, розраховує графіки зміни значення моменту прокатки, осьових зусиль, обтиснень стінки в миттєвому осередку деформації.

Таким чином створена реалізація методу розрахунку параметрів процесу ХПТ з первинним врахуванням поширення металу в мережі «T-FLEX CAD» дозволяє автоматизувати не тільки розрахунок параметрів процесу а і автоматизувати викреслювання створених на його основі калібровок та нормалей на інструмент.

Висновки. САПР ХПТ «T-FLEX CAD» дозволяє значно полегшити реалізацію сучасних методів розрахунку параметрів процесу ХПТ та дозволяє створювати автоматичні програми проектування інструменту станів ХПТ.

Перспектива. Розробки відкривають широкі можливості методу розрахунку параметрів процесу ХПТ з первинним врахуванням ширини калібру, реалізованого в мережі САПР «T-FLEX CAD», в вигляді програми автоматичного проектування калібровок інструменту стану ХПТ, - САПР ХПТ «T-FLEX CAD».

ЛІТЕРАТУРА

1. Панчул И.В., Учитель И.Б., «Компьютерная графика» - основа развития автоматизированных систем проектирования и профессионального обучения // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2007. - №1. - С.95 - 98.

2. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. - М.: Металлургия, 1963. – 212 с.
3. Разработка интегрированной системы имитационного моделирования процесса прокатки труб на станах ХПТ / А.В. Подлозный, В.П. Сокуренок, В.Д. Шевченко, Г.Ф. Ефремова // Производство труб и баллонов: Тематич. сб. научн. трудов ГТИ. – Днепропетровск: ГТИ, 1999. - С. 87-90.
4. Вольфович Г.В, Замощиков В.Я., та ін. Компьютерное моделирование процесса холодной прокатки циркониевых труб-оболочек ТВЕЛ // Вопросы атомной науки и техники - 2003.- №3 – С.89-91.
5. Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Математическая модель процесса валковой холодной прокатки труб основаная на исходном распределении ширины ручья по длине конуса раскатки и её компьютерная реализация // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні. Зб. наук. праць. - Краматорськ, 2007. - С. 445 - 449.
6. Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Новый подход к определению калибровки инструмента станов холодной прокатки труб // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії - 2006. №1. - С77-79.

Получено 13.03.2008 г.

УДК 531.711.5

В.А. Маковцев

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛЯ СИНУСНЫХ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПЕРЕНАЛАЖИВАЕМЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

В машиностроении существуют различные системы переналаживаемых станочных приспособлений, которые включают большое разнообразие приспособлений, предназначенных для механической обработки, разметочных и контрольно-измерительных работ наклонных поверхностей и отверстий в деталях и сборочных единицах /ДСЕ/. Однако бурное развитие ряда отраслей машиностроения, в том числе и ракетно-космической стало предъявлять новые требования к этим приспособлениям, по точности, жёсткости, универсальности, габаритам обрабатываемых ДСЕ, диапазону углового позиционирования и допустимым нагрузкам. Повышение требований к ДСЕ с одновременным ростом габаритов и массы последних приводят к тому, что существующая наклонная переналаживаемая технологическая оснастка перестаёт удовлетворять всевозрастающим требованиям современного производства и на предприятиях всё чаще изготавливают одноцелевые неразборные наклонные специальные приспособления-клинья различных геометрических параметров и конструкций /ННСП/, применение которых в условиях многономенклатурного современного производства неэффективно, приводит к значительным материальным затратам, в том числе металла, времени подготовки производства и труда рабочих изготовителей. Одновременно с изготовлением одноцелевых ННСП - клиньев, на производстве дополнительно приобретают дорогостоящее специальное станочное оборудование, особенно для механической обработки наклонных поверхностей и отверстий в крупногабаритных изделиях большой массы /КИБМ/, которое, несмотря на большую стоимость, не всегда обеспечивает всевозрастающие требования современного производства.

Для решения возникшей проблемы автором предлагается заменить стационарный треугольник ННСП – клина на переналаживаемый, то есть предлагается переналаживаемый клин—

переналаживаемая по угловому позиционированию наклонной плиты технологическая оснастка многократного применения. Одновременно это – технологическая оснастка многократного применения, у которой для установки ДСЕ больших габаритов и массы с высокой точностью можно применять как блок концевых мер, так и комплект концевых мер для синусных универсальных переналаживаемых приспособлений /СУПП/. В машиностроении существуют концевые меры – плитки Йогансона и их наборы. Для механообработки они применяются в синусных линейках в виде блока концевых мер. В настоящее время в связи с созданием системы СУПП предложены концевые меры различных, конструктивных вариантов и исполнений. Для получения заданного угла α наклона плиты в этих приспособлениях необходимо под опорный ролик наклонной плиты установить наладку – меру, настроенную на расчётный размер $H \pm 0,01$ /мм/.

Эту задачу выполняют специальные концевые меры. Они проектируются и применяются только для СУПП и поэтому являются их составной частью.

- Концевые меры для СУПП бывают трёх видов:
- Наладка – плитка /НП/.
- Концевая переналаживаемая мера /КПМ/.
- Концевая переналаживаемая винтовая мера /КПВМ/.

Все концевые наладки – меры выполняются в форме, необходимой для крепления их на СУПП.

Имеется пять групп наладок – концевых мер, выполненных в виде съёмных блоков для соответствующих приспособлений: для мелких СУПП/группа I/, размер наклонной плиты до 360 мм;

- для средних СУПП /группа II/, габарит наклонной плиты до 840 мм;
- для крупных СУПП /группа III/, размер наклонной плиты до 3000 мм;
- – для очень крупных СУПП /группа IV/, габарит наклонной плиты до 10000 мм;
- для уникальных СУПП /группа V/, размер наклонной плиты более 10000 мм.

На рис. 1 – 3 изображён полный комплект концевых мер для СУПП горизонтальной плоскости Н группы I /мелкие приспособления/, обеспечивающий подъём плиты в диапазоне углового позиционирования $0^\circ - 90^\circ$, имеющий базовый размер $L=300$ мм, ширина направляющих – 35 мм.

На рис.1 /вариант I/ изображена НП, которая может быть выполнена в цельном или сборном вариантах. Сборный вариант – из нескольких плиток, скреплённых между собой. Изготавливают НП в инструментальных цехах по необходимости. Размер НП 0 ... 22 /мм/.

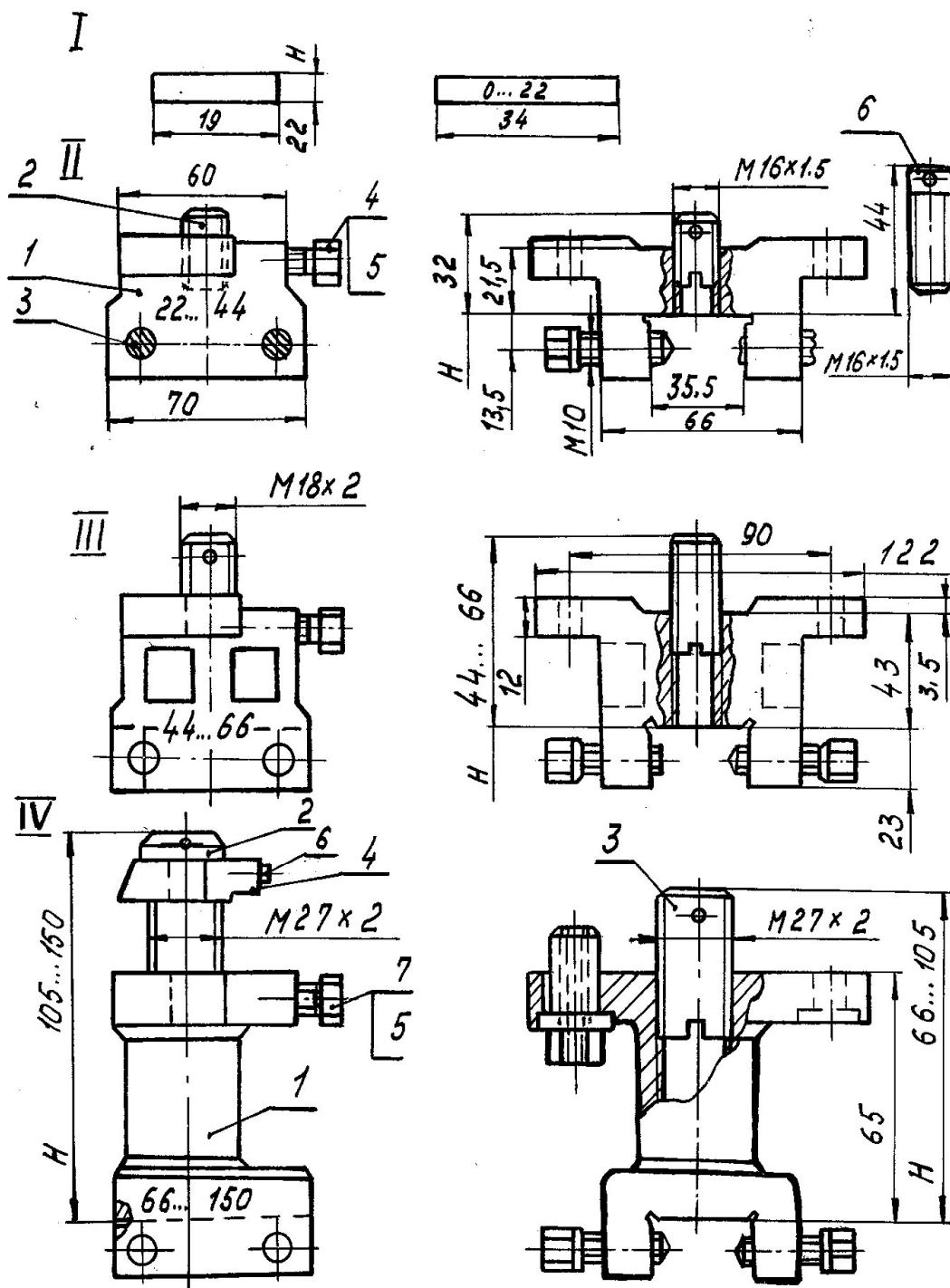


Рисунок 1 - Концевые меры. Варианты I – IV: вариант I - наладка - плитка /НП/; варианты II – IV – концевые переналаживаемые винтовые меры /КПВМ/, диапазон размеров до 150 мм.

На рис. 1 /варианты II – IV/ и на рис. 2 /варианты V и VI/ изображены наладки – меры КПВМ, выполненные в различных конструктивных вариантах. Они состоят, в основном, из гайки – корпуса 1, винта – меры 2 и остальных крепёжных деталей. Винт – мера 2 имеет метрическую самотормозящую резьбу. Форма профиля резьбы может быть также трапецеидальной.

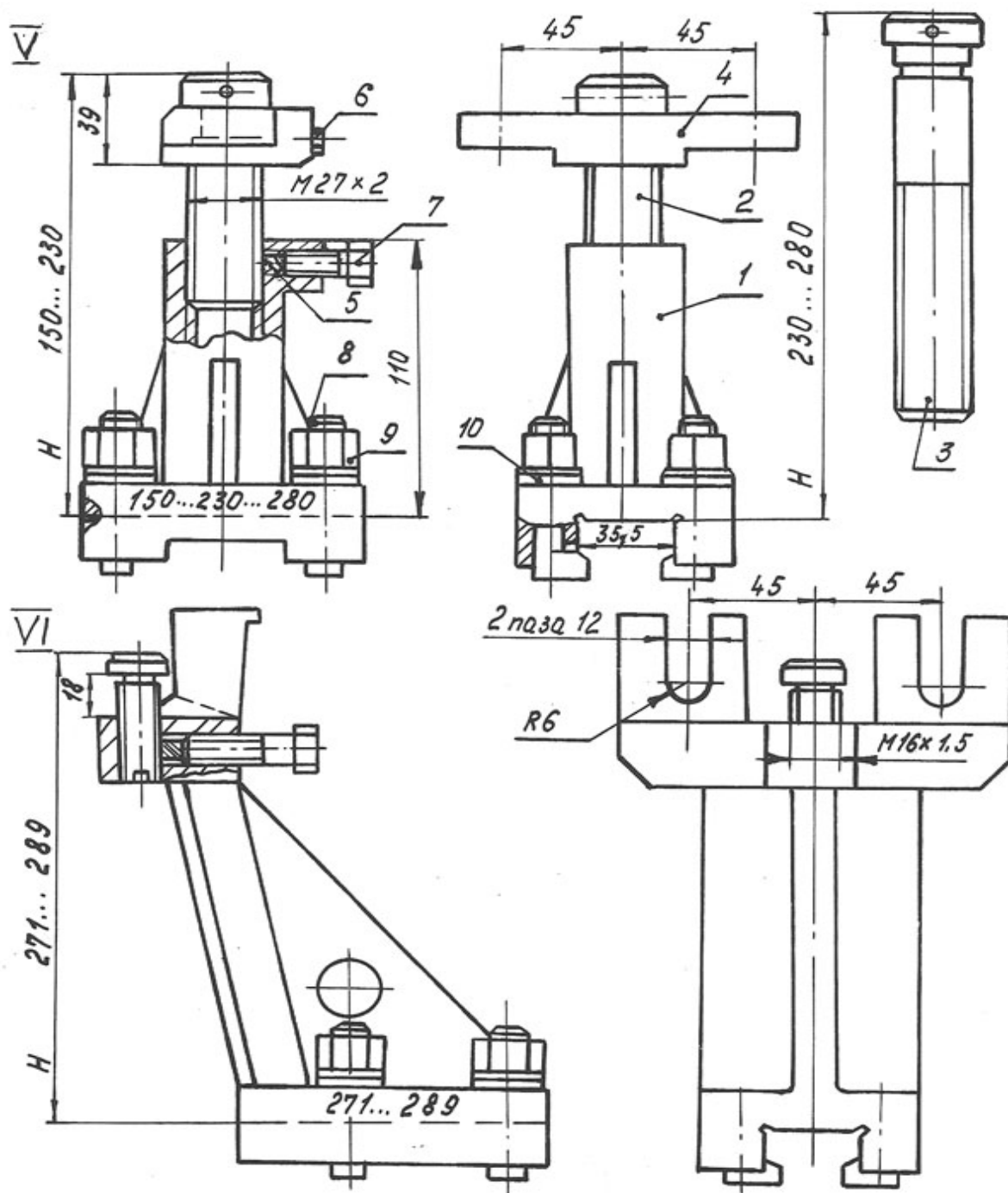


Рисунок 2 - Концевые переналаживаемые винтовые меры /КПВМ/.
Варианты V и VI. Диапазон размеров до 289 мм.

На рис. 3 изображена концевая переналаживаемая мера /КПМ/ для СУПП горизонтальной плоскости Н, работающая в интервале 100 – 160 /мм/. Она состоит из стойки 1, подналадки – плитки 2 и крепёжных деталей 3. Стойка 1 имеет высоту – h_1 , подналадка – плитка h_2 . Расчётная высота КПМ: $H = h_1 + h_2$.

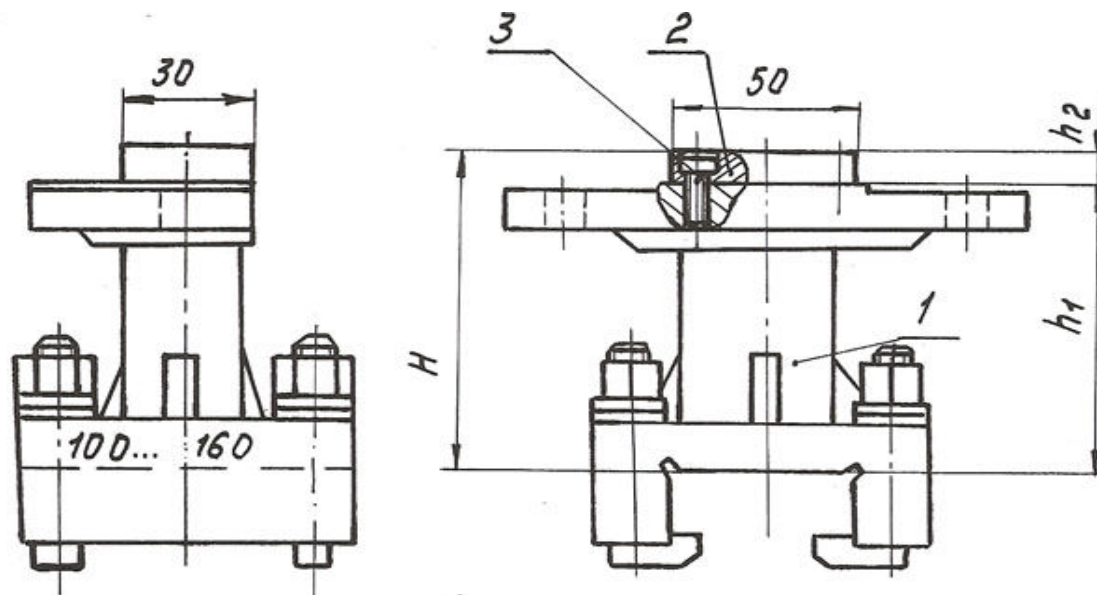


Рисунок 3 - Концевая переналаживаемая мера /КПМ/. Диапазон размеров до 160 мм.

В настоящее время созданы и работают в металле на ряде предприятий отрасли в ракетно- космическом машиностроении СУПП групп I – III и концевые меры к ним.

Рекомендуется внедрение СУПП с комплектами концевых мер во всех отраслях машиностроения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маковцев В.А. Системное проектирование переналаживаемой технологической оснастки //Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. Выпуск 1/24.- Днепропетровск. 2003.- С.90- 94.
2. Маковцев В.А. Синусные универсальные переналаживаемые устройства /СУПУ/ профильной плоскости W в системе двойного переналаживаемого клина /ДПК/ //Вісник Дніпропетровського університету. Ракетно – космічна техніка, випуск 7. Дніпропетровськ: видавництво ДНУ, 2003.- С.67 -70.

Получено 14.03.2008 г.

УДК 620.179

В.А. Марунич, А.Ю. Яриз

НОВЫЕ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Введение

В современном машиностроении нежесткие изделия, в том числе и крупногабаритные (корпуса двигательных установок, топливных систем, крупногабаритные емкости различного назначения, изделия судостроения), представляют сложность с позиции обеспечения точности обработки.

Особенностью вышеуказанных изделий является низкая пространственная жесткость.

В процессе механической обработки на точность влияет ряд технологических факторов, каждый из которых вызывает образование характерных первичных погрешностей. В сумме они составляют общую погрешность обработки [1].

При обработке заготовок на предварительно настроенном станке, суммарная погрешность механической обработки определяется из выражения [1]:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{y\partial}^2 + \Delta_{yct}^2 + \Delta_n^2 + 3 \cdot \Delta_u^2 + 3 \cdot \Delta_{\theta}^2 + \Sigma \Delta_{\phi}} \quad (1)$$

где $\Delta_{y\partial}$ – погрешность от упругих деформаций элементов технологической системы;

Δ_{yct} – погрешность установки заготовки;

Δ_n – погрешность наладки станка;

Δ_u – погрешность, вызванная износом режущего инструмента;

Δ_{θ} – погрешность от воздействий температурных деформаций;

Δ_{ϕ} – сумма погрешностей формы, вызываемых геометрическими неточностями станка и деформациями заготовки.

Для нежестких изделий наибольшую погрешность обработки вызывает погрешность деформации самой заготовки в процессе резания. Не смотря на то, что силы резания при обработке большинства полимерных материалов незначительны, обеспечить необходимую точность вышеуказанных изделий ввиду их низкой пространственной жесткости и влияния большого числа факторов

методом предварительной настройки оборудования не представляется возможным. Вследствие этого, невозможно предварительно рассчитать величину суммарной погрешности обработки.

Постановка проблемы

С учетом вышеупомянутого, при обработке резанием полимерных покрытий, нанесенных на металлические изделия, возникает сложная технологическая задача обеспечения требуемой точности толщины покрытия. Таким образом, появилась необходимость обеспечения высокой точности и производительности лезвийной обработки полимерных покрытий на нежестких изделиях, в том числе и крупногабаритных, что в свою очередь только усложняет задачу из-за больших габаритных размеров и малой жесткости. Для решения поставленной задачи необходимо:

Разработать новую технологию, включающую активный неразрушающий контроль толщины покрытия при обработке резанием.

Установить зависимость обеспечения высокой точности обработки на основе особенностей неразрушающего способа контроля.

Проведение исследований

Одним из путей повышения точности технологических процессов механической обработки является использование активного контроля или автоматизированных систем управления точностью обработки (АСУТО). Управление процессом в подобных системах осуществляется на основе полученной от него информации. Как известно, те системы, в которых информация о ходе технологического процесса формируется на основе размерного контроля параметра и поступает в управляющее устройство непрерывно, как в период цикла обработки, так и после его завершения, называют системами активного контроля.

Полученная информация о величине и направлении изменения размеров позволяет оптимизировать процесс обработки и обеспечить заданный уровень точности изготавливаемых деталей [2].

Для обеспечения точности толщины диэлектрического покрытия, выполняющего теплоизоляционную, теплозащитную или др. функцию, необходимо подобрать оптимальный метод неразрушающего контроля, позволяющий с минимальными

погрешностью и затратами обеспечить обработку этих покрытий с высокой точностью.

Проведен анализ в смежных областях знаний по бесконтактному контролю толщины диэлектрического покрытия. Были рассмотрены способы, наиболее эффективные с позиции применения активного контроля в процессе обработки резанием.

Анализ известных способов бесконтактного контроля, приведенных в работе [3], таких как визуально-оптический, капиллярная дефектоскопия, магнитный способ контроля, способ контроля вихревыми токами, акустический способ контроля и контроль просвечиванием, показал, что наиболее рациональные для нашей технологической задачи обеспечения активного контроля являются: **магнитный способ контроля, акустический способ контроля и контроль способом вихревых токов.**

Для измерения толщины диэлектрического покрытия на металлических изделиях применяется **магнитный способ контроля**, принцип действия которого основан на регистрации изменений магнитного сопротивления до контролируемого участка, вызванных вариацией расстояния между датчиком и поверхностью изделия. Точность измерения толщины покрытий зависит от различных технологических и конструктивных факторов: кривизны и неплоскостности контролируемой поверхности, шероховатости поверхности, толщины, состояния и свойств материала основы и т.д. Практически данный способ может обеспечить точность в пределах $\pm 10\%$ от верхнего предела шкалы толщиномера. При этом шероховатость поверхности металлического изделия должна быть в пределах $R_z = 80$ мкм. Существенным недостатком, ограничивающим технологические возможности такого способа контроля, является то, что максимальная контролируемая толщина покрытия - 3 мм, а для достаточной точности контроля необходима низкая шероховатость металлического изделия.

Рассмотрим **акустический способ контроля**. Измерение толщины покрытий металлов ультразвуковым способом основано на различии в поглощении ультразвуковых колебаний покрытием и основой. Ультразвуковой метод измерения толщины диэлектрических покрытий отличается высокой производительностью, достаточной для практики точностью (средняя погрешность измерения составляет 8-

10%) и позволяет проводить контрольные операции без нарушения сплошности слоёв и покрытий. Однако данный способ контроля не представляется возможным использовать в качестве активного контроля в виду наличия мертвой зоны, которая ограничивает возможность контроля толщины покрытия в пределах 2,5мм.

Среди всех рассмотренных способов неразрушающего контроля наиболее рациональным, на наш взгляд, является вихретоковый способ.

Контроль способом **вихревых токов** основан на регистрации изменения электромагнитного поля возбуждающей катушки под действием электромагнитного поля вихревых токов, наводимых этой катушкой в контролируемом объекте. При контроле способом вихревых токов используют зависимость амплитуды, фазы, траекторий, переходных характеристик и спектра частот токов, возбуждаемых в изделии, от его формы и размеров, физико-механических свойств и сплошности материала, расстояния до датчика, частоты и скорости перемещений, в том числе вибрации.

К числу главных достоинств вихретокового способа следует отнести электрическую природу сигнала, быстроедействие, что позволяет легко автоматизировать контроль; возможность контроля толщины покрытий в пределах от нескольких микрометров до десятков миллиметров; точность измерения для большинства приборов находится в пределах 5 - 10%. Контроль вихревыми токами выполняют без непосредственного контакта преобразователей с объектом. Это позволяет вести контроль при взаимном перемещении преобразователя и объекта с большой скоростью (до 60 м/с) и облегчает тем самым автоматизацию контроля.

На рисунке 1 приведена обобщённая функциональная схема прибора с накладным измерительным преобразователем [4]. Измерительный преобразователь состоит из возбуждающей обмотки, подключённой к генератору переменного тока, и измерительной обмотки, подключённой к блоку измерения. Магнитное поле измерительного преобразователя возбуждает в плоском объекте контроля концентрические вихревые токи, плотность которых максимальна на поверхности электропроводящего объекта в контуре, диаметр которого близок к диаметру возбуждающей обмотки. Магнитное поле вихревых токов противоположно первичному

магнитному полю возбуждающей обмотки, вследствие этого результирующее поле зависит от электромагнитных свойств контролируемого объекта и от расстояния между преобразователем и объектом, поскольку распределение плотности вихревых токов зависит от этих факторов. В измерительной обмотке преобразователя наводится ЭДС, определяемая потокоцеплением. Эта ЭДС служит сигналом, передающим информацию об объекте в блок измерения.

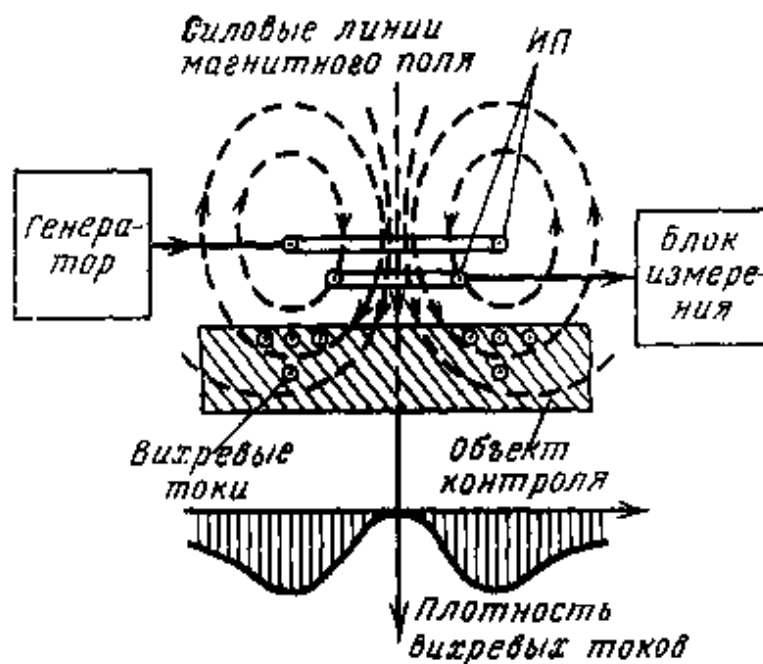


Рисунок 1 - Принцип действия прибора с накладным преобразователем

Следует заметить, что напряжение измерительной обмотки несёт информацию не только об одном параметре объекта контроля. В данном случае это напряжение зависит от толщины покрытия, от удельной электрической проводимости металлической подложки σ , от магнитной проницаемости μ , от состояния поверхности, от наличия и размеров дефектов, от ориентации оси преобразователя и от скорости его движения относительно контролируемого объекта. Таким образом, информация вихретоковых преобразователей имеет многопараметровый характер. Высокая степень информативности вихретоковых преобразователей определяет достоинства и трудности реализации способа вихревых токов. С одной стороны, способ вихревых токов позволяет осуществлять многопараметровый контроль, с другой стороны, он требует применения специальных приёмов для разделения информации об отдельных параметрах

объекта. При контроле толщины покрытия влияние остальных факторов на сигнал преобразователя является мешающим, и это влияние необходимо подавлять.

Другая особенность способа вихревых токов состоит в его бесконтактности. Взаимодействие измерительного преобразователя с объектом происходит обычно на расстояниях, достаточных для свободного движения измерительного преобразователя относительно объекта. Как правило, при электромагнитном контроле ограничения скорости налагаются не самим методом, а ограниченным быстродействием регистраторов информации или сортирующих устройств. Следствием этого является высокая производительность способа вихревых токов.

Одна из важных особенностей способа вихревых токов состоит в слабой зависимости результатов контроля от параметров окружающей среды. На сигналы вихретокового преобразователя практически не влияют влажность, давление и загрязненность газовой среды, радиоактивные излучения, загрязнение поверхности объекта контроля непроводящими веществами. Эта особенность вихретокового способа очень важна при обработке резанием диэлектрических покрытий, так как стружка является электростатичной и налипает на систему активного контроля.

Интенсивность и распределение вихревых токов в металле зависят от геометрических размеров датчика активного контроля, электрических и магнитных свойств металла, взаимного расположения преобразователя и обрабатываемого изделия, т.е. от многих параметров.

Конструкция и размеры датчика зависят от формы и размеров изделия и целей контроля. Вихревые токи протекают непосредственно под датчиком, в небольшом объеме изделия [4]. Их амплитуда и фаза различны в каждой точке на поверхности изделия и в глубине (рисунок 2).

Анализ пространственной картины вихревых токов необходим для понимания основ способа и его эффективного практического использования. Рассмотрим в каждой точке пространства плотность вихревых токов δ и их фазу ψ . Возбуждаемые цилиндрическими датчиками вихревые токи протекают по окружностям, соосным с датчиком. Распределения δ и ψ вихревых

токов в пространстве при контроле немагнитных материалов накладными датчиками показаны на рисунке 2.

Координаты ρ и z на рисунке 2 выражены через радиус эквивалентного контура вихревых токов, который равен R_q . Кривые 1 и 2 даны для различных условий возбуждения: 1 - для $\beta_0 = 20$ (β_0 - основной обобщённый параметр при контроле немагнитных материалов), сравнительно большой частоты или электропроводности; 2 - для $\beta_0 = 6$, существенно меньших значений этих величин.

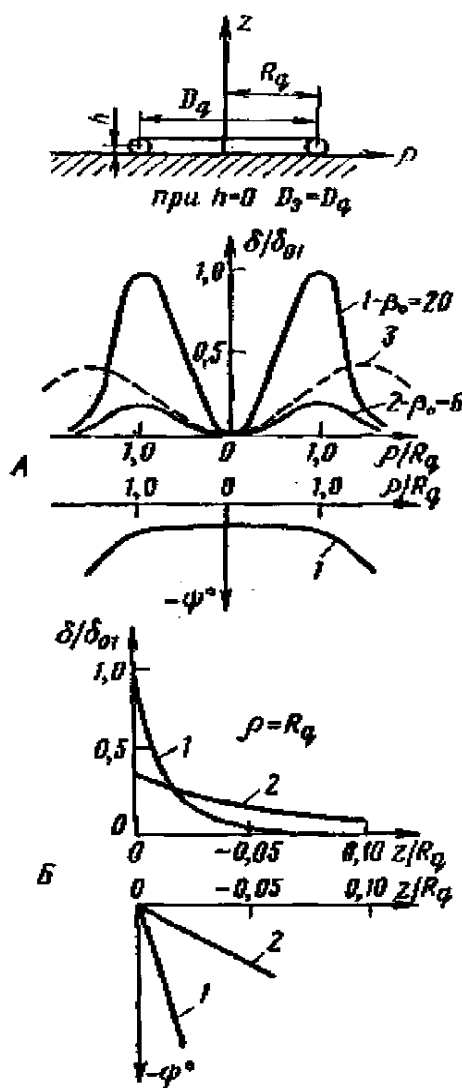


Рисунок 2 - Распределение плотности δ/δ_{01} - и фазы ψ вихревых токов, возбуждаемых витком в плоском изделии: А - по поверхности; Б - по глубине; 1 - при высокой частоте; 2 - при низкой частоте; 3 - при наличии зазора между витком и изделием в случае высокой частоты.

Плотность вихревых токов выражена через максимальное ее значение δ_{01} на поверхности при $\beta_0 = 20$. При контроле накладным

датчиком (рисунок 2, А, $\delta/\delta_{01} - \rho/Rq$) на его оси $\delta = 0$. С увеличением ρ увеличивается δ , достигая максимума при $\rho = Rq$ (при $h = 0$).

Удаление датчика от поверхности изделия приводит к уменьшению максимума $\delta(\rho)$ и к увеличению радиуса эквивалентного контура вихревых токов (кривая 3). Фазы токов, находящихся внутри эквивалентного контура, одинаковы (рисунок 2, А, $\psi - z/Rq$). По мере углубления в металл, увеличении z (рисунок 2, Б), наблюдается резкое уменьшение плотности и запаздывание вихревых токов.

Анализ зависимостей $\delta(z, \rho, \beta_0)$ показывает, что на большей частоте для больших значений электропроводности в поверхностных слоях создаются вихревых токов большей плотности.

Таким образом, изучив принцип действия датчиков активного контроля способом вихревых токов, был сделан вывод, что для контроля толщины диэлектрических покрытий нежестких крупногабаритных изделий оптимальным является кольцевой двухобмоточный накладной датчик с максимальным основным обобщенным параметром β_0 . В то же время, бесконтактность и быстродействие способа вихревых токов позволяют автоматизировать процесс активного контроля, при этом его точность остаётся достаточно высокой.

Для упрощения расчётов каждую обмотку датчика принято заменять эквивалентным витком, а вихревые токи - эквивалентным контуром тока диаметром $D_{\text{э}}$ (рисунок 3). Поскольку для накладного датчика значение диаметра эквивалентного контура вихревых токов $D_{\text{э}}$ зависит от расстояния эквивалентного витка возбуждающей обмотки датчика до изделия h , его вычисляют по формуле [4]:

$$D_{\text{э}} = D_q + 1.5 \cdot h \quad (2)$$

где: $D_{\text{э}}$ - диаметр эквивалентного контура вихревых токов;

D_q - средний диаметр датчика активного контроля;

h - расстояние от поверхности металла до середины датчика активного контроля.

Точность обработки диэлектрических покрытий на нежестких изделиях будет достигать своего максимума в том случае, когда зона наибольшей плотности вихревых токов будет совпадать с зоной резания. Такое условие достижимо когда диаметр режущего инструмента (например, торцевой фрезы) $D_{\text{и}}$ равен диаметру эквивалентного контура вихревых токов $D_{\text{э}}$.

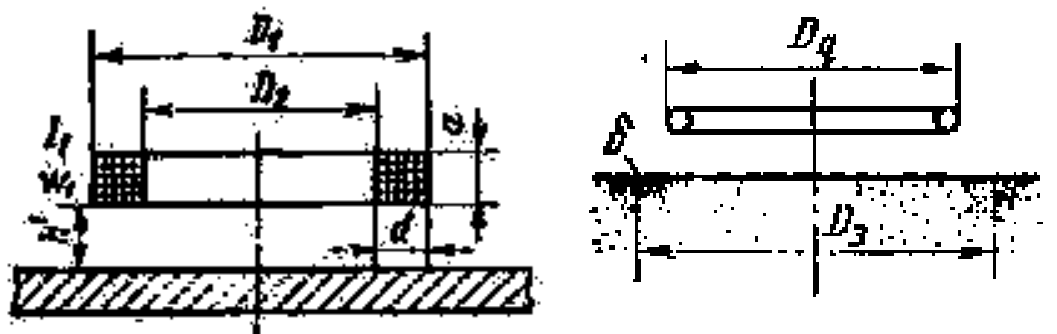


Рисунок 3 - Схемы замены обмоток датчиков эквивалентными витками, вихревых токов - эквивалентным контуром тока.

Это условие выражено в зависимости диаметра инструмента $D_{\text{и}}$ от среднего диаметра датчика активного контроля D_q на основании формулы (2) для расчёта эквивалентного контура вихревых токов:

$$D_u = D_q + 1.5 \cdot (h' + a/2) \quad (3)$$

где: $D_{\text{и}}$ - диаметр режущего инструмента (например, торцевой фрезы);

D_q - средний диаметр цилиндрического датчика активного контроля;

h' - расстояние от поверхности металла до торца датчика активного контроля;

a - толщина датчика активного контроля.

Анализ патентной информации показал, что все существующие на данный момент способы обеспечения требуемой толщины диэлектрического покрытия при его механической обработке, включающие активный контроль, не позволяют получить высокую точность обработанного покрытия на нежестких крупногабаритных изделиях. Это объясняется тем, что в процессе обработки не учитывается реальное взаимное расположение зоны резания и зоны наибольшей плотности вихревых токов, которые определяют эффективность активного контроля. Таким образом, фактически осуществляется “ложное” слежение за толщиной покрытия.

Для повышения точности обработки резанием диэлектрического покрытия на нежестких крупногабаритных изделиях мы предлагаем применять новый метод обработки диэлектрических покрытий на крупногабаритных нежестких изделиях. Данный метод реализуется посредством устройства для обработки диэлектрических покрытий металлических изделий [5]. Принципиальная схема этого устройства показана на рисунке 4.

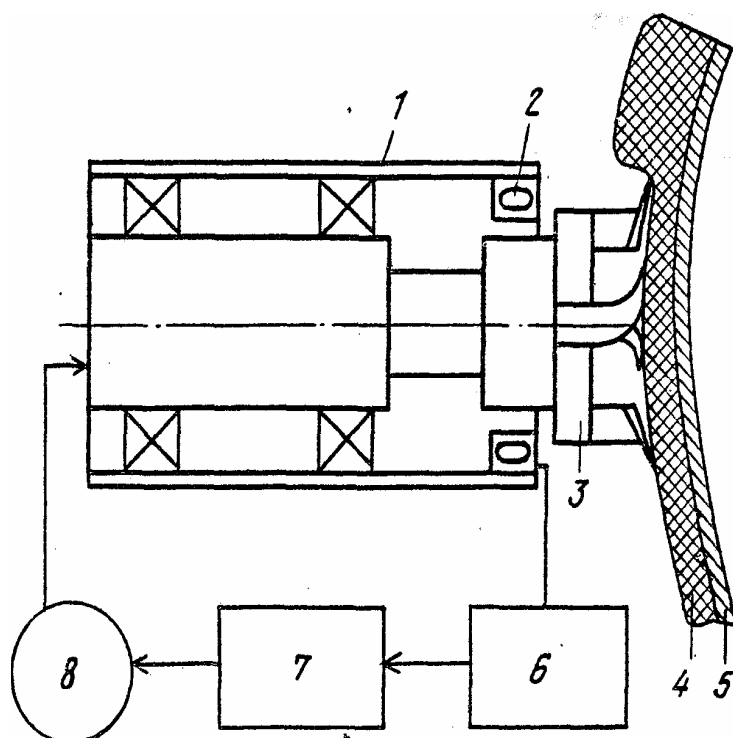


Рисунок 4 - Устройство для обработки диэлектрических покрытий металлических изделий

Устройство для обработки диэлектрических покрытий металлических изделий состоит из режущей головки 1 с кольцевым датчиком 2 и режущего инструмента 3. Кольцевой датчик 2 предназначен для измерения толщины диэлектрического покрытия 4 по отношению к металлической подложке 5 в зоне резания.

Для измерения расстояния от кольцевого датчика 2 до металлического изделия 5 устройство снабжено измерительным блоком 6, блоком управления 7, соединенным с исполнительным механизмом 8 поперечной подачи режущей головки 1. Исполнительный механизм поперечной подачи 8 подводит или отводит режущую головку 1 от металлического изделия 5. Устройство также содержит механизм продольной подачи и привод вращения режущего инструмента (не показаны).

Метод обработки диэлектрических покрытий на крупногабаритных нежестких изделиях заключается в том, что перед непосредственной механической обработкой вышеуказанное устройство настраивают на заданную толщину таким образом, чтобы диаметр режущего инструмента находился в следующей зависимости от параметров кольцевого датчика вихретокового метода активного контроля:

$$D_u = D_q + 1.5 \cdot (h' + a / 2) \quad (3)$$

где: D_u - диаметр режущего инструмента (например, торцевой фрезы);

D_q - средний диаметр цилиндрического датчика активного контроля;

h' - расстояние от поверхности металла до торца датчика активного контроля;

a - толщина датчика активного контроля.

Настройку осуществляют с помощью эталона толщины покрытия, изготовленного из диэлектрического материала. Затем производится непосредственно механическая обработка.

Режущую головку **1** подводят к обрабатываемому материалу, включают привод вращения режущего инструмента **3** металлического изделия **5** и настраивают кольцевой датчик **2** на заданную толщину покрытия **4**, одновременно врезаясь в обрабатываемый материал на соответствующую глубину резания. Потом включают привод вращения металлического изделия **5** и осуществляют обработку. Кольцевой датчик **2** через измерительный блок **6**, блок управления **7** и исполнительный механизм поперечной подачи **8** делает стабилизацию режущей головки **1** на заданный размер по отношению к металлическому изделию **5**.

Настроенный на заданную толщину диэлектрического покрытия, датчик подает сигнал об изменении расстояния от металла до датчика.

Таким образом, повышение точности обеспечения заданной толщины в процессе обработки диэлектрического покрытия на нежестких изделиях при использовании вихретокового метода активного контроля достигнуто в результате расположения режущей части фрезы над зоной наибольшей плотности вихревых токов. Для реализации этого условия кольцевой датчик установлен соосно с режущим инструментом, корпус которого выполнен из неметаллического материала, а диаметр фрезы подобран таким образом, чтобы он находился в зависимости от конструкции и расположения датчика активного контроля толщины покрытия согласно формуле (3).

Выводы

Разработан новый метод технологии с активным контролем на базе вихретокового неразрушающего способа контроля.

Метод позволяет обеспечить высокую точность и производительность обработки резанием диэлектрических покрытий на нежестких крупногабаритных быстро движущихся объектах.

Определена зависимость эффективного использования способа от диаметра режущего инструмента и от конструктивных параметров вихретокового датчика активного контроля.

Применение предложенного метода позволит получать поверхности сложной формы, в том числе и фасонные с достаточной точностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корсаков В.С. Точность механической обработки. М.: Машгиз, 1961. - 380 с.
2. Богуславский Л.А. Достижение требуемой точности обработки средствами активного контроля СТИН № 7, 1997 г. с.14-19.
3. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами/ Герасимов В.Г., Останин Ю.А., Покровский А.Д. и др. – М.: Энергия, 1978. – 216 с., ил.
4. Самойлович Г.С. Неразрушающий контроль металлов и изделий. Справочник. - М.: Машиностроение, 1976. - 456 с., ил.
5. Патент України 23701. Пристрій для обробки діелектричних покриттів металевих виробів/ В.О. Маруніч, Г.Ю. Яріз. Бюл.№8-2007.

Получено 17.03.2008 г.

УДК 621.923

А.Е. Проволоцкий, В.Е. Кузнецов, С.Л. Негруб, А.Н. Нарбутович-Кащенко

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛАСТИЧНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МАШИНОСТРОЕНИИ

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами.

В металлургии при производстве проката, в машиностроении и в ряде других сфер производства большое значение имеют финишные отделочные операции, так как зачастую они играют определяющую роль в потребительских показателях качества продукции, служебно-эксплуатационных характеристик. В конечном итоге они определяют конкурентоспособность продукции, что является особо актуальным в современных условиях. В металлопроизводстве большие затруднения вызывает удаление окалина с прокатной продукции. Большие трудности её удаления из-за прочного сцепления с металлом и высоких механических характеристик вынуждают применять такую операцию как химическое травление, имеющую крупные недостатки, в том числе экологического характера. Поэтому в целях их устранения всё более широкое распространение получают экологически чистые механические методы очистки, являющиеся успешной альтернативой химическим методам. Спектр методов механической очистки довольно обширен: пескоструйная, дробеструйная, гидроабразивная обработки, зачистка абразивными кругами, полужакреплённым и свободным абразивом в галтовочном и вибрационном оборудовании, где используется и ряд других материалов.

Основная часть. Среди методов механической очистки широкое применение находит обработка гибкими эластичными инструментами. Последние являются универсальными технологическими инструментами ввиду широкого круга технологических задач, успешно решаемых посредством их.

Однако, необходимо отметить, что они пока не получили достаточно широкого распространения. Это можно объяснить тем, что по ряду причин промышленностью не выпускалась достаточно

обширная их номенклатура, а их отсутствие в поле зрения исследователей и производственных практиков не способствовало их широкому внедрению в технологии. В свою очередь, отсутствие широкого промышленного выпуска эластичного инструмента было связано с упрощенным взглядом на этот вид технологического инструмента и его ограниченными технологическими возможностями, что являлось следствием отсутствия широкой практики их применения. Наглядной иллюстрацией сказанного является достаточно широкое длительное использование одной из разновидностей гибких эластичных инструментов – иглофрез для зачистки проката [1]. Это связано с тем, что промышленностью выпускалась довольно обширная номенклатура иглофрез, которая обеспечивала решение разнообразных технологических задач, включающих в себя операции по зачистке, и размерную обработку. Такие возможности обеспечиваются конструктивной особенностью этого вида эластичного инструмента – высокой степенью заполнения рабочего объёма инструмента стальными проволочками (иглами), благодаря чему в целом заполнение инструмента приобретает высокую жёсткость. В итоге работа инструмента уподобляется работе фрезы, почему он и получил своё название. Иглофрезы выпускаются рядом инструментальных заводов – Белгородским инструментальным заводом и др. На их базе разработано промышленное оборудование, успешно применяемое на ряде заводов. Принцип работы иглофрезы сводится к тому, что отдельная проволочка наполнения имеет возможность изгибаться, отклоняясь на некоторый угол. Благодаря этому её торец, образует режущую кромку осуществляющую микрорезание, с суммарным эффектом обработки. Различные эффекты достигается изменением усилия прижатия иглофрезы к обрабатываемой поверхности, что позволяет изменять глубину её внедрения в обрабатываемый материал, в пределах от 0,01 ... 0,05 мм до 0,8 ... 1,2 мм, при усилии прижатия 150 ... 250 Н (15 ... 25 кг) на 1 см ширины инструмента. Достоинством иглофрез является простота получения фасонного профиля инструмента, что позволяет обрабатывать любые фасонные профили. Другим достоинством является самозатачиваемость инструмента, которая может быть ещё более улучшена его реверсированием.

Другие виды гибких эластичных инструментов не имеют такой плотной упаковки, как у иглофрез, что делает возможным отклонение проволок на большой угол. Это придаёт им ценное технологическое свойство – деформироваться в соответствии с профилем обрабатываемой поверхности. Все поверхности машиностроительных деталей, подвергаемые отделочной обработке можно разбить на 4 категории: поверхности, обеспечивающие точные сопряжения движения, и неподвижные; тот и другой вид сопряжения с эластичным элементом типа уплотнительных манжет и т.п., и несопрягаемые поверхности, где высококачественная отделка выполняет вспомогательную функцию – декоративную, коррозионную стойкость, лучеотражение и др. Определяющими факторами исполнения деталями служебных функций являются рабочее состояние поверхностей, в том числе правильность геометрии, степень отклонения от правильных геометрических форм. Придание им состояния, соответствующего предъявленным требованиям, как раз и обеспечивается отделочными операциями механического плана, среди которых важную роль играют гибкоэластичные инструменты. Все виды отделочных операций отличаются высокой трудоёмкостью, а потому при назначении требований к поверхностям, которые затем определяют назначение видов и типов финишной обработки, следует подходить взвешенно. Известно, что при снижении шероховатости с $R_a 10$ до $R_a 0,4$ стоимость обработки увеличивается в 2 раза. Дальнейшее снижение шероховатости с $R_a 0,4$ до $R_a 0,06$ приводило даже к десятикратному повышению стоимости обработки [2]. Критериями при выборе оптимальных требований к геометрии поверхностей необходимо считать функции, исполняемые поверхностью в сопряжениях, оценка которых должна производиться на фоне характера известных видов отклонений от правильной геометрии и их численных значений. На практике различают 4 основных вида отклонений, определяющих соответствие деталей служебному назначению: отклонение формы, волнистость, шероховатость и направление следа обработки. Эти 4 параметра совместно с физическими параметрами (структура, микротвёрдость, наличие и тип остаточных напряжений и др.) определяют комплекс эксплуатационных свойств. Отклонение формы и волнистость играют существенную роль в точных подвижных сопряжениях, где они

вынуждают применять посадки с большими зазорами, которые ухудшают эксплуатационные свойства, например, в плунжерных парах гидросистем, что сопровождается утечками через них жидкости, что недопустимо. Это особенно актуально для длинноходовых плунжерных пар. В данном случае недостаток устраним лишь размерной обработкой.

Но в целом ряде других случаев отклонения формы и волнистость не играют существенной роли и тогда способность инструмента следовать, благодаря своей эластичности, за фактическим профилем поверхности является ценным технологическим свойством. Подобное встречается в менее точных подвижных и неподвижных сопряжениях при обоих жёстких элементах, а также в сопряжениях с одним эластичным элементом. В последнем случае этот элемент является уплотнением, где благодаря его эластичности отклонения формы не играют существенной роли, зато важную роль играет микрорельеф (шероховатость) и направление следа обработки. Эти 2 параметра определяют маслоёмкость рельефа в сопряжении, что является его определяющей характеристикой. В этом случае, а также в ряде других излишне малая шероховатость не только не нужна, но и вредна. Обработка таких поверхностей гибкоэластичными инструментами обеспечивает получение требуемого рельефа, что является их важным свойством. Наконец, в практике машиностроения, а также в ряде других отраслей используется финишная обработка с декоративной целью, где с успехом могут быть применены гибкоэластичные инструменты.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В настоящее время промышленностью выпускается обширная номенклатура гибкоэластичных инструментов с ворсистым наполнением, в качестве которых используется широкий спектр материалов – от металлических проволок (углеродистые и легированные стали, латуни, бронзы) до полимеров с абразивным наполнением и других синтетических и природных волокнистых материалов. Варьирование размеров и формы элементов наполнения в сочетании с варьированием конструктивных типоразмерных модификаций позволяет получать инструменты с широким разнообразием технологических характеристик. Это открывает большие

возможности для использования гибкоэластичных инструментов в разнообразных технических сферах.

В настоящее время гибкоэластичные инструменты, несмотря на освоение их выпуска промышленностью, используются недостаточно широко. Это объясняется неотработанностью режимов обработки и отсутствием специализированного оборудования. Их использование на универсальном оборудовании не позволяет раскрыть технологический потенциал инструмента. Для расширения сфер применения и повышения эффективности их применения необходимо проведение дальнейших исследований по отработке режимов обработки и разработка специализированного оборудования. Авторы работают в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роспasiенко В.Н., Смирнов Г.Ф., Черницын В.С. Средства для зачистки проката. М., «Машиностроение», 1973, 272 с.
2. Вульф А.М. Резание металлов. Изд. 2-е Л., «Машиностроение» (Ленингр. отд-ние), 1973, 496 с.
3. Негруб С.Л. Повышение эффективности финишной обработки эластичными полимер-абразивными инструментами. Автореф. диссертационной работы кандидата техн. наук / ДонНТУ: – Донецк, 2008. – 25 с.
4. Проволоцкий А.Е., Лапшин С.П., Ласкин В.М. Формирование развитых микрорельефов поверхностей // Резание и инструмент в технологических системах: Сборник научно – технических трудов: Выпуск 66 – Харьков, 2004. – с. 153–162.
5. Проволоцкий А.Е., Негруб С.Л. Экспериментальное исследование параметров обработки эластичными полимер-абразивными инструментами // Сучасні технології у машинобудуванні: Збірник наукових статей, – Харків, 2006. – с. 171–184.

Получено 17.03.2008 г.

УДК 621.923

А.Е. Проволоцкий, Мохеб Мохаммад

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами.

Шлифование – самый распространенный и наиболее эффективный технологический процесс среди всех известных методов абразивной обработки [1].

Новые технологии профильного глубинного шлифования, совмещая в одной операции предварительное формообразование и финишную обработку, позволяют получать сложные по форме фасонные поверхности зубчатых колёс, шлицевых соединений, режущего и прессового инструмента, хвостовиков лопаток, подшипников и т.д. с высокой точностью и производительностью. Глубинным шлифованием, которое более экономично, чем методы лезвийной обработки, формируется наиболее «благоприятное» для эксплуатации упрочнение поверхностного слоя детали, не достигаемое даже на мягких режимах маятникового шлифования.

Всё чаще обработка шлифованием, в том числе при высоких скоростях резания, ведётся без использования смазочно-охлаждающих жидкостей, что увеличивает экологическую безопасность производства. В отдельных случаях шлифование становится безальтернативным процессом высокоточной обработки деталей из конструкционных материалов, которые не могут быть обработаны другим методом.

Очевидный прогресс в технологии шлифования обусловлен в определенной степени достижениями в производстве абразивного инструмента. К ним можно отнести создание и применение шлифовальных кругов на различных связках из новых модификаций корунда, кубического нитрида бора и алмаза, но в основном за счет абразивного инструмента с повышенными показателями пористости, твердости и разрывной прочности.

Мониторинг продукции ведущих зарубежных фирм – производителей абразивного инструмента свидетельствует, что за

последние годы в ее составе заметно увеличилась доля высокопористых шлифовальных кругов. Инструментом этого класса, например, сейчас оснащаются все профилешлифовальные и зубошлифовальные станки известных станкостроительных фирм. Высокопористый абразивный инструмент активно вытесняет традиционные шлифовальные круги на всех операциях маятникового шлифования и способствует внедрению высокопроизводительных схем глубинной обработки.

Освоение высокопористых шлифовальных кругов, как правило, сопровождается повышением производительности процесса и устранением дефектов шлифовочного характера.

Вместе с тем, технологические возможности современных станков по скорости резания, производительности, мощности, автоматизации управления процессом и применяемым системам правки не реализуются в полной мере из-за отсутствия адекватного по своим эксплуатационным свойствам абразивного инструмента. Шлифовальный круг остается самым слабым элементом в технологической системе резания станок-инструмент-деталь, ограничивающим уровень производительности бездефектного удаления материала с обрабатываемой поверхности. По этой причине повышение работоспособности шлифовальных кругов постоянно сохраняет свою актуальность как побудительный мотив совершенствования технологии шлифования и станочного оборудования.

На основе теоретического анализа внутреннего строения высокопористых кругов предложены новые технологические подходы к формированию их объемной структуры в зависимости от требуемой характеристики и условий эксплуатации. Парадоксально, но работоспособность инструмента можно улучшить, уменьшая объемное содержание абразивных зерен, – основных режущих элементов. В этом доминантность объемно-структурного строения высокопористых шлифовальных кругов и в этом их преимущество как абразивного инструмента.

Управлять работоспособностью шлифовальных кругов можно изменением статистических характеристик распределения абразивных зерен, введением различных по физико-механическим, химическим и морфологическим свойствам порообразователей,

оптимизацией их состава и объемного содержания. На этой основе достигнуты показатели технологичности изготовления и режущей способности абразивного инструмента с высокими номерами структур, существенно превосходящие известные аналоги, высокопористых шлифовальных кругов и инструмента нормальных структур.

Раскрытие причинно – следственной связи между объемно-структурным строением шлифовального круга и результатами процесса обработки. Выявление закономерностей этих связей и разработка на их основе феноменологических моделей стало удобным инструментарием для прогнозирования требуемых свойств шлифовальных кругов и оптимизации условий их работы.

Многолетний опыт работы [1] в промышленности свидетельствует, что даже при рекомендуемой характеристике шлифовального круга (по материалу абразива, его зернистости, твердости и структуре) не всегда можно добиться желаемого результата. Целый ряд факторов, которые не учитываются стандартной характеристикой абразивного инструмента, оказывает большое влияние на его работоспособность и соответствие условиям конкретной операции шлифования. К главным из них относятся рецептурный состав инструмента и условия его изготовления: регламент смешивания абразивной массы, режим прессования, сушки и обжига, технология механической обработки. Они определяют эксплуатационные свойства шлифовального круга – его фактическую пористость, объемно-структурное строение, эластичность связи абразивных зерен, твердость и ее стабильность в объеме инструмента, неуравновешенность масс, возможную рабочую скорость и др.

Только с учетом всех основных факторов производства абразивного инструмента можно обеспечить его адресное изготовление для ответственных операций шлифования. Это положение становится доминирующим в технологии машиностроения. Ранее проведенные исследования заключаются в применении различных схем охлаждения и удаления стружки не эффективны.

Основная часть. По научному плану поставлена задача разработать технологические процессы шлифования с целью получения низкого уровня шероховатости матового микрорельефа, очищения инструмента от стружки и выправление шлифовочного инструмента. Ранее

изученный способ чистовой обработки деталей [2] включал закрепление алмазных зёрен на подложке из использованных вольных абразивов. При этом обработка ведётся и алмазными и абразивными зёрнами.

Недостатки такого способа имеют ограниченное применение в технологическом процессе и использование способа только при обработке ограниченных деталей; большое ограничение размеров вольных абразивов; ограничено отделение микростружки; отсутствует способ охлаждения инструмента и детали. Исследован ещё один технологический процесс, где в зону шлифования подаётся охлаждающая жидкость [3], к сожалению, при выполнении шлифования, проявляются недостатки:

После контакта шлифовального круга с обрабатываемой деталью на её поверхности остаются направленные риски, которые не задерживают охлаждающей жидкости при эксплуатации детали;

Охлаждающая жидкость не очищает инструмент от стружки;

При шлифовании мягких материалов, таких как медь или алюминий, стружка накапливается в пористости шлифовального круга, что резко уменьшает показатели съёма материала инструментом;

Чтобы снять стружку со шлифовального инструмента его необходимо снять со станка и на специальном правильном станке провести обработку инструмента;

Чтобы снизить шероховатость на обрабатываемой детали необходима смена инструмента, с уменьшением величины абразивных зёрен;

В основу изобретения положена задача повысить качество чистовой обработки деталей на обрабатываемой поверхности и поднять уровень продолжения качества шлифовального инструмента, снимая с него стружку. При шлифовании всегда возникает проблема получения развитого микрорельефа, удаление стружки, очищение инструмента от стружки.

Решить указанную задачу предложено путем применения дальнейшей, после шлифования, операции чистовой доводки поверхности с применением гидроабразивной струйной суспензии, подаваемая в зону контакта круга с обрабатываемой поверхностью, увеличивая зернистость и количество зерен в суспензии с увеличением структуры шлифовального круга.

Экспериментально установлено, что зернистость суспензии используется от М50 до 12 относительно структуры круга от 5 до 12. Т.е. с увеличением структуры круга необходимо увеличивать зернистость. Одновременно установлено, что эффективность увеличивается если с увеличением структуры круга необходимо увеличивать количество абразивных зерен от 5 до 25%.

Поставленная задача решается тем, что необходимо контролировать и анализировать направленность, глубину и ширину рисок после шлифования, а также заполнение структуры высокопористых кругов стружкой.

При контакте шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью на ней остаются направленные параллельные риски, которые не разрешают создать масляемкий микрорельеф. Важным фактором является контроль накопления стружки в инструменте. Указанные параметры зависят от зернистости шлифовального круга, его высокопористой структуры и, конечно, пластических характеристик обрабатываемого материала. От этого и зависит выбор характеристик гидраабразивного потока, который входит в пространство между инструментом и обрабатываемой поверхностью.

Показателями нового способа есть:

Введение дополнительной операции для обработки детали;

Дополнительная операция является гидроабразивной обработкой;

Шлифование и гидроабразивная обработка выполняются одновременно, при этом первым в общей операции снимается материал шлифовальным кругом, деталь перемещается на встречу потока гидра абразивной суспензии, который снимает микростружку из отшлифованной поверхности;

Подбор размера абразивных зерен и их количество выполняется в зависимости от структуры шлифовальных кругов.

Выводы и перспективы дальнейших исследований. Главным выводом является повышение качества обработки шлифованием. При этом эффективность проявляется при использовании высокопористых шлифовальных кругов с применением в зазор с обрабатываемой деталью гидроабразивной струи. При этом образуется гидроёмкий микрорельеф, который способствует повышению износостойкости обработанных деталей.

Дальнейшие исследования посвящены теоретическим представлениям контакта высокопористого шлифовального круга и гидроабразивной струи. Важным фактором – получить подтверждение теоретических исследований на практических теоретических процессах.

При полном исследовании будет запланировано внедрение технологии в машиностроении. При этом главным параметром будет определение эффективности абразивных частиц и их количество в гидроабразивной струе. При таком теоретическом и экспериментальном исследовании, расширит внедрение новых технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старков В.К. Шлифование высокопористыми кругами. – М.: Машиностроение, 2007.–688 с.
2. А.С. СССР №445561, М. Кл.В24В, Способ изготовления износостойких поверхностей. М.А. Абдулин. Опубликовано 05.10.74. Бюллетень №37.
3. Тезган В.С. Плоское шлифование. – М.: Высшая школа, 1980.–168с.

Получено 13.03.2008 г.

УДК 621.924

А.Е. Проволоцкий, А.Н. Нарбутович-Кащенко

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ СТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ

Постановка проблемы в общем виде и её связь с важными научными и практическими задачами.

При струйной обработке исследуются различные режимы обработки с применением различных абразивных материалов с изменением конструкций струйных аппаратов, расходов сжатого воздуха и долговечности работы инструментальных материалов. Струйноабразивная обработка материала происходит в результате механического воздействия на него в виде резания или царапания твердых абразивных частиц. Механизм такого процесса заключается в послойном удалении материала с обрабатываемой поверхности в виде микростружки. Главным условием абразивной обработки является большая твердость абразивной частицы по сравнению с материалом поверхности. Анализ работ по струйной обработке поверхностей показывает, что на процесс абразивного воздействия влияют очень многие факторы: механические свойства детали и абразивной частицы; давление в струе; температурный режим; качество и шероховатость поверхности; смазочная среда; величина проскальзывания при качении и т.д., что, в конечном счете, влияет на качество обработанной поверхности.

Такая многофакторная зависимость исследуемого процесса представляет существенные затруднения при построении математической модели. Для ее формулировки нужно иметь математическое описание собственно абразивного воздействия в виде набора исходных параметров и ограничений, составляющие модель взаимодействия абразивной струи с обрабатываемой поверхностью.

Изучению взаимосвязи технологических параметров струйной абразивной обработки посвящены многочисленные исследования. В работе [1] предложен оригинальный матричный метод прогнозирования качества обработки, где параметры процесса ударного взаимодействия сведены к множествам: множество характеристик выполняемых операций; множество характеристик обрабатываемого материала; множество характеристик струи;

множество динамических характеристик гидроструйных аппаратов; наличие активизаторов процесса обработки. Однако прогнозировать с высокой точностью результаты обработки без учета характеристик абразивных материалов наполняющих струю невозможно. Кроме того, в работе отсутствуют предложения по расчету производительности обработки.

Основная часть. На основании вышеизложенного предлагается ввести новые множества в дополнение к представленным. Несмотря на то, что электромагнитное взаимодействие абразивной частицы с поверхностью происходит за очень малый промежуток времени, нельзя не учитывать процессы, которые при этом происходят. Как показывает практика, многократное действие электромагнитного поля существенно влияет на результат абразивной обработки. Разрушение обрабатываемой поверхности до заданной шероховатости электрической эрозией полимерными материалами приведены в экспериментальных исследованиях. Полимерные материалы заинтересовали технологов как материалы способные накапливать электрические заряды на своих поверхностях и вызывать электрическую эрозию обрабатываемых поверхностей в момент соударения. Это очень важно при обработке тонколистовых деталей, особенно из цветных металлов, когда возникает проблема накопления нежелательных остаточных напряжений, приводящая к короблению заготовок. Явления статической электризации тел в процессе их механического трения известны в различных областях науки и техники. Так, например, установлено электроэрозионное разрушение валов при контакте с резиновыми манжетами, накопление электрического заряда при транспортировке нефтепродуктов. В некоторых диссертационных работах приводились данные о накоплении зарядов при контакте шлифовального круга с обрабатываемой поверхностью.

Но ни в одной из известных работ не приводятся данные о технологической полезности этого явления.

Нами же поставлена цель технологического применения указанного явления. Процесс струйной обработки традиционными абразивными материалами, такими как карбид кремния, электрокорунд достаточно изучен, Процесс формирования микрорельефа представляет собой микрорезание острыми гранями

соударяющихся частиц. На многих схемах показана отдельная частица карбида кремния с острыми гранями. Если традиционные материалы и накапливают статический заряд, то уровень его настолько мал, что из-за утечек и за счет взаимного погашения эффекта электрической эрозии не наблюдается.

Высокий уровень напряженности электростатического поля можно достичь при использовании в качестве наполнителей струи диэлектрических материалов, степень электризации которых зависит от их диэлектрических свойств. Из литературных источников известно, что самыми лучшими диэлектрическими свойствами обладают полимерные материалы, которые и заинтересовали нас ранее как твердые наполнители струи, смягчающие ударное действие при соударении с тонколистовыми деталями.

Анализ литературы и экспериментальных, данных показывает, что электрическое зарядение полимерных диэлектриков, без приложения внешнего электрического поля может происходить как в результате трибоэлектрического эффекта, так и в результате их деформации в момент удара по обрабатываемой детали.

В случае струйной обработки зарядение происходит в результате трения полимерных сфер об эжекционный трубопровод, изготовленный из диэлектрика – резины и в результате трения друг о друга сфер, имеющих разные скорости движения.

Известно, что при трении двух разных диэлектриков из вещества с большей диэлектрической проницаемостью ε будет переходить больше электронов. Для интенсификации процесса зарядения полимерных сфер об эжекционный трубопровод был проведен анализ и выбор материалов, из которых изготавливают эжекционные трубопроводы. Применение обычной саженной резины не вызывает в полимерных частицах достаточного заряда. Наибольшую диэлектрическую проницаемость ε имеет вакуумная резина, которая не содержит в качестве наполнителя сажу.

Проведен анализ свойств различных полимерных материалов. Важнейшей характеристикой электризации полимеров является среднеквадратичный полупериод утечки электростатического заряда (T_{mrs}), который измеряется в секундах. Считается, что материал плохо электризуется при среднеквадратичном полупериоде утечки 10 сек.

Из представленных исследований можно сделать вывод, что если в качестве наполнителя струи выбрать частицы изготовленные из полистирола, поливинилхлорида и их производных, то эти частицы длительное время сохраняли бы накопленный заряд, который при продолжительной обработке будет суммироваться с зарядами других частиц. Кроме того, полимерные материалы этой группы имеют высокое значение объемного электрического сопротивления ρ находящееся в диапазоне $10^{10} - 10^{16}$ Ом·м.

Исследования возможностей применения для обработки материалов полистирольной группы привели к выбору сополимеров стирола, характеризующихся по сравнению, например, с полистиролом лучшими механическими и диэлектрическими свойствами. Соплимеры стирола имеют на 65% большую ударную прочность и на 25% меньшее относительное удлинение, чем у полистирола. Эти данные подтверждаются экспериментально. Стойкость сополимеров к разрушению значительно выше, чем у полистирола, что позволяет использовать их многократно, тем самым снижая расходы на материал для обработки. Диэлектрические свойства сополимеров значительно лучше, чем у полистирола, что позволяет утверждать о большей электризации сополимеров стирола.

Таким образом, в дальнейших исследованиях в качестве наполнителя струи использовались сополимеры стирола, механические и диэлектрические свойства которых удовлетворяют требованиям данного процесса. А в качестве материала эжекционного трубопровода использовалась вакуумная резина.

Таким образом, можно построить следующее множество $I = \{EP_j; GP_j\}$, в котором вектор IP_i определяет наличие электромагнитного взаимодействия абразивной частицы и обрабатываемой поверхности, а вектор GP_j - связанные с ним геометрические характеристики абразивных зерен:

$$I = \left\{ \begin{matrix} IP_1 & GP_1 \\ IP_2 & GP_2 \\ IP_3 & GP_3 \end{matrix} \right\}, \quad (1)$$

где IP_1 – диэлектрическая проницаемость; IP_2 – среднеквадратический полупериод утечки электрического заряда; IP_3 – статический электрический заряд, накапливающийся на поверхности абразивной частицы; GP_1 – размер и форма абразивной

частицы; GP_2 – зернистость абразивной частицы; GP_3 – распределение абразивных частиц по фракциям.

В свою очередь, компоненты вектора $F=\{FM_i\}$ являются физико-механическими свойствами абразивного материала:

$$F = \begin{Bmatrix} FM_1 \\ FM_2 \\ FM_3 \\ FM_4 \\ FM_5 \end{Bmatrix}, \quad (2)$$

где FM_1 – модуль упругости; FM_2 – коэффициент Пуассона; FM_3 – прочность на срез (ударная прочность); FM_4 – абразивная способность; FM_5 – концентрация абразивной частицы.

Таким образом, благодаря введенным составляющим характеристикам будут возникать новые зависимости с множеством выходных параметров $Q = \{PP_i; PP_j\}$, в частности с вектором, характеризующим поверхностную гидроструйную обработку PP ; со следующими компонентами коэффициентов:

PP_1 – геометрические параметры поверхностного слоя (PP_{11} – параметр шероховатости Ra , PP_{12} – неравномерность Ra , возникновение волн пластического деформирования поверхности, PP_{13} – длина опорной площадки);

PP_2 – напряженное состояние поверхностного слоя (PP_{21} – напряжения в приповерхностном слое, PP_{22} – толщина слоя пластического деформирования, PP_{23} – наличие микротрещин);

PP_3 – характеристики остаточной пленки (PP_{31} – толщина остаточного слоя, PP_{32} – неравномерность отделения, PP_{33} – открытость кристаллов приповерхностного слоя),

PP_4 – производительность процесса разрушения.

Возможные комбинации взаимодействия разных условий проведения струйной гидроабразивной обработки с учетом обозначений, принятых в работе [1], и вышеуказанных дополнений представлены на рисунке 1.

Выводы и перспективы дальнейших исследований Дальнейшее определение новых факторов влияния на режимы проведения обработки предопределяет развитие и уточнение сложной математической модели. С появлением новых технических решений определяются необходимые условия и их зависимости для получения

структурно-параметрического описания процесса абразивной обработки с целью получить наиболее приближенную к реальной математическую модель, отражающую опыт проектирования и достижения в области технологии машиностроения.

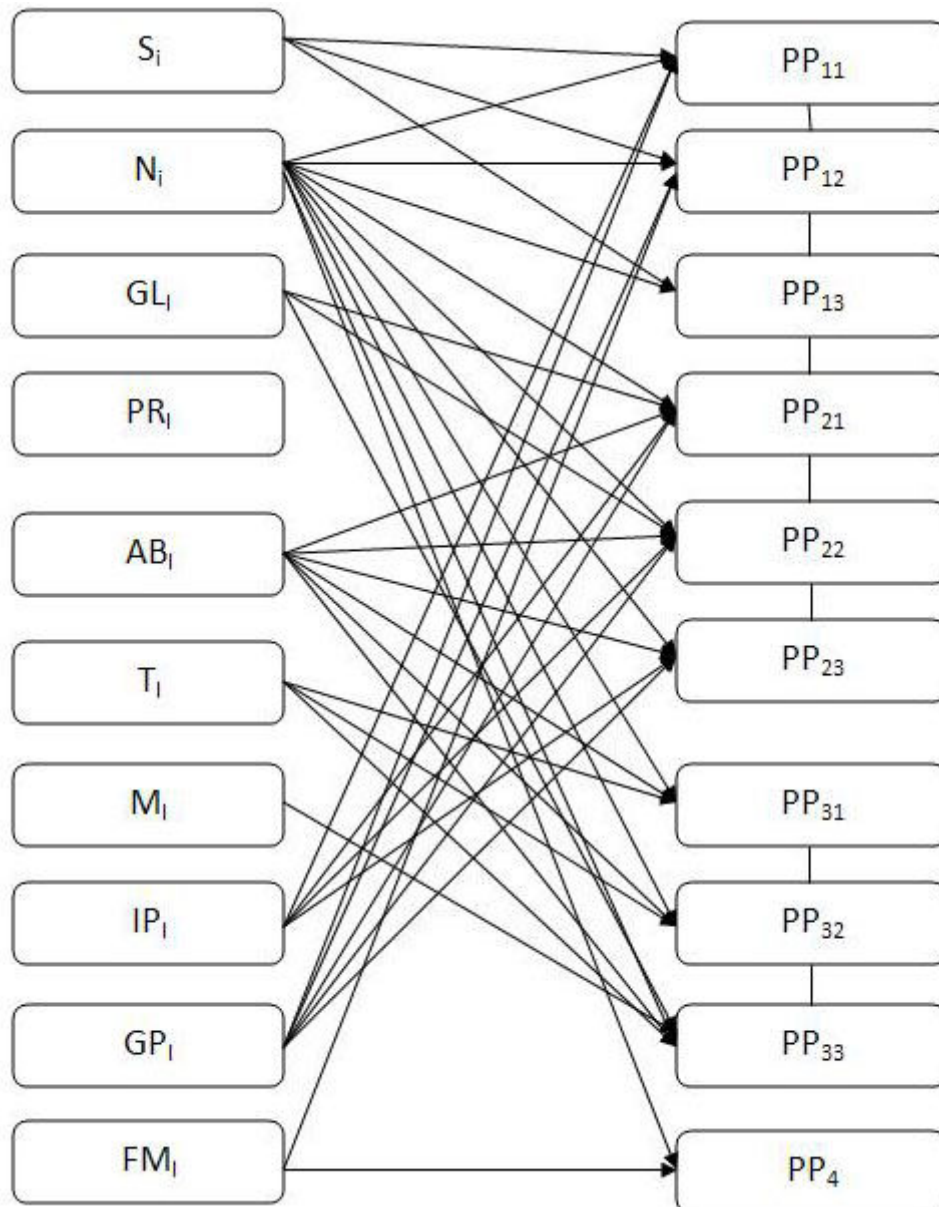


Рисунок 1 – Обеспечение параметров качества и управления при струйноабразивной обработке

ЛИТЕРАТУРА

1. Гавриш А.П., Саленко О.Ф. Забезпечення параметрів якості при гідрострумній обробці // Вісті Академії інженерних наук України. Дніпропетровськ, 1998.С.66-79.
2. Проволоцкий А.Е. Струйноабразивная обработка деталей машин. – К.:Тэхника, 1983 – 280 с.

Получено 13.03.2008 г.

УДК 621.757.001.57

А.Г. Ясев, Р.В. Пась, К.Г. Меженная

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Технология машиностроения характеризуется сложными связями (имеющими случайный характер) между многочисленными факторами, которые определяют результаты технологических процессов. Сложность явлений в технологии машиностроения обуславливает преобладание экспериментальных методов исследования, которые, обладая известной универсальностью по отношению к объектам исследования, имеют определенные ограничения для применения. К ним относятся, например, невозможность проводить эксперименты с большим количеством управляемых факторов, а также экстраполировать результаты на области изменения факторов вне области проведения экспериментов, приближенные результаты, высокая стоимость и трудоемкость.

Математическое моделирование позволяет дополнить арсенал методов исследования в технологии машиностроения, уменьшить некоторые недостатки экспериментальных методов и сохранить их преимущества. Особый интерес представляет разновидность математического моделирования, а именно имитационное моделирование с применением соответствующего программного обеспечения ЭВМ. В этом случае возможно применение положений и результатов известной [1] теории планирования экспериментов к так называемым имитационным экспериментам с математическими моделями (адекватность которых доказана [2]) технологии машиностроения. Кроме того, исключаются ограничения на количество факторов, сочетания значений факторов, количество имитационных экспериментов, а для воспроизведения случайного характера факторов можно использовать датчики «псевдослучайных» чисел программных приложений ЭВМ.

Имитационные планируемые эксперименты эффективно использованы авторами для исследования надежности технологических систем [3,4].

Целью статьи является уточнение общих положений и областей применения имитационных экспериментов для решения задач технологии машиностроения.

В технологии машиностроения одной из основных математических моделей, характеризующих результаты обработки, является выражение для определения суммарной погрешности, возникающей от совместного действия ряда факторов, при обработке на предварительно настроенных станках [5]:

$$\Delta_{\text{сум}} = \sqrt{\Delta_{y.d.}^2 + \varepsilon_y^2 + \Delta_n^2 + 3\Delta_{из}^2 + 3\Delta_{т.д.}^2 + \Delta_{д.з.}}, \quad (1)$$

где $\Delta_{y.d.}$ – погрешность обработки, возникающая в результате изменения упругих деформаций технологической системы под влиянием колебания нагрузок и переменной жесткости технологической системы;

ε_y – погрешность установки заготовки в приспособлении;

Δ_n – погрешность настройки станка на заданный размер

$\Delta_{из}$ – погрешность обработки от размерного износа режущего инструмента;

$\Delta_{т.д.}$ – погрешность обработки, вызываемая температурными деформациями технологической системы;

$\Delta_{г.с.}$ – погрешность обработки из-за геометрических неточностей станка

$\Delta_{д.з.}$ – погрешность обработки, возникающая в результате деформации заготовки.

Каждая из составляющих погрешности обработки включает в себя целый ряд технологических факторов, варьируя значения которых, можно установить их влияние на погрешность обработки.

Одна из рассмотренных задач – определение зависимости погрешности обработки от режимов резания; вторая – определение степени влияния станочных приспособлений на погрешность механической обработки.

Объект исследования – технологический процесс механической обработки изделия. Предмет исследования – математическая модель погрешности обработки на заданном этапе технологического процесса.

Построение упрощенной математической модели зависимости погрешности обработки от режимов резания может быть осуществлено при помощи имитационного эксперимента. При

планировании эксперимента в качестве факторов выбраны режимы резания: глубина (t), подача (S) и скорость резания (V), а функция отклика – погрешность обработки (Δ). В ходе полного факторного эксперимента все параметры варьируют на двух уровнях (минимум и максимум). Граничные значения приняты по справочным данным для цилиндрического шлифования [6]. Имитация проведения эксперимента осуществляется с помощью MathCAD. При этом для оценки воспроизводимости каждый опыт повторяется по три раза, варьируя изменение факторов в пределах 10% от их значений.

Таблица 1

Матрица планирования и результаты полного трехфакторного эксперимента

№ опыта	Факторы			Функция отклика, Δ , мкм		
	t , мм	S , мм/об	V_z , м/мин	1	2	3
1	$0,3 \pm 0,03$	$0,008 \pm 0,0008$	$25 \pm 2,5$	113,886	127,345	101,003
2	$0,3 \pm 0,03$	$0,008 \pm 0,0008$	10 ± 1	136,227	151,864	121,126
3	$0,3 \pm 0,03$	$0,004 \pm 0,0004$	$25 \pm 2,5$	79,487	88,033	71,329
4	$0,3 \pm 0,03$	$0,004 \pm 0,0004$	10 ± 1	93,964	98,975	84,180
5	$0,1 \pm 0,01$	$0,008 \pm 0,0008$	$25 \pm 2,5$	54,745	59,879	49,925
6	$0,1 \pm 0,01$	$0,008 \pm 0,0008$	10 ± 1	60,449	66,201	55,039
7	$0,1 \pm 0,01$	$0,004 \pm 0,0004$	$25 \pm 2,5$	42,668	45,772	39,885
8	$0,1 \pm 0,01$	$0,004 \pm 0,0004$	10 ± 1	45,898	49,374	42,634

После получения экспериментальных данных был проведен регрессионный анализ, и при помощи статистического аппарата программы Excel построен полином, выражающий связь между факторами и функцией отклика:

$$\Delta = 292,9292 \cdot t + 657,4378 \cdot S - 0,0733634 \cdot V - 2,868173 \quad (2)$$

Определены коэффициенты парной корреляции, проверена их значимость, а также выполнена проверка адекватности данной зависимости [2,7].

Данная математическая модель может использоваться для решения оптимизационных и других прикладных задач, например, для определения вероятности безотказной работы метода.

При проектировании станочных приспособлений необходимо, чтобы новые приспособления обеспечивали выполнение заданных параметров точности (допуски размеров, формы и расположения обрабатываемых поверхностей, шероховатости). Оценка точности состоит в сравнении величин действительной и допустимой погрешностей приспособления. Известны [8] модели для

предварительного определения действительной погрешности приспособления. В отличии от действительной, процедура определения величины допустимой погрешности менее определена.

Из выражения (1) можно выразить допустимую погрешность приспособления, приравняв суммарную погрешность механической обработки к допуску T :

$$[\varepsilon] = \sqrt{(T - \Delta)^2 - \Delta_{y.o.}^2 - \Delta_n^2 - 3\Delta_{из}^2 - 3\Delta_{m.o.}^2 - \Delta_{o.з.}^2} \quad (3)$$

Расчет по приведенной модели (2) довольно сложен, т.к. каждая элементарная погрешность требует своего, отдельного, довольно трудоемкого расчета, поэтому на практике используют [8] несколько упрощенную модель (3):

$$[\varepsilon] = T - k_y \omega, \quad (4)$$

где T – допуск выполняемого размера, мкм

k_y – коэффициент ужесточения ($k_y = 0,6 \dots 0,8$)

Δ – среднеэкономическая точность данного вида обработки, мкм

В большинстве случаев механическая обработка ведется с точностью, соответствующей среднеэкономической ($T \approx \Delta$), поэтому можно вести речь о том, что допустимая погрешность приспособления является частью допуска механической обработки:

$$[\varepsilon] = (1 - k_y)T \quad (5)$$

Очевидно, что от правильно выбранного коэффициента k_y зависит величина допустимой погрешности приспособления. Этот коэффициент определяет вес погрешности приспособления в общей погрешности механической обработки и может быть определен при помощи расчетов по математической модели (1).

Очевидно, что от правильно выбранного коэффициента k_y зависит допустимая величина погрешности приспособления. Для разных видов обработки (а также для разных размеров) коэффициент k_y принимает различные значения. Этот коэффициент определяет вес погрешности приспособления в общей погрешности механической обработки и может быть определен при помощи расчетов по математической модели (1).

Для примера рассмотрены несколько случаев механической обработки. В каждом из которых была определена доля погрешности приспособления в общей погрешности.

Наружное точение:

$$\Delta_{\text{сум}} = \sqrt{16.3^2 + 6^2 + 16^2 + 0.3^2 + 3^2 + 5.5^2} + 4.15 = 30.13 \text{ мкм}$$

$$k_y = 0,61$$

Растачивание на токарном станке:

$$\Delta_{\text{сум}} = \sqrt{8.8^2 + 6^2 + 16.3^2 + 0.41^2 + 3^2 + 5.5^2} + 4.15 = 18.32 \text{ мкм}$$

$$k_y = 0,673$$

Рассмотренные примеры иллюстрируют возможность практического применения математических моделей при решении технологических задач.

Выводы

1. Имитационное моделирование является эффективным инструментом для исследований технологических объектов и оптимизации их параметров.

2. Для использования имитационного моделирования необходимо:

- разработать математическую модель технологического объекта (при наличии модели следует доказать ее адекватность для конкретных условий и задач использования);
- установить законы распределения вероятностей факторов;
- разработать программную реализацию математической модели;
- построить план проведения имитационных экспериментов;
- провести имитационные эксперименты и обработать их результаты в соответствии с задачей, которая решается (например, исследование влияния факторов, оптимизация и т.п.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 254 с.
2. Ясев А.Г. Соответствие математических моделей и технологических процессов в металлургии и машиностроении. – Днепропетровск: Днепр-VAL, 2001. – 237с.
3. Ясев А.Г., Меженная К.Г. Моделирование отказа метода механической обработки // Математическое моделирование. – 2007. - №2 (17) – С. 112-115.
4. Ясев А.Г., Пась Р.В. Прогнозирование количества оснастки при технологической подготовке производства // Авиационно-космическая техника и технология. – 2005. - № 5. С. 5-8
5. Маталин А.А. Технология механической обработки. – Л.: Машиностроение, 1977. – 464с.

6. Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.Г. Косиловой. – М.: Машиностроение, т.1, 2 1973.
7. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 416с.
8. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. - М. Машиностроение, 1983. - 277 с.

Получено 12.03.2008 г.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК. 303.094.7

Л.В.Бобух, Т.Н.Сиволап, К.А.Бобух

ИНФОРМАЦИЯ КАК ПРОДУКТ И КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

Качество образования и качество общества являются взаимосвязанными и взаимообусловленными категориями. Повышение качества образования относят к основным факторам роста социально-экономического потенциала общества, а образование рассматривают как технологический процесс [1]. Эффективное управление процессами повышения качества образования основывается на знании объективных закономерностей, которые свойственны и этим процессам и основному участнику (объекту) – человеку.

Научное изучение объекта и технологических процессов предполагает создание модели и построение графиков. Успех во многом определяется удачей выбора координатной характеристики, её универсальности, возможности описания с её помощью качественных и количественных параметров объекта и процесса.

Накопленный в различных областях науки и обобщенный фактический материал позволил дать формулировку: биосистема (человек, в том числе) – система, обменивающаяся с окружающей средой энергией, элементами и информацией. Именно *информация* выбрана авторами в качестве связующего фактора (свойственного и биологическим и социальным системам), учет которого позволил моделировать и графически изображать сложные процессы образования.

Разработанные [2-4] закономерности изменения состояния энергоэлементных систем позволили графически представить объемную модель биосистемы в координатах Е-Э- τ в виде шара (рис.1). Биосистему нано-, микро-, макро уровней (ДНК-клетка-организм) с позиций физической химии рассматривают как

сопряжение качественных и количественных наборов энергий ($E=e_1, e_2, \dots, e_n$) и элементов ($\Theta=\vartheta_1, \vartheta_2, \dots, \vartheta_n$).

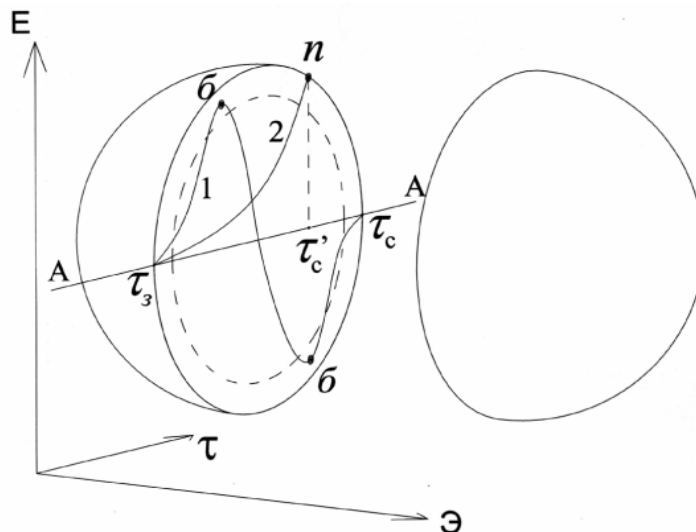


Рисунок 1 - Энергоэлементная модель биосистемы [2];
 $f(E;\Theta)$ – функция энергоэлементного состояния; τ – время существования биосистемы от зарождения (з) до смерти (с); А- А – линия энергоэлементного равновесия биосистемы

На рис.2 энергоэлементная модель биосистемы представлена в координатах $f(E;\Theta)$ - τ . Значение энергоэлементной функции, в пределах которых биосистема способна существовать, изменяется в течении жизни. Например, для человека в возрасте 10 лет отклонения $f(E;\Theta)$ от равновесия А-А, совместимые с жизнью, имеют границы 1÷1; в возрасте 30 лет - 3÷3; в возрасте 50 лет - 5÷5. Условно, до 30 лет наблюдается интенсивный рост значения энергоэлементного обмена, величина которого после 30 лет идет на снижение.

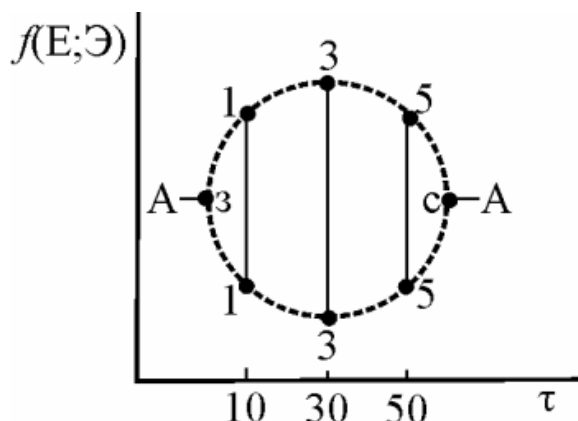


Рисунок 2 - Модель биосистемы энергоэлементная, в координатах $f(E;\Theta)$ - τ

Аналогично процессам энергоэлементного обмена, процессы информационного обмена биосистемы с окружающей средой также имеют выраженный максимум, условно в возрасте 30 лет (рис.3).

Общая информация I биосистемы формируется сопряженным взаимодействием энергий, элементов, информации (генетической, воспринятой, освоенной) и является неотъемлемой частью процессов жизнедеятельности биосистемы.

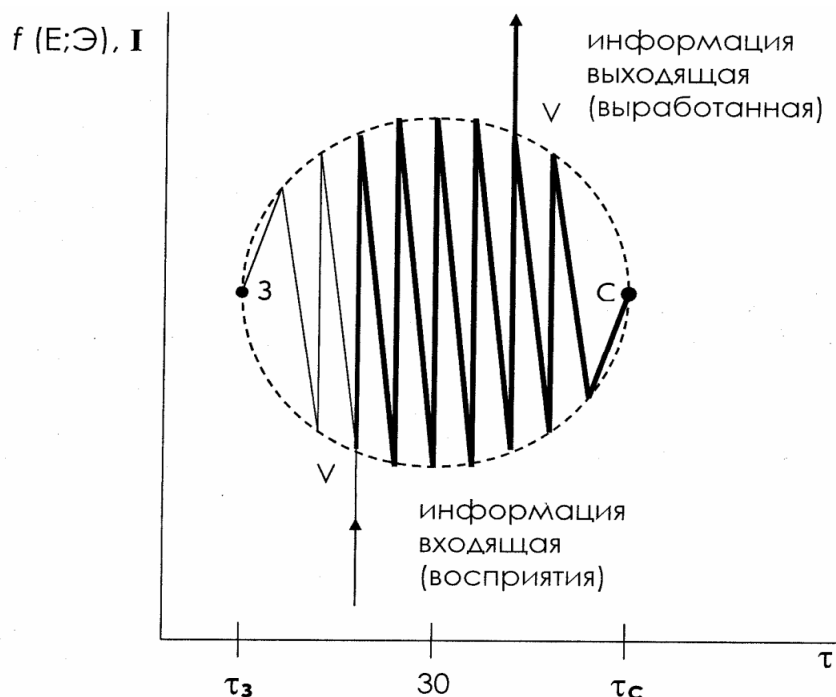


Рисунок 3 - Модель биосистемы энергоэлементно-информационная, в координатах $f(E;Э), I - \tau$

В момент зарождения (τ_z) биосистема на нано- уровне (ДНК) обладает генетической информацией, которая «заложена» в наследственных структурах в виде совокупности генов программы о составе, строении и характере обмена составляющих организм веществ. В процессе жизнедеятельности, на микро- уровне (клетка), биосистема воспринимает информацию из окружающей среды. На отрезке времени $V - V$ идут процессы освоения информации: сопряжение генетической и ранее освоенной, количественное накопление, трансформация в качественно новый вид информации, присущий только данной конкретной биосистеме. Трансформированная информация сохраняется в биосистеме как неотъемлемая часть и условие дальнейшего функционирования энергоэлементно- информационного сопряжения; а также может быть направлена биосистемой в окружающую среду на макро- уровне (организм) в виде выходящей «выработанной» информации.

Рассмотренные (рис.3) процессы – естественные, объективно существующие процессы обмена (в том числе и информацией) между биосистемой и окружающей средой.

Сообщество людей создало, применяет и совершенствует искусственный механизм (образование) и искусственные процессы (процессы образования) с помощью которых осуществляет интенсификацию работы естественной цепочки: восприятие, освоение, выработка информации.

Для интенсификации и оценки информационной работы конкретной биосистемы применяют механизмы и процессы:

- лекция (идет «начитка» массива изучаемого материала и его *восприятие* биосистемой);

- занятие – упражнение, семинарское занятие, лабораторный практикум, самостоятельная работа (идет «дробное» изучение частей лекционного массива и его *освоение* биосистемой на временном участке $V - V$);

- экзамен, любой другой вид оценочного контроля (идет оценка качества восприятия, освоения знаний и умений; при этом измеряют уровень *выработанной* биосистемой информации).

При изучении и научном описании процессов образования рационально именно «выработанную» информацию рассматривать как продукт образования, а ее уровень – как критерий качества образования.

Модель (рис.3) дает научное представление об общих закономерностях функционирования биосистемы как энергоэлементно-информационного сопряжения. Анализ этих закономерностей позволяет процессы обмена биосистемы энергией, элементами, информацией с окружающей средой выразить графически (рис.4). Стабильно высокие значения $f(E-\mathcal{E}-I)$ присущи биосистеме на условном временном отрезке $10 \div 50$ лет, с максимумом в 30 лет. Величина координатной характеристики I проходит через максимум, общий же запас накопленной информации биосистемы (величина площади под кривой) увеличивается в процессе жизнедеятельности $\tau_3 \div \tau_c$.

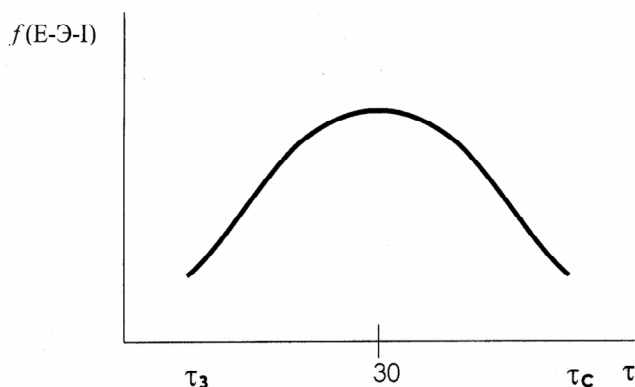


Рисунок 4 - Общая закономерность изменения интенсивности энергоэлементно-информационного обмена биосистемы с окружающей средой на протяжении жизни; $f(E-Э-I)$ – функция энергоэлементно-информационного обмена

Графически можно выразить процессы последовательной передачи информации между биосистемами (рис.5). Например, между биосистемами сменяющих друг друга поколений: a -дед, b -сын, d -внук. В процессе жизнедеятельности в момент осуществления информационного контакта (в качестве времени контакта условно выбрано тридцатилетие биосистем a , b , d .) происходит передача информации от биосистемы предыдущего поколения последующему (точки контакта I, N, F).

Осознанная, целенаправленная поддержка функционирования волны INF осуществляется обществом применением механизма образования. Учитель a в точке I передает информацию ученику b , который, в точке N (по отношению к системе d) выполнит роль учителя. При этом рост уровня информации в цепочке

I-N-F обеспечивается и способностью учителя обучать (предоставлять информацию высокого уровня), и способностью ученика обучаться (осваивать информацию и «вырабатывать» ее еще более высокого уровня). Эти закономерности эстафетно-возрастающей передачи информации объективны и имеют место в любом обществе.

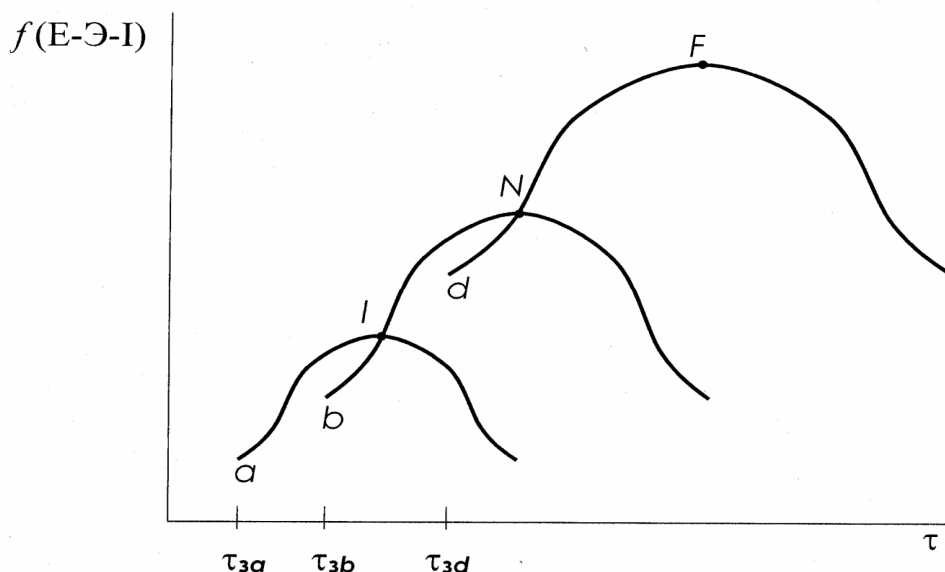


Рисунок 5 - Последовательный способ передачи информации между биосистемами a, b, d

Способы же ведения процессов образования могут быть различны. Выбор в пользу наиболее рационального способа ведения процессов образования в масштабе одного государства (например, традиционная в СНГ или осваиваемая Болонская система) определяется комплексом показателей, основными из которых являются: высокий уровень «выработанной» информации (качество образования), оптимальные временные и экономические затраты. На мировом рынке конкурентоспособным является то государство, система образования которого (семья, садик, школа, ВУЗ) обеспечивает непрерывность и крутизну информационной волны INF.

ВЫВОДЫ

1. Проведено обоснование выбора *информации* в качестве универсальной характеристики для описания процессов образования.
2. Разработана модель и представлены графики процессов образования в координатах *информация – время*.
3. Графически представлена картина последовательного, эстафетно-возрастающего способа передачи информации в цепочке учитель – ученик (учитель).

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаенко С. Качество высшего образования в Украине: взгляд в будущее // Высшая школа. 2006. №2. С.3-22.

2. Бобух Л.В., Бобух К.А. Общие закономерности и кинетическая диаграмма изменения состояния систем живой и неживой материи. Доклады АН Украины. 2001. №9. С.127-131. www.toees.narod.ru
3. Бобух Л. В., Джебян И.Э., Сиволап Т.Н. Физико-химические основы организации и развития биосистем. X Международная конференция, „Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов” (ICHMS' 2007). Судак (Крым, Украина). 22-28 сентября 2007. С. 522-525. Bobukh L. V., Dzhebyan I.E., Sivolap T.N. Physicochemical basics of biosystem's organization and development. X International Conference “Hydrogen Materials Science. Chemistry of Carbon Nanomatetials”. Sudak – Crimea – UKRAINE, 22-28 September 2007, p. 522-525.
4. Бобух Л.В., Сиволап Т.Н., Бобух Т.А. Общие закономерности информационных технологий в образовании. III Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании». 1-8 июня 2007, Варна, Болгария. Материалы Т.2. ст. 430-433. III International Coufereuce "Strategy of Quality in Industry aud Education". June, 1-8 2007, Varna, Bulgaria PROCEEDINGS Volume 2, p.430-433.

Получено 13.03.2008 г.

УДК 528.71+514.1

В.В. Гнатушенко

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЕКТИВНОЇ ГЕОМЕТРІЇ ПРИ ФОТОГРАММЕТРИЧНІЙ ОБРОБЦІ СТЕРЕОЗОБРАЖЕНЬ

Постановка проблеми

Однією з основних цілей стереофотограмметрії, як відомо, є точне відтворення кількісної геометричної інформації по декількох зображеннях однієї ділянки земної поверхні. Одним з напрямків сучасних досліджень є вдосконалювання методів вирішення основних фотограмметричних завдань, засноване, головним чином, на використанні положень проективної фотограмметрії. Проективна фотограмметрія (ПФ) заснована на положеннях проективної геометрії й матричного обчислення [1] і призначена для більш повного опису законів побудови зображення реальною камерою. Відмінною рисою ПФ є використання скалярної метрики, внаслідок чого координати й елементи орієнтування представляються безрозмірними числами — скалярами [1, 2]. Елементи внутрішнього й зовнішнього орієнтування знімків у явному виді тут не використовуються, що притаманно традиційній фотограмметрії, однак проективні параметри включають їх у себе й доповнюють їх. При необхідності традиційні елементи можуть бути виділені із проективних шляхом матричних перетворень [2].

Цифрова фотограмметрія заснована на об'єднанні двох наукових напрямків — аналітичної фотограмметрії й методів цифрової обробки зображень. Досить довгий час ці напрямки розвивалися незалежно й вирішували різні завдання. Розвиток обчислювальної техніки дозволив об'єднати ці методи обробки знімків, і в результаті з'явилася цифрова фотограмметрія. Гнучкість цифрових методів обробки відкриває необмежені можливості в створенні нових методик і технологій, розрахованих на рішення конкретних завдань й одержання нових видів продукції. При цьому "спеціалізовані" методи дозволяють вирішити конкретне завдання з меншими витратами, одержати результат швидше й з більш високою точністю, чим при використанні стандартних технологій.

Основними співвідношеннями ПФ є проєктивні й афінні перетворення просторів різної розмірності. Закон побудови реального знімка в загальному випадку (за винятком нелінійних перекручувань) описується проєктивним перетворенням тривимірного простору у двовимірне, що може бути представлене у вигляді рівнянь проєктивної колінеарності.

Проєктивні методи дозволяють також удосконалити процес побудови фотограмметричної моделі. Взаємне орієнтування пари знімків за допомогою проєктивного перетворення двовимірного простору у двовимірне дозволяє вирішувати дану задачу практично прямим методом.

Аналіз останніх досліджень

Серед останніх досліджень у даному напрямку слід виділити роботи [2-5], в яких розглядаються можливості геометричного моделювання та використання проєктивної геометрії для ефективного вирішення задачі взаємного орієнтування стереознімків. Традиційний спосіб взаємного орієнтування знімків використовує матриці напрямних косинусів [6]. Нелінійність виникаючих при цьому рівнянь поправок обумовлює їхню лінеаризацію шляхом узяття похідних від тригонометричних функцій, а також знання наближених значень шуканих параметрів. Разом з тим, при взаємному орієнтуванні, наприклад, похило-конвергентних знімків з великими кутами конвергенції (до 70°) і нахилу (порядку 10°) виникає необхідність визначення вихідних значень параметрів у кожному окремому випадку. У випадку їхнього неточного завдання кількість ітерацій зростає, а сам процес, як правило, розходиться.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Ці обставини ставлять задачу відшукування такого методу, що дозволить вирішувати задачу взаємного орієнтування при будь-яких значеннях кутів і без знання їхніх наближених значень.

Основна частина

В основі проєктивної моделі лежать афінні матриці A_i з параметрами взаємного орієнтування [2]:

$$A_1 r_1 = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ c_{21} & a_{22} & a_{23} \\ c_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix}; \quad A_2 r_2 = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Як відомо, умова взаємного орієнтування з нерухомим базисом має вигляд:

$$Y_1 Z_2 - Y_2 Z_1 = 0. \quad (2)$$

Виразивши зі співвідношень (1) значення для умови (2), одержимо:

$$\begin{aligned} Y_1 &= c_{21}x_1 + y_1; & Y_2 &= d_{21}x_2 + d_{22}y_2 + d_{23}; \\ Z_1 &= c_{31}x_1 + 1; & Z_2 &= d_{31}x_2 + d_{32}y_2 + 1; \end{aligned} \quad (3)$$

З урахуванням (3) рівняння поправок для взаємного орієнтування можна записати в такий спосіб:

$$C_1 x_1 x_2 + C_2 x_1 y_2 + C_3 x_1 + d_{31} y_1 x_2 + d_{32} y_1 y_2 - d_{21} x_2 - d_{22} y_2 - d_{23} - y_1 = V. \quad (4)$$

У процесі вирішення системи рівнянь (4), наприклад, методом найменших квадратів визначаються 8 параметрів:

$$\Delta = (C_1 \ C_2 \ C_3 \ d_{31} \ d_{32} \ d_{21} \ d_{22} \ d_{23})^T. \quad (5)$$

Елементи c_{21} і c_{31} визначаються додатково шляхом вирішення системи рівнянь щодо комбінованих параметрів C_1, C_2, C_3 . У результаті будуть отримані 7 проєктивних параметрів внутрішнього орієнтування, з яких складаються афінні матриці (1), на основі яких трансформуються знімки й обчислюються координати точок проєктивної моделі.

Рівняння поправок (4) вимагають багаторазового вирішення задачі й уточнення матриць (1) шляхом виконання лінійних ітерацій. Для цього можна застосовувати алгоритм попереднього трансформовування [2], що включає вирішення по формулах (4) з наступним трансформовуванням. Остаточне трансформовування вихідних знімків й обчислення координат точок моделі здійснюється після досягнення необхідної точності, для цього досить виконання 2-4 ітерацій.

Координати точок проєктивної моделі обчислюємо по наступних формулах:

$$R_M = N_1 A_1 r_1 = N_2 A_2 r_2 + B, \quad (6)$$

або, більш докладно:

$$\begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} = N_1 \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ c_{21} & a_{22} & a_{23} \\ c_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = N_2 \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & b_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_x = 1 \\ B_y = 0 \\ B_z = 0 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Перевірка вищевикладеного методу взаємного орієнтування багаторазово здійснювалася на основі штучних знімків з

випадковими помилками й показала точність вирішення задачі, яка є розмірною з величиною випадкових помилок штучно створених знімків. У процесі досліджень по обробці одиночної стереопари проєктивними методами здійснювалася побудова проєктивних моделей по реальних цифрових похило-конвергентних знімках. Величина залишкового поперечного паралакса становила при цьому порядку 0,2 пікселя, що відповідає сукупній точності побудови зображення і помилкам вимірів знімків.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Запропонований алгоритм дозволяє користувачам використовувати величезний потенціал аерокосмічних стереозображень, особливо високого просторового розрізнення, без наявності точної фізичної моделі сенсорів та GCP.

ЛІТЕРАТУРА

1. Калантаров Е.И., Говоров А.В., Никишин Д.А. Эволюция проєктивной фотограмметрии. // Сборник докладов международной научно-технической конференции, посвященной 225-летию МИИГАиК. — М.: МИИГАиК, 2004, с.66-70.
2. Калантаров Е.И. Курс лекций по проєктивной фотограмметрии. М.: МИИГАиК, 2000.
3. Гнатушенко В.В. Альтернативні геометричні моделі одержання супутникових зображень високого розрізнення // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків: ХДУХТ, 2004. — Вип. 8. — С. 48-53.
4. Гнатушенко В.В., Дмитрієва І.С. Моделі супутникових стереозображень високої просторової здатності // Геометричне та комп'ютерне моделювання. — Харків: ХДУХТ, 2006. — Вип. 14. — С. 72-78.
5. Хижниченко В.И. К вопросу о геометрической коррекции сканерных снимков земной поверхности // Исследование Земли из космоса. 1981. №4. С. 96-103.
6. Назаров А.С. Фотограмметрия. — М.: ТетраСистемс, 2006. — 368 с.

Получено 10.03.2008 г.

УДК 621.774.35.016.3

В.У. Григоренко, І.В. Маркевич

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ І ВАЖІЛЬНОЇ СИСТЕМИ СТАНІВ ХПТР

Вступ. Процес холодної роликової прокатки труб (процес ХПТР) використовують для отримання прецизійних особливотонкостіних труб [1,2].

Проблема. В процесі холодної роликової періодичної прокатки труб деформаційні і силові параметри по довжині робочого конусу (рис.1.) змінні [1,2].

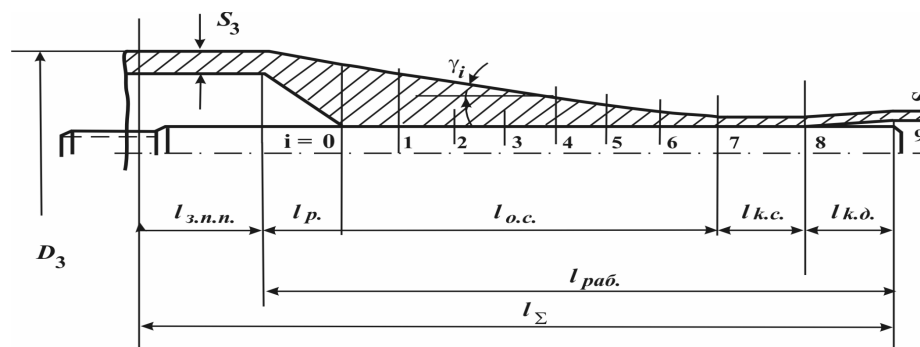


Рисунок 1 - Робочий конус у стані ХПТР: $l_{3.n.n.}$ - довжина ділянки подачі та повороту; l_r - довжина ділянки редукування; $l_{o.c.}$ - довжина ділянки обжиму стінки; $l_{k.c.}$ - довжина ділянки калібрування стінки; $l_{k.буд.}$ - довжина ділянки калібрування діаметру; $l_{раб.}$ - довжина робочої частини конусу розклатки; l_{Σ} - довжина ходу кліти; D_3 - діаметр труби заготовки; S_3 - товщина стінки труби заготовки; γ_i - кут конусності робочого конусу

Для важільної системи станів ХПТР (рис.2.) необхідно визначити на базі розрахунку параметрів процесу раціональні значення довжини плеч куліси (1).

При розрахунку параметрів процесу ХПТР створюється його математичний опис і його комп'ютерна реалізація [3,4].

Аналіз досліджень. Співвідношення пліч куліси впливає на величини площ зон випередження та відставання миттєвого осередку деформації. Значення основних параметрів можна визначити по залежностям [1,2]. На базі цих математичних залежностей було створено комп'ютерну реалізацію [4] для розрахунку значень основних параметрів процесу. Співвідношення довжин пліч куліси важільної системи (ОВ і ОА) вибирається з умов раціонального положення радіуса, що катає, на калібрі [2,3].

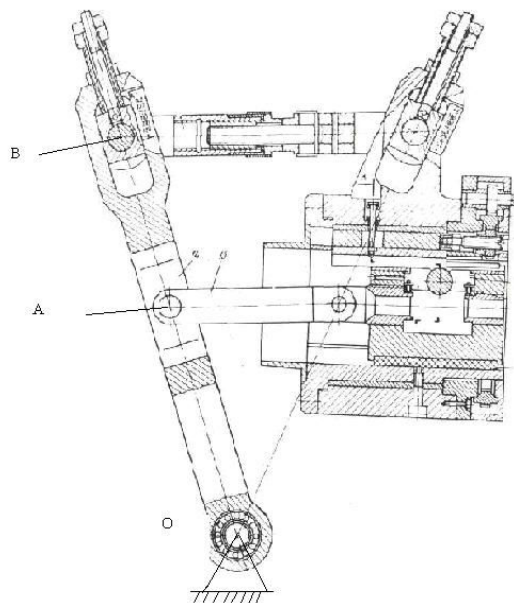


Рис. 2. Робоча кліть стану ХПТР: OA, OB – плечі куліси важільної системи.

$$\frac{OB}{OA} = \left(1 + \frac{R_{\text{ц}}}{R_{\text{к}}}\right) \quad (1)$$

де, $R_{\text{ц}}$ - радіус цапфи, $R_{\text{к}}$ - радіус, що катає.

Розрахунки параметрів важільної системи по наведеному вище методу виконують з використанням номограм [1], а потім при налагодженні стану підстроюють довжину пліч куліси.

Невирішене. Для більш точного розрахунку значень важільної системи необхідно створити комплексну комп'ютерну реалізацію математичного опису (який розраховує для заданого маршруту прокатки деформаційні, силові - силу прокатки та осьову силу, довжину пліч куліси, напругу на контакті труби – заготовки та труби, що прокатується).

Ціль розробки. Створити комплексну комп'ютерну реалізацію розрахунку параметрів процесу та важільної системи станів ХПТР.

Результати розробки. Комп'ютерна реалізація складена на базі математичного опису [1]. Комп'ютерна реалізація виконана так, що дозволяє вести розрахунок параметрів процесу в десятих контрольних перетинах у зоні обтиснення стінки робочого конуса (рис.1.). Реалізована також можливість підбора значень довжини пліч куліси с наступним виводом графіків значень осьових зусиль. Розрахунок параметрів процесу ХПТР здійснюється так, що дозволяє задаючи на вході необхідний маршрут прокатки, отримати на виході значення деформаційних параметрів, сили прокатки, осьових сил та

за допомогою розрахункового аналізу визначити раціональні значення довжини пліч важільної системи (рис. 3.).

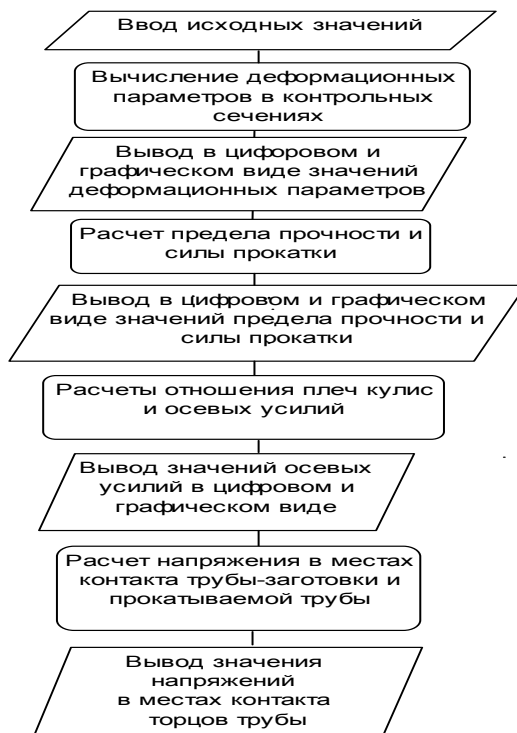


Рисунок 3 - Блок – схема розрахунку параметрів процесу і важільної системи станів ХПТР

Виконується також розрахунки напруги на площі контакту торців труби – заготовки і труби, що прокатується і відношення напруги плинку до напруги на площі контакту торців при різній довжині пліч куліси важільної системи.

При розрахунку всіх вище зазначених параметрів виводяться їх значення у десяти контрольних перерізах у графічному вигляді, що значно спрощує аналіз процесу (рис.4.).

Після комплексного розрахунку параметрів процесу ХПТР та його аналізу при заданому маршруті видаються рекомендації щодо раціональних значень параметрів важільної системи.

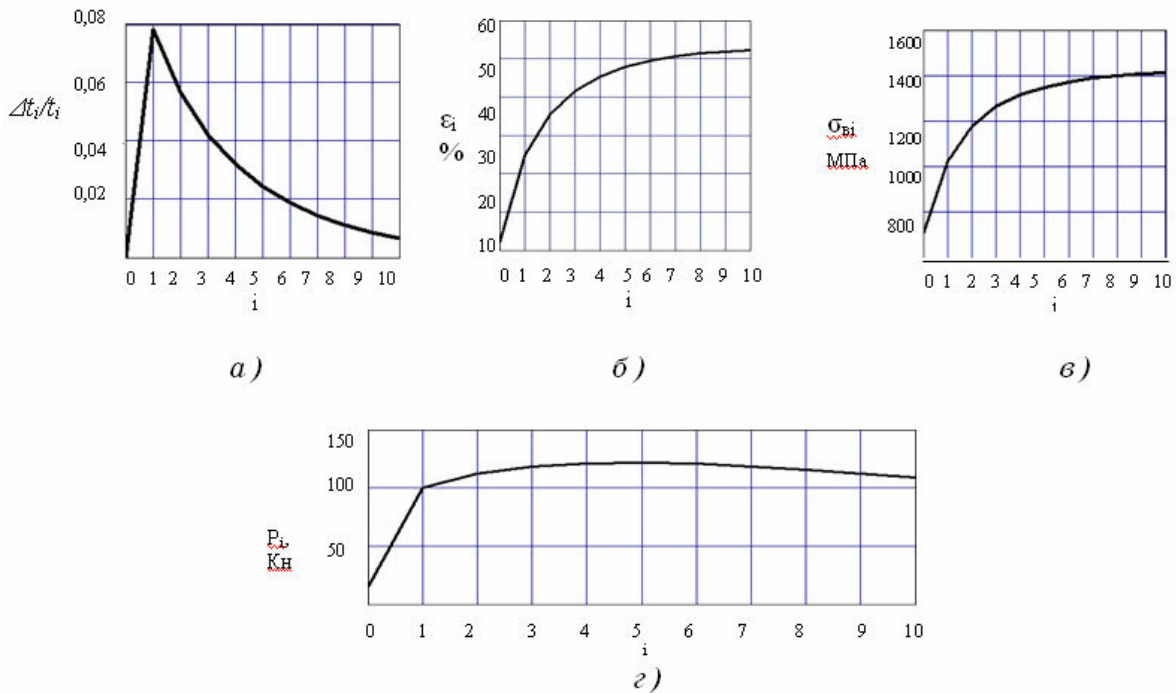


Рисунок 4 - Параметры процесса ХПТР 30Ч1,4 → 28Ч0,7, $m=4$ мм, стан ХПТР 15-30, сталь 12Х18Н10Т; а) – отношения абсолютного обтиску до толщины стінки; б) – відносний обтиск входної площі поперечного перерізу труби заготовки; в) – межа міцності; г) сила прокатки.

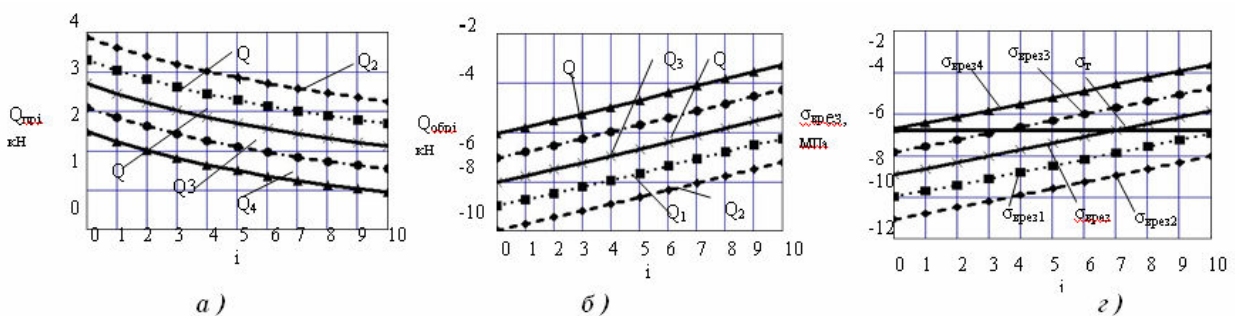


Рис. 5. Осьові зусилля в контрольних перетинах при прокатці маршруту 51Ч1,5 → 47Ч1,03 зі сталі 2Х18Н9Т, а – значення осьових зусиль при прямому ході кліт; б – значення осьових зусиль для зворотного ходу кліт: Q_1, Q_2 , - осьові зусилля при значеннях довжини плеча куліси ОА рівних ОА+1 мм и ОА + 2 мм, Q - розрахункове осьове зусилля, Q_3, Q_4 - значення осьових зусиль при значеннях довжин плеч куліси ОА рівним ОА – 1 мм и ОА – 2 мм; в - Напряга врізу виникаюча на площі контакту труби - заготовки та труби; $\sigma_{vрез}, \sigma_{vрез1}, \sigma_{vрез2}, \sigma_{vрез3}, \sigma_{vрез4}$ - напруги врізу виникаючі при різних значеннях довжини плеча куліси; ОА, ОА + 1 мм, ОА + 2 мм, ОА – 1 мм, ОА – 2 мм; σ_T - межа плину.

Висновки. Створено інформаційну систему комп'ютерної реалізації комплексного визначення раціональних параметрів процесу і важільної системи стану ХПТР. Це дозволяє проводити аналіз значень деформаційних параметрів, сили прокатки, осьових зусиль в залежності від підстроювання параметрів важільної системи для

конкретного маршруту і марки стали, а також розрахувати напруги на площадках контакту труби- заготовки і труби, що прокатується.

Перспективи. Подібні розробки відкривають можливість широкого використання ЕОМ для аналізу і підбору раціональних параметрів процесу та налагодження важливої системи для реальних маршрутів прокатки труб з конкретних марок сталей [3,4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевакин Ю.Ф., Сейдалиев Ф.С. Станы холодной прокатки труб:- М.: Металлургия , 1966. - 211 с.
2. Вердеревский В.А. Роликовые станы холодной прокатки труб – М.: Металлургия, 1992. - 240 с.
3. Маркевич І.В Математическая модель расчета параметров процессов холодной прокатки труб роликами и ее компьютерная реализация,,: Тези доповідей міжнародної науково - технічної конференції, присвяченій 100 – річчю з дня народження С.З. Юдовича „Машини і пластична деформація металів”, стор.21
4. Григоренко В.У., Маркевич И.В. Анализ деформационных и силовых параметров процесса холодной периодической роликовой прокатки на базе разработанной компьютерной реализации его математического описания:„Системні технології - 2008”, Дніпропетровськ.

Получено 20.03.2008 г.

УДК 656.212.5:681.3

И.В.Жуковицкий, Д.А.Остапец

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ СКАТЫВАНИЕМ ВАГОНОВ ОТ ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

Обзор проблемы и постановка задачи

На ряде металлургических предприятий разгрузка сыпучих грузов из полувагонов осуществляется с использованием специальных устройств – вагоноопрокидывателей. Одним из способов уборки порожних вагонов после выгрузки на вагоноопрокидывателе является их скатывание под воздействием силы тяжести на пути накопления. Скоростью скатывания необходимо управлять так, чтобы скатывающийся вагон докатился до группы стоящих на пути накопления вагонов и столкнулся с ними со скоростью, не превышающей допустимую (для порожних вагонов – 2,1 м/с).

Для целей управления скатыванием могут использоваться средства механизации – вагонозамедлители, чаще всего нажимного типа с пневмоприводом (тормозные балки, сжимающие колеса вагона усилием сжатого воздуха). Управляют вагонозамедлителями операторы, включая «на глазок» одну из ступеней торможения (определяется уровнем давления воздуха, воздействующим на тормозные балки) в процессе прохождения вагона по участку торможения. Дальнейшее управление скоростью перемещения вагона на пути накопления выполняется вручную, путем подкладывания специальных тормозных башмаков под колеса вагона.

Практика показывает, что качество управления при этом невысокое – значительная часть вагонов либо не докатывается до состава на пути накопления, либо ударяется в «хвост» состава с недопустимо высокой скоростью, что ведет к повреждению вагона.

В 1989 году Днепропетровским институтом инженеров железнодорожного транспорта (ДИИТом) по заказу металлургического комбината им. Ильича (г. Мариуполь) была разработана и введена в промышленную эксплуатацию на ст. Рудная автоматизированная система управления скоростью скатывания

порожних вагонов от двух стационарных роторных вагоноопрокидывателей (АУСВ-У) [1]. Система была построена на базе двух управляющих вычислительных комплексов СМ-1800 и позволила в автоматическом режиме управлять замедлителями тормозных позиций, расположенных на пути скатывания порожних вагонов после их выгрузки на вагоноопрокидывателе. В качестве чувствительных элементов в системе использованы нестандартные (разработки ДИИТа) точечные датчики скорости ДС-2.

Однако, оборудование УВК СМ-1800 к настоящему времени морально устарело, физически изношено и не в полной мере обеспечивает качественную и надежную работу систему АУСВ-У. Поэтому руководством меткомбината принято решение об очередной модернизации системы. В качестве ядра новой системы использован управляющий вычислительный комплекс на базе современных промышленных микропроцессорных контроллеров (МК) фирмы «Advantech». Реконструированная система получила название АУСВ-МК.

Наиболее сложной частью системы является подсистема автоматического управления скоростью движения вагона. Однако, структура этой системы с учетом точечных датчиков скорости и МК в контуре управления должным образом не исследована.

Анализ структуры цифровой системы управления торможением отцепа

Структура цифровой системы управления торможением вагона замедлителями тормозной позиции показана на рис.1.

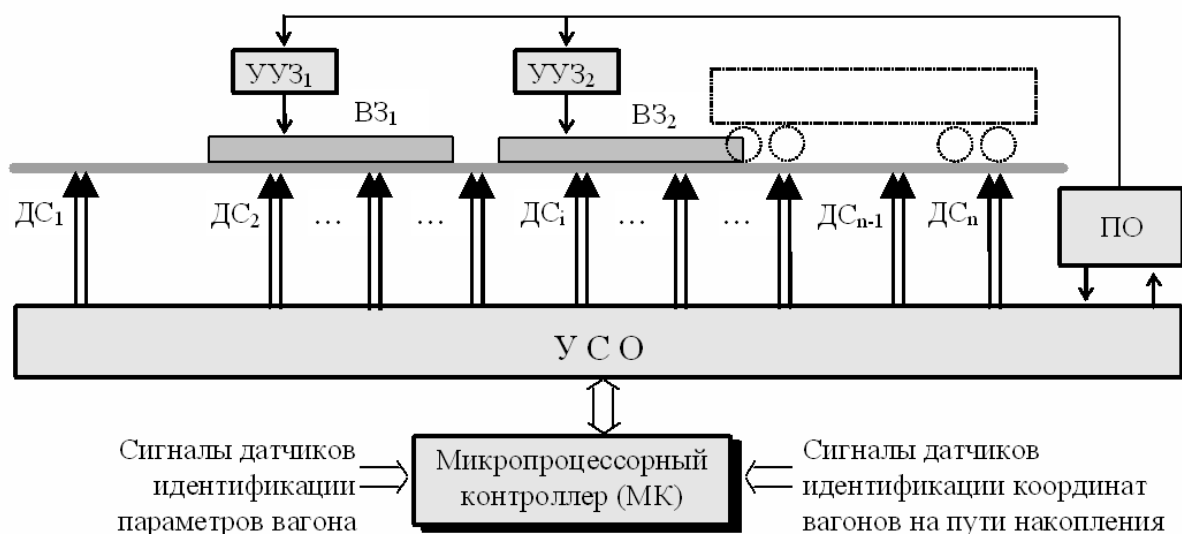


Рисунок 1 - Структура цифровой системы автоматического управления торможением вагона в замедлителе

Участок тормозной позиции (ТП) оборудован вагозамедлителями ($BЗ_1$ и $BЗ_2$). Устройство управления замедлителем (УУЗ) обеспечивает ступенчатое изменение усилия нажатия тормозных балок (ступени торможения). Для этой цели предусмотрен локальный (встроенный в конструкцию пневмопривода) регулятор давления манометрический (РДМ).

Выдача команд на УУЗ (выбор ступени торможения) производится цифровым регулятором на базе МК. В качестве сигналов обратной связи в системе используются сигналы от дискретного измерителя скорости, который построен на специальных точечных датчиках скорости, разработанных на кафедре ЭВМ ДИИТа (датчики ДС-2). Точечный датчик скорости представляет собой две катушки индуктивности, расположенные в одном корпусе на расстоянии (по магнитным центрам) S_B равном 200мм. Корпус датчика закрепляется на рельсе и при прохождении реборды колеса возникает временной интервал t_V между моментами возникновения э.д.с. e_1 и e_2 , наводимыми в катушках индуктивности (рис. 2). При этом скорость вагона рассчитывается по элементарной формуле:

$$V = \frac{S_B}{t_V}.$$

Весь путь торможения вагона в замедлителе разбит на ряд участков торможения (в общем случае разной длины), на границах которых установлены точечные датчики скорости ДС1...ДС n . Съём информации и выработка управляющего воздействия производится в моменты наезда каждой оси вагона на каждый из этих датчиков.

Управляющие команды МК через аппаратуру пульта оператора (ПО) поступают на устройства управления замедлителями УУЗ $_1$ и УУЗ $_2$, которые обеспечивают включение замедлителей на выбранную ступень торможения.

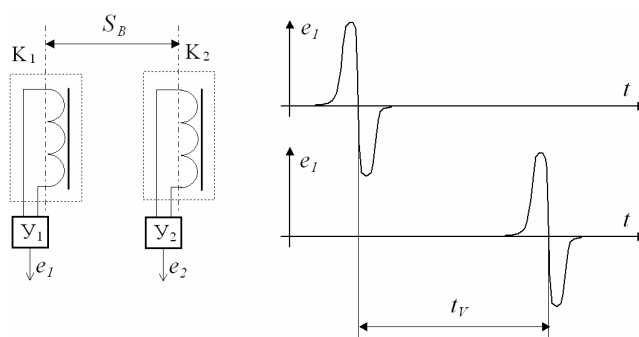


Рис. 2. Принцип измерения скорости точечным датчиком.

$K1, K2$ – катушки индуктивности;
 $Y1, Y2$ – усилители.

Связь напольного оборудования, а также пульта оператора с МК осуществляется через модули связи с объектом (УСО).

МК регулятора связан с другими подсистемами – принимает от них информацию о параметрах вагона (так называемые «ходовые свойства») [2], о расположении вагонов на пути накопления и на этом основании рассчитывает заданную скорость выхода из ТП [3].

Функциональная схема такой системы автоматического управления приведена на рис. 3. На объект управления ОУ (отцеп) действует управляющее воздействие – тормозное усилие балок замедлителя FWT и возмущающие воздействия: F_i – составляющая силы тяжести, ускоряющая отцеп на уклоне i , F_W – силы сопротивления скатыванию.

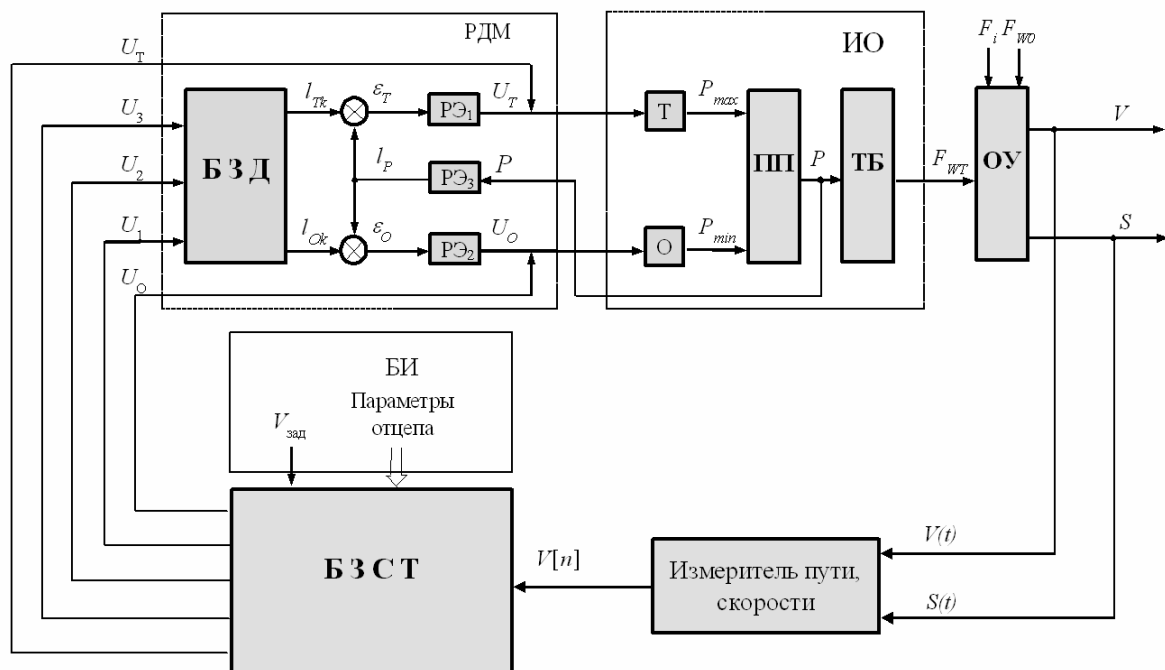


Рисунок 3 - Функциональная схема цифровой системы автоматического управления торможением отцепа в замедлителе

Скорость входа вагона на n -й участок торможения $V^*[n]$ и номер n этого участка измеряются блоком измерения пути, скорости, реализованным в виде набора точечных датчиков скорости, установленных на определенном расстоянии друг от друга вдоль пути следования вагона в зоне торможения. В отличие от традиционных импульсных систем, где происходит квантование координаты времени, данную систему удобно представить как импульсную систему с квантованием по пути. Аналогом периода квантования Δt здесь является длина участка торможения L_n , которая, в общем

случае, может быть непостоянной величиной, зависящей от номера участка и номера оси вагона, которая на этот датчик наехала. Так как сигнал от точечного датчика скорости идентифицирует не только координату скорости вагона, но и координату пути (номер датчика однозначно связан с его координатой пути), то в данной системе присутствует лишь один общий блок “Измеритель пути, скорости”, на выходе которого формируется значение скорости $V^*[n]$, квантованное по пути.

Блок задания ступеней торможения БЗСТ представляет собой вычислитель (МК). На его вход кроме сигналов обратной связи $V^*[n]$ поступает информация из других подсистем (блок идентификации – БИ): сигналы идентификации параметров тормозимого вагона и параметров, характеризующих положение вагонов на пути накопления (заданное расстояние пути следования после выхода тормозимого вагона из ТП). На основании этих параметров МК рассчитывает заданную скорость выхода вагона с тормозной позиции – $V_{зад}$. На основании $V_{зад}$ и сигналов обратной связи $V^*[n]$ БЗСТ вырабатывает сигналы управления замедлителями – вектор ступеней торможения $\vec{U}$. Компоненты этого вектора – отдельные ступени торможения – цифровые элементы, которые могут принимать значения (0,1). В составе вектора один и только один элемент принимает значение 1, а остальные – значения 0. Количество ступеней торможения определяется конкретным типом замедлителя. Традиционно в большинстве типов замедлителей пять ступеней торможения, включая нулевую или оттормаживающую U_0 и максимальную U_T .

Замедлитель в данной системе управления является исполнительным органом (ИО). Его выходной сигнал – тормозное усилие F_{WT} – формируется тормозными балками (блок ТБ), сжимающими колёса отцепа за счёт усилия сжатого воздуха в цилиндрах замедлителя (давление P на входе ТБ). Давление, в свою очередь, вырабатывается сжатым воздухом, который накапливается в воздухохоборнике (на функциональной схеме представлен как пневмопривод ПП). Воздухохоборник же может быть подсоединён либо к магистрали сжатого воздуха P_{max} через тормозной электропневмоклапан Т, либо к наружному воздуху P_{min} через оттормаживающий электропневмоклапан О. Управление этими

электропневмоклапанами (ЭПК) производится локальным регулятором давления манометрическим – РДМ, который предназначен для поддержания в воздухоборнике давления, соответствующего выбранной ступени торможения. Сигналы ступеней торможения UO и UT поступают соответственно на оттормаживающий O и тормозной T электропневмоклапан, минуя РДМ. Сигналы же $U1, U2, U3$ поступают на вход блока задания давления (БЗД). Этот блок является релейным преобразующим звеном, вырабатывающим сигналы lTk и lOk . ($k=1,2,3$ – номер сигнала Uk , принявшего значение 1 или, другими словами, выбранная БЗСТ ступень торможения). Величины lTk и lOk представляют собой координаты k -й группы гибких контактов (две пары), через которые могут подключаются тормозной T и оттормаживающий O электропневмоклапан соответственно.

Сигналы lTk и lOk сравниваются с величиной l_p , являющейся аналогом давления P в цилиндрах замедлителя и представляющей собой перемещение конца изогнутой упругой трубки, соединённой с воздухоборником. Разностные сигналы εT и εO с элементов сравнения поступают на релейные элементы РЭ1 и РЭ2. На выходе релейного элемента появляется сигнал UT , если $\varepsilon T < 0$ или UO , если $\varepsilon O > 0$.

Так, если давление, соответствующее выбранной ступени торможения, меньше, чем в цилиндрах замедлителя, то и $\varepsilon T = (lTk - l_p) < 0$. На выходе РЭ1 появится сигнал UT , который откроет тормозной ЭПК T . Давление на выходе ПП будет увеличиваться до тех пор, пока величина l_p , пропорциональная P , не сравняется с lTk , после чего сигнал UT примет нулевое значение, тормозной ЭПК закроется и давление P перестанет увеличиваться.

Аналогично происходит работа РДМ при выборе ступени торможения, соответствующее давление которой меньше, чем в цилиндрах замедлителя.

Алгоритм выбора ступени торможения защищен декларационным патентом [4].

Программное обеспечение системы спроектировано и отлажено в лабораторных условиях с использованием аппаратно-программного имитатора. Монтаж системы АУСВ-МК на объекте планируется в 2008 году.

Выводы

Анализ структуры системы управления торможением отцепов замедлителями тормозной позиции показал, что в отличие от традиционных импульсных систем, где происходит квантование координаты времени, данную систему удобно представить как импульсную систему с квантованием по пути. Аналогом периода квантования Δt здесь является длина участка торможения L_n . *Набор точечных датчиков скорости целесообразно представить в виде одного общего блока "Измеритель пути, скорости", на выходе которого формируется значение скорости $V^*[n]$, квантованное по пути.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Моргачев В.Д., Майшмаз К.Г., Жуковицкий И.В., Бубело Н.И. Система автоматического управления скоростью скатывания вагонов. // Черная металлургия. – 1989. – №11. – С.74-75.
2. Жуковицкий И.В. Расчет скорости выхода отцепов с прицельной тормозной позиции сортировочной горки в системах APC // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 4. – С.62-66.
3. Жуковицкий И.В. Методы идентификация ходового сопротивления отцепов на участках с переменным уклоном // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 1999. – № 3. – С.17-19.
4. Деклараційний патент № 14781 на корисну модель u200512895 Україна, МПК(2006) B61L 17/00. Жуковицький І.В., Остапеч Д.А. Пристрій керування уповільнювачем для регулювання швидкості скочування вагонів / Заявлено 30.12.05. Опубл. 15.05.06, Бюл. №5. 4с.

Получено 18.03.2008 г.

УДК 681.3.012:621.1

В.П. Иващенко, Г.Г. Швачич, А.А. Шмукин

**ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ И ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА****Постановка проблемы исследований**

Технологические операции, протекающие в печах и агрегатах металлургического производства, являются высокотемпературными теплофизическими процессами [1,2]. В первую очередь это технологии выплавки и разливки железоуглеродистых сплавов, нагрева, прокатки и термической обработки металлопродукции, а также вспомогательного оборудования, к которому относятся завалочные машины, ковши, чаши и др. Практика показывает, что ни интенсификация процессов металлургического производства, ни конструктивное совершенствование разнообразного металлургического оборудования не возможны без изучения и анализа явлений тепло и массообмена.

Система уравнений, описывающих подобные процессы, включает систему дифференциальных уравнений в частных производных, выражающих законы сохранения массы, импульса и энергии, уравнений диффузии для каждой компоненты в течениях многокомпонентного газа и уравнения состояния. В наиболее полной постановке такой системой уравнений являются уравнения Навье-Стокса, в различных частных случаях используются и различные упрощенные модели: уравнения Эйлера, пограничного слоя, вязкого ударного слоя и т.д. Эти уравнения содержат ряд коэффициентов, зависящих как от выбора системы координат, так и характеризующих физические свойства среды: коэффициенты вязкости, теплопроводности и диффузии. Если воспользоваться понятием эффективных коэффициентов турбулентного переноса, то общий вид уравнений сохраняется и для осредненных параметров турбулентных течений.

Кроме этого, например, для разработки рациональной технологии электротермической обработки труднодеформируемых марок стали требуются специальные меры по подготовке структурно-фазового состояния металла: исследование механизма и кинетики

фазоупрочнения, определение интервала пластичности при многоциклической технологии обработки металлопроката. В этом случае к уравнениям механики сплошной среды подключаются и проблемы электродинамики – уравнения Максвелла. В результате имеем математическую модель, состоящую из систем уравнений с очень большим числом неизвестных, решения которых находятся на грани возможностей существующих средств вычислительной техники.

К настоящему времени сложилась такая ситуация, когда решение одномерных нестационарных задач может осуществляться с точностью, достаточной для большинства технических запросов. О массовом решении трехмерных нестационарных задач на нынешнем уровне технической возможности и на базе традиционных методов, разработанных к настоящему времени, можно говорить, только учитывая следующие обстоятельства.

Во-первых, появление новых и недорогих средств коммуникации вычислительной техники стимулировало развитие новых информационных технологий (ИТ): структурного программирования; сетевых операционных систем; объектно-ориентированного программирования, систем параллельной обработки информации и т.д. Организация параллельной обработки информационных потоков, связь проблем распараллеливания с архитектурой ПЭВМ, системы параллельного программирования, методы и алгоритмы параллельных вычислений – вот те ключевые темы развития вычислительной техники на данном этапе.

Во-вторых, к настоящему времени наметились определенные тенденции по развитию вычислительных методов со сложной логической структурой, имеющих по сравнению с традиционными конечно-разностными методами более высокий порядок точности. Серьезным прогрессом в области решения многомерных пространственных задач можно считать ряд предложений, не совсем эквивалентных друг другу, но преследующих одну стереотипную цель – свести задачу трехмерного распределения области изменения переменных к последовательности схем, включающих неизвестные величины лишь в одном направлении – попеременно продольном, поперечном и вертикальном [3,4]. Заметим, что использование неявных схем при этом приводит к системам линейных

алгебраических уравнений (СЛАУ), имеющих трехдиагональную структуру. Таким образом, принятие в качестве методологической основы разностных схем расщепления, во-первых - обеспечивает экономичную и устойчивую реализацию численных моделей методом скалярных прогонок. И, во-вторых, - известно, что наибольший эффект от параллельного процессора достигается в тех случаях, когда он применяется для выполнения матричных вычислений линейной алгебры.

Статья посвящена разработке современных вычислительных математических технологий кластерного типа для приближенного решения начально-краевых задач металлургической теплофизики. Под *вычислительными математическими технологиями кластерного типа* здесь понимается совокупность вычислительных методов со сложной логической структурой, имеющих по сравнению с традиционными конечно-разностными методами более высокий уровень порядка аппроксимации. При этом вычислительные эксперименты реализуются при помощи параллельного процессора кластерного типа, что обеспечивает процедуру моделирования многомерных задач в реальном масштабе времени и существенно сокращает время проведения машинных экспериментов.

Актуальность темы исследований

В настоящее время машинное моделирование является одним из наиболее распространенных и мощных методов исследования сложных систем. В статье рассматривается класс задач, решение которых при помощи классического (последовательное) моделирования (особенность его состоит в том, что реализуется на однопроцессорном компьютере) занимает неприемлемо долгое время (недели и месяцы).

Время решения подобных задач можно существенно сократить, если для моделирования использовать многопроцессорные ЭВМ [5-7].

Для того чтобы в полной мере использовать преимущества, предоставляемые такими ЭВМ, в статье решены следующие задачи:

- сконструированы алгоритмы решения задач с учётом возможностей параллельной обработки данных несколькими процессорами одновременно;

- реализован процесс вычислений таким образом, чтобы каждый процессор использовался наиболее полно, и при этом суммарное время решения задачи стремилось к минимуму.

Проблемы, возникающие при разработке параллельных вычислительных систем, как правило, являются первостепенными и требуют глубокого изучения и исследования. Действительно, распределенное (параллельное) компьютерное моделирование охватывает весь спектр современной вычислительной техники: суперкомпьютеры, кластерные вычислительные системы, локальные и глобальные сети. Кроме того, распределенное моделирование позволяет решать задачи, требующие большого количества процессорного времени, интегрировать математические модели, которые обрабатываются на различных (в том числе и географически отдаленных) вычислительных системах.

В настоящее время в мире наблюдается стремительный рост числа многопроцессорных вычислительных систем кластерного типа и их суммарной производительности. Одновременно растет потребность в имитационных моделях сложных систем, требующих большого количества вычислительных ресурсов. Однако широкому внедрению машинного моделирования для многопроцессорных вычислительных систем препятствует отсутствие или недоступность систем распределенного моделирования. В этой связи, проблемы конструирования вычислительных кластеров, а также разработки вычислительных алгоритмов для параллельного процессора являются актуальными и первостепенными.

В связи с отмеченным, можно указать основные черты рассматриваемых в статье компьютерных технологий – параллельность и эффективность, базирующихся на современных численных методах. Параллельность вызвана необходимостью решать задачи настолько большой размерностью, что это возможно лишь на параллельных компьютерах с распределенной памятью. Распределенная память подразумевает разбиение данных на блоки, каждый из которых обрабатывается отдельным процессором, поэтому блочность алгоритмов характерна для большинства параллельных методов и технологий.

Эффективность связана с разумным распределением и использованием вычислительных ресурсов, для достижения заданной

точности расчетов минимальными вычислительными затратами, или, что равнозначно, для повышения точности расчетов на заданной вычислительной системе. Одним из самых мощных средств повышения эффективности технологии является ее адаптация к конкретной задаче.

В статье рассматриваются два вида адаптивности: адаптивное построение расщепленной математической модели и адаптация алгоритма решения дискретных задач. Таким образом, ключевыми инструментами при разработке параллельных и эффективных вычислительных технологий являются блочность и адаптивность, которые проявляются на двух основных этапах решения начально-краевых задач – построения адекватных схем расщепления и выделения независимых переменных, обеспечивающих технологичность передачи информации от границ области, и решении порожденных ими систем.

Область применения предлагаемых методов и алгоритмов включает прямые и обратные прикладные задачи металлургической теплофизики, а также параллельную дискретную обработку данных в виде графиков и картины изолиний. При этом для данных интерполяционного типа обеспечивается необходимая гладкость представления соответствующих изолиний при минимальных объемах выборки.

Цель исследования

заключается в конструировании и исследовании новых параллельных численно-аналитических методов адаптивного комплексного решения начально-краевых задач с учетом априорной информации об искомых функциях и применение этих методов к решению актуальных прикладных задач металлургического производства.

Основная часть исследований

Математическая постановка задачи

Рассмотрим решение краевой задачи Дирихле для уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial Y}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 Y}{\partial x^2}, \quad x \in [x_0, x_L], \quad t \in [t_0, T] \quad (1)$$

с начальным

$$Y|_{t=t_0} = \varphi(x) \quad (2)$$

и граничными условиями

$$Y|_{x=x_0} = YW(t), \quad Y|_{x=x_L} = YL(t). \quad (3)$$

Области определения искомой функции $Y(t, x)$ в задаче (1)-(3) сопоставим сеточную область

$$\left. \begin{aligned} t_j &= J \times Dt1, \quad j = \overline{1, M}, \quad Dt1 = T/M, \quad M \in Z \\ x_p &= p \times Dx1, \quad p = \overline{0, 2m}, \quad Dx1 = (x_L - x_0)/2m, \quad m \in Z \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где введение целочисленного параметра m в топологию построения сеточных узлов по пространственной переменной x будет освещено ниже. Рассмотрим способ дискретизации задачи (1)-(3) по схеме метода прямых [3,4,8].

Конечно-разностная схема. Простейшая неявная схема по времени и центральные разности по координате x приводят к СЛАУ

$$C_p Y_{p+1,1} - Y_{p,1} + D_p Y_{p-1,1} = f_{p,1}, \quad p = \overline{1, 2m-1}, \quad (5)$$

где

$$\left. \begin{aligned} C_p &= D_p = \frac{A}{(1+2A)}, \quad A = \frac{\alpha}{Dx1^2} Dt1 \\ f_{p,1} &= -\frac{YO_{p,1}}{(1+2A)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Здесь сеточные функции $Y_{0,1} = fW(t_j)$, $Y_{2m,1} = fL(t_j)$, — несут информацию о граничных условиях (3), а правые части $f_{p,1}$ — о начальных, так как сеточные функции $YO_{p,1}$ берутся с предыдущего $j-1$ -го временного слоя. Следовательно, численный алгоритм (5),(6) является эволюционным и состоит из актов перехода от одного момента времени t_{j-1} к другому $t_j = t_{j-1} + Dt1$.

Распараллеливание СЛАУ (5),(6) при помощи перестановок (алгоритм «нечетно-четной» редукции описан в [6].

Схема метода прямых [8]. После дискретизации уравнения (1) по временной переменной получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$Y''_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x) - \frac{1}{A} Y_{p+\varepsilon_{x,1}}(\varepsilon_x) = -\frac{1}{A} YO_{p+\varepsilon_{x,1}}(x), \quad (7)$$

где $YO_{p+\varepsilon_{x,1}}(x)$ — известная начальная функция,

$$\varepsilon_x = \frac{(x - x_p)}{(x_{p+1} - x_p)} \in [-1, +1] \quad - \quad \text{нормированная пространственная}$$

переменная.

Общее решение уравнения (7) представляется в конечном виде:

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(\varepsilon_x) = Y_{p+\varepsilon_x,1}^*(\varepsilon_x) + C_p C \eta \beta(\varepsilon_x) + D_p S \eta \beta(\varepsilon_x), \quad (8)$$

где C_p, D_p – константы интегрирования;

$Y_{p+\varepsilon_x,1}^*(x)$ – некоторое частное решение неоднородного уравнения (7);

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{A}} \quad - \quad \text{собственные числа характеристического уравнения.}$$

Определив константы интегрирования C_p, D_p из условий при $\varepsilon_x = \pm 1$:

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(\varepsilon_x)|_{\varepsilon_x \pm 1} = Y_{p \pm 1,1}, \quad (9)$$

получим решение уравнения (7) в следующем виде:

$$\begin{aligned} Y_{p+\varepsilon_x,1}(\varepsilon_x) = & \left\{ Y_{p+\varepsilon_x,1}^*(\varepsilon_x) + \frac{S \eta \beta(1+\varepsilon_x)}{S \eta \beta(2)} [Y_{p+1,1} - Y_{p+1,1}^*] + \right. \\ & \left. + \frac{S \eta \beta(1-\varepsilon_x)}{S \eta \beta(2)} [Y_{p-1,1} - Y_{p-1,1}^*] \right\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Положив в (10) $\varepsilon_x = 0$, перейдем от распределенной формы решения к его дискретному аналогу в форме СЛАУ (5), но с другим функциональным наполнением:

$$\left. \begin{aligned} C_p = D_p = \frac{S \eta \beta(1)}{S \eta \beta(2)} = \frac{1}{2C \eta \beta} \\ f_{p,1} = C_p Y_{p+1,1}^* - Y_{p,1}^* + D_p Y_{p-1,1}^* \end{aligned} \right\}, p = \overline{1, 2m-1}, \quad (11)$$

отличающегося от рассмотренного конечно-разностного метода, имеющего форму (6).

Распараллеливание СЛАУ (5) численно-аналитическим методом прямых

Рассмотрим вариант распараллеливания СЛАУ (5) для случая, когда ее функциональное наполнение имеет вид (11), где гиперболические функции являются линейными комбинациями базисного решения двухточечной краевой задачи (7), а правые части совокупностью его частных решений. Поскольку этот алгоритм

построен на точных кусочно-аналитических решениях, то эти обстоятельства должны каким-то образом способствовать процессу распараллеливания СЛАУ (5). Для реализации этой идеи предлагается использовать метод прогонок [4].

Известно, что в методе прогонок процедура прямой прогонки реализуется рекуррентно формированием двух последовательностей $E_p, G_p, (p = \overline{1, 2m-1})$ по формулам:

$$E_p = \frac{C_p}{1 - D_p E_{p-1}}, \quad G_p = \frac{D_p G_{p-1} - f_{p,1}}{1 - D_p E_{p-1}}, \quad (12)$$

где старт для данной задачи обеспечивается входными параметрами

$$E_0 = 0, G_0 = Y_{0,1} = fW(t_j). \quad (13)$$

После завершения процедуры прямой прогонки в направлении возрастания индекса p вплоть до $p = 2m-1$, процедура обратной прогонки выполняется по рекуррентной формуле:

$$Y_{p,1} = E_p Y_{p+1,1} + G_p \quad (14)$$

в направлении убывания индекса p от $p = 2m-1$ до $p = 1$. Старт этой процедуры обеспечивается выполнением условия $Y_{2m,1} = fL(t_j)$, реализующего ввод в алгоритм прогонок правого граничного условия (3).

Оказывается, что использование функционального наполнения для коэффициентов C_p, D_p и правых частей $f_{p,1}$, в форме (11), позволяет реализовать процедуру прямой прогонки в конечном виде и представить выражения для вычисления коэффициентов последовательностей E_p и G_p по формулам (12) как функций номера сеточных узлов:

$$\left. \begin{aligned} E_p &= \frac{s\eta\beta(p)}{s\eta\beta(p+1)}, \\ G_p &= \frac{1}{s\eta\beta(p+1)} \left[Y_{0,1} - \sum_{i=1}^p f_{i,1} s\eta\beta(i) \right] \end{aligned} \right\}, \quad p = \overline{1, 2m-1}. \quad (15)$$

Именно эти обстоятельства далее позволяет подстановкой выражений по формулам (15) в рекуррентную формулу обратной прогонки (14), найти решение СЛАУ (5) в замкнутой форме относительно любого узла сеточной области (4):

$$Y_{2m-\nu,1}(\nu) = \frac{1}{s\eta\beta(2m)} \left\{ \begin{aligned} & s\eta\beta(2m-\nu) \left[Y_{2m,1} - \sum_{i=1}^{\nu} \frac{s\eta\beta(i)}{s\eta\beta} f_{2m-i,1} \right] + \\ & + s\eta\beta(\nu) \left[Y_{0,1} - \sum_{i=1}^{2m-1-\nu} \frac{s\eta\beta(i)}{s\eta\beta} f_{i,1} \right] \end{aligned} \right\}, \nu = \overline{1, 2m-1}, \quad (16)$$

где гиперболические функции являются комбинациями базисных решений однородных СОДУ (7), имеющих форму двухточечных краевых задач, а комплексы $f_{p,1} = Y_{p+1,1}^* - 2c\eta\beta Y_{p,1}^* + Y_{p-1,1}^*$ – совокупностью его частных решений.

Конкретизируем форму частных решений, формирующих правые части исходной СЛАУ(5) в неявном виде. Пусть начальные функции, входящие в уравнение (7), заданы квадратичными зависимостями как функции аргумента ε_x :

$$Y_{0_{p+\varepsilon_x,1}}(\varepsilon_x) = Y_{0_{p,1}} + \varepsilon_x Y_{0_{p,2}} + \varepsilon_x^2 Y_{0_{p,3}}, \quad (17)$$

где

$$\left. \begin{aligned} Y_{0_{p,2}} &= \frac{1}{2}(Y_{0_{p+1,1}} - Y_{0_{p-1,1}}), \\ Y_{0_{p,3}} &= \frac{1}{2}(Y_{0_{p+1,1}} + Y_{0_{p-1,1}} - 2Y_{0_{p,1}}) \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

центрально разностные операторы первого и второго порядка.

Легко убедиться, что функция

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}^*(\varepsilon_x) = \left\{ (Y_{0_{p,1}} + 2A \times Y_{0_{p,3}}) + \varepsilon_x Y_{0_{p,2}} + \varepsilon_x^2 Y_{0_{p,3}} \right\} \quad (19)$$

удовлетворяет тождественно дифференциальному уравнению (7) и, следовательно, является его частным решением.

Учитывая особенности вычисления гиперболических функций, входящих в решение (16), приведем его к виду

$$Y_{2m-\nu,1}(\nu) = \left\{ \begin{aligned} & \left[\ell^{-\beta\nu} \frac{\bar{s}\eta\beta(2m-1)}{\bar{s}\eta\beta(m)} YL(t_j) + \ell^{-\beta(2m-\nu)} \frac{\bar{s}\eta\beta(\nu)}{\bar{s}\eta\beta(m)} YW(t_j) \right] - \\ & - \left[\frac{\bar{s}\eta\beta(2m-\nu)}{\bar{s}\eta\beta(2m)} \sum_{i=1}^{\nu} \ell^{-\beta(\nu-i)} \bar{f}_{2m-i,1} \frac{\bar{s}\eta\beta(i)}{\bar{s}\eta\beta} + \right. \\ & \left. + \frac{\bar{s}\eta\beta(\nu)}{\bar{s}\eta\beta(2m)} \sum_{i=1}^{2m-1-\nu} \ell^{-\beta[2m-(\nu+i)]} \bar{f}_{i,1} \frac{\bar{s}\eta\beta(i)}{\bar{s}\eta\beta} \right] \end{aligned} \right\}, \nu = \overline{1, 2m-1}, \quad (20)$$

где приняты следующие обозначения:

$$\left. \begin{aligned} \bar{f}_{p,1} &= (Y_{p+1,1}^* + Y_{p-1,1}^*) \ell^{-\beta} - 2\bar{c}\eta\beta \times Y_{p,1}^*, \\ \left\{ \frac{\bar{c}\eta b}{\bar{s}\eta b} \right\} &= \frac{1}{2}(1 \pm \ell^{-2b}), \quad b > 0 \end{aligned} \right\}. \quad (21)$$

Таким образом, алгоритм (20), (21) абсолютно устойчив для любых входных данных, имеет максимальную параллельную форму и, следовательно, минимально возможное время его реализации на $\nu = 1,2m - 1$ параллельных вычислительных устройствах. Если можно назначить один процессор на один узел расчета, то становится возможным проведение расчетов во всех узлах сеточной области параллельно и одновременно.

Процесс моделирования освещаемого класса задач реализован при помощи вычислительного кластера.

Особенности конструирования вычислительного кластера

Конструктивно вычислительный кластер представляет собой вычислительную систему, построенную из стандартных вычислительных узлов, объединенных быстродействующей низколатентной (малоинерционной) компьютерной сетью. Заметим, что при освещении вопросов конструирования и применения вычислительных кластеров часто рассматривают понятие латентности. Под латентностью здесь понимают время самого простого взаимодействия узлов кластера через коммуникационную среду. Эти понятия вводятся для оптимизации сетевых взаимодействий.

Практическая реализация вычислительного кластера предполагает наличие главного (управляющего, MASTER) узла и некоторых подчиненных (SLAVE) вычислительных узлов. Как правило компиляция и сборка исполняемых кодов программ осуществляется MASTER-машиной, иницирующей соответствующие вычислительные процессы и рассылающей исполняемые коды программ по SLAVE-машинам. Данные MASTER-машиной рассылаются путем применения какого-либо из интерфейсов: MPI (Message Passing Interface) или PVM (Parallel Virtual Machine).

На рис. 1 представлена структурная схема разработанного авторами вычислительного кластера. Кластер собран из 5 системных блоков идентичной конфигурации: Sempron 2000, 256 Mb RAM DDR 400, HDD Samsung 40 Gb, Mb KT-600 ECS, Radeon 9200, Codegen 300 W, net card Realtek 8139. Системные блоки подключены в сеть по технологии Ethernet 100BaseT через сетевой коммутатор (switch), физический тип соединения – «звезда». Кластер работает под управлением ОС Linux. Связь между узлами кластера осуществляется посредством протоколов TCP/IP с использованием технологии MPI.

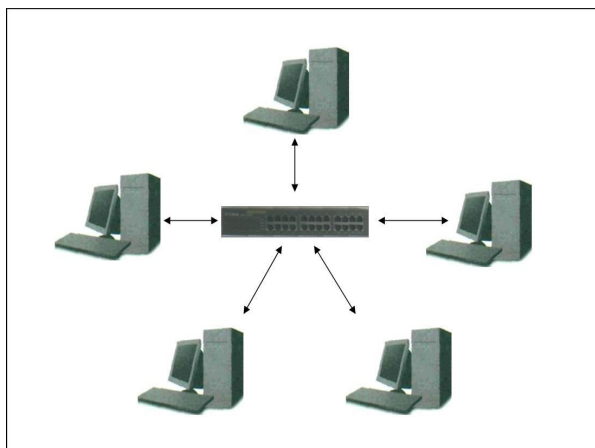


Рисунок 1 - Структурная схема вычислительного кластера

В зависимости от составленного алгоритма вычислений процесс работы такого кластера может развиваться по одному из направлений:

- на всех компьютерах вычислительного кластера запускается одна также программа;
- MASTER-машина готовит данные, необходимые SLAVE-машинам и рассылает их в виде MPI - сообщений, а затем собирает с них обработанную информацию для интерпретации.

Заметим, что внутри общей программы MASTER-машина и SLAVE-машины идентифицируют себя посредством специальной переменной – идентификатора.

Авторы статьи убедились, что современные технологии позволяют создать вычислительный кластер при минимальном навыке выполнения хозяйственных работ, а также принимая во внимание присущий большинству молодых исследователей уровень знаний системного и пользовательского ПО.

Вычислительный кластер, структурная схема которого представлена на рис.1, является инструментальной средой, предназначенной для приобретения навыков управления и программирования многопроцессорных систем. Заметим, что вследствие применения Linux, стандартных систем программирования и управления ресурсами, аналогичным профессиональных кластерных систем, процесс переноса наработанного программного обеспечения на большие кластерные системы максимально прост и удобен. Кроме того, мощные вычислительные системы не отвлекаются на выполнение рутинных (отладочных операций).

Хотя заметим, что системное программное обеспечение вычислительного кластера должно давать возможность работы как в режиме Windows (подготовка текстового материала, обмен сообщений по E-Mail, привычный режим работы в INTERNET и т.д.) и одновременно управлять работой вычислительного кластера в среде Linux. Проблемы функционирования Windows – кластера, особенности совместной работы Linux – кластера и операционной системы Windows авторы надеются осветить в ближайших публикациях.

Заметим, что компьютерные вычислительные кластеры дополнительно стимулировали развитие новой области знаний – технологии параллельных вычислений (ТПВ), основные особенности которой для рассматриваемого класса задач освещаются в следующем разделе статьи.

В настоящее время на кафедре прикладной математики и вычислительной техники создан персональный вычислительный кластер. Особенности его конструирования, формирования программного обеспечения авторы собираются изложить в ближайших публикациях.

Вычислительные эксперименты

Эффективность предложенного подхода иллюстрируется решением задач нестационарной теплопроводности, некоторыми особенностями моделирования обратных задач исследования теплофизических свойств материалов, задач прогноза экологических систем под влиянием естественных и антропогенных факторов. Для наглядности рассмотрим некоторые особенности математического моделирования обратных задач исследования теплофизических свойств материалов

Итак, рассматриваются тепловые задачи металлургической теплофизики. Их постановка формулируется с точки зрения соотношений причина – следствие. К причинным характеристикам теплообменного процесса в соответствии с принятой математической моделью отнесены граничные условия и их параметры, начальные условия, теплофизические свойства и т.д.

Заметим, что решение задач теплопроводности (ЗТ) дает возможность по заданным, известным из теплового или численного эксперимента температурным полям, определять различные

причинные характеристики теплообменных процессов в системе твердое тело - окружающая среда. Под причинными характеристиками обычно подразумеваются коэффициенты уравнений, начальные поля, граничные условия, характеристики области интегрирования и т. д. Обратные задачи теплопроводности (ОЗТ) являются некорректно поставленными, поэтому методы их решения сложнее, чем соответствующих прямых задач. Разработан алгоритм и выявлены особенности решения коэффициентных ОЗТ.

Предложенный подход реализован в виде ППП.

Краткая иллюстрация работы ППП

В данном разделе статьи речь идет о ППП, предназначенном для обработки данных теплофизического эксперимента. При этом, основная цель, которая преследовалась при создании ППП – это оказание существенной помощи исследователю на всех этапах обработки теплофизического эксперимента.

Работа ППП иллюстрируется рисунками 2-4.

Рисунок 2 - Ввод исходных данных

Результаты решения задач могут представляться как в виде таблиц, так и соответствующими графическими зависимостями.

Решение тестовой коэффициентной ОЗТ методом математического моделирования

В качестве тестовой задачи рассмотрим образец цилиндрической формы, изготовленный из материала с теплофизическими свойствами [9] (кокс из газового угля, стр.41, Таблица 42-кокс формованный):

$$\lambda = 0.161 + 0.024 * 10^{-2} * T$$

$$C = 1.281 + 0.208 * 10^{-2} * T$$

Плотность кокса из газового угля $\rho = 1912, \text{кг}/\text{м}^3$. С такими теплофизическими свойствами моделировалось температурное поле образца, имеющего цилиндрическую форму ($\kappa = 1$). При заданном линейном по времени изменении температуры на границе образца ($TL = 20 + 100 * \tau$) температурное поле для конкретного момента времени $\tau = a_0 t / L^2 = 0.5$, где $a_0 = \lambda_0 / \rho c_0$ ($\lambda_0 = 1, c_0 = 1$), приведено на рис. 3, 4.

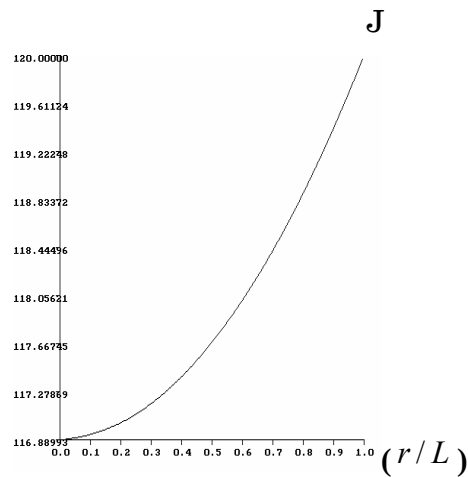


Рисунок 3 - Изменение температуры по сечению образца в момент времени

$$\tau = \tau_1 = 0.5$$

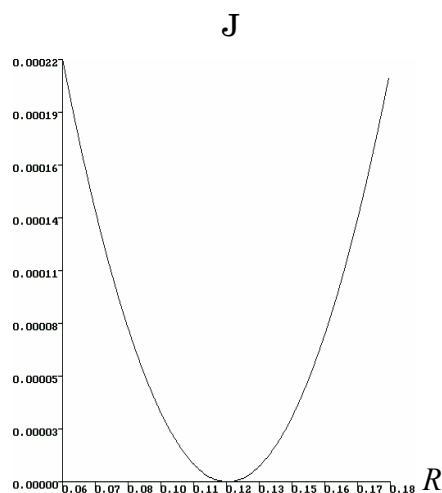


Рисунок 4 - Решение коэффициентной ОЗТ при $R = a$ с управлением относительно коэффициента теплопроводности

Точные значения коэффициента теплопроводности и температуропроводности соответственно равны

$\lambda(f_2) = 0.16598$, $f_2 = 0.1253$, где f_2 – изменение температуры во втором узле по сечению образца. Минимумы невязок, представленных на рис. 4 в точности соответствуют этим значениям [9].

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Основным научным результатом представленной статьи является разработка новых эффективных математических технологий кластерного типа для решения многомерных нестационарных задач металлургического производства. При этом:

Предложен, проанализирован и реализован новый подход для решения многомерных нестационарных задач металлургического производства на основе параллельных компьютерных технологий кластерного типа. Доказана универсальность его по отношению к решению широкого класса задач металлургического производства.

Реализованы и расширены основные компоненты технологии параллельного конструирования алгоритмов на основе метода прямых и аналитических методов. Доказаны основы формирования неограниченного параллелизма для вычислительных кластеров MPI архитектуры.

Разработаны теоретические основы распараллеливания на основе схем расщепления последовательных алгоритмов алгебраическими и численно-аналитическими методами.

Разработаны и исследованы параллельные технологии решения многомерных нестационарных задач металлургического производства. Обоснована и практически реализована область применения предлагаемых методов, охватывающая комплексный подход их использования на основе решений прямых и обратных задач металлургического производства. Предложенный подход включает параллельную обработку (визуализацию) векторов решений в виде графиков и изолиний.

Разработан и протестирован высокоэффективный комплекс программ для решения широкого класса задач металлургического производства. Предложены основные принципы управления и представления визуализации данных, опираясь на которые исследователь получает адекватную картину изучаемого явления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 616с.
2. Коздоба Л. А. Вычислительная теплофизика. – Киев: Наук. Думка, 1992. – 224с.
3. Яненко Н. Н. Метод дробных шагов решения многомерных задач математической физики. – Новосибирск: Наука, 1967. – 196с.
4. Ковеня В. М., Яненко Н. Н. Метод расщепления в задачах газовой динамики. – Новосибирск: Наука, 1981. – 304с.
5. Воеводин В. В. Математические модели и методы в параллельных процессах. – М.: Наука. Гл. ред .физ.-мат. мет., 1986. – 29с.
6. Швачич Г. Г., Шмукин А. А. Особенности конструирования параллельных вычислительных алгоритмов для ПЭВМ в задачах тепло- и массообмена // Восточно - Европейский журнал передовых технологий. 2(8) 2004. с. 42-47.
7. Швачич Г. Г., Шмукин А. А. О концепции неограниченного параллелизма в задачах теплопроводности // Восточно- Европейский журнал передовых технологий. 3(9) 2004. с. 81-84.
8. Шмукин А. А., Дреус А. Ю. К построению численно-аналитических решений методом прямых для задач механики вязкой несжимаемой жидкости // Весник Херсонского государственного технического университета. – 2000. – №2(8) – с. 235-240.
9. Ильченко К. Д., Чеченев В. А., Иващенко В. П., Терещенко В. С. Теплофизические свойства промышленных материалов, Справочник, Днепропетровск. : Січ, 1999.- 152с.

Получено 12.03.2008 г.

УДК 004.94

И.В. Козина, В.И. Корсун

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКАХ В ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Введение

В условиях рыночной экономики диспетчерам угольной шахты необходимо иметь соответствующие методики и модели, с помощью которых обеспечивается эффективное управление технологическими процессами и прогнозирование их развития во времени [1].

При этом одними из важнейших требований к инструментарию управления информационным и материальными потоками шахт являются: обеспечение высокой оперативности контроля, оценка качества принимаемых решений с учетом их экономической эффективности.

Одним из основных объектов управления угольной шахты являются производственные запасы вспомогательных материалов и оборудования, которые формируются с учетом специфики горного производства. В связи с этим в системе обеспечения шахты вспомогательными материалами и оборудованием одним из важных вопросов является вопрос своевременной их доставки в забои при изменяющихся горногеологических и производственных условиях.

Основные исследования и публикации

Следует отметить, что при решении данной задачи целесообразно использование различных подходов в комплексе, что не всегда удобно.

Поскольку угольная шахта представляет собой сложную иерхическую систему, то для решения задач наиболее рациональной доставки вспомогательных материалов и оборудования, а также переработки соответствующих потоков информации в условиях многокритериальности имеет смысл воспользоваться методом анализа иерархий (МАИ) [2-5].

Данный метод достаточно эффективно моделирует естественный ход человеческого мышления и позволяет успешно решать большое

количество разнообразных задач сравнительного анализа, оптимального выбора и принятия решений при наличии многих критериев различной природы.

Цель работы

Требуется в условиях многокритериальности выбрать наиболее рациональный маршрут по доставке материалов в соответствующие забои шахты. В качестве критериев при этом используются материалы: специальный профиль (М1), хомуты (М2), межрамные стяжки (М3), затяжки (М4), шпалы (М5) и рельсы (М6), а альтернативами являются забои (З1, З2, З3), от которых пришли заявки на поставку материалов.

Путем опроса работающих в забоях и управляющего персонала была построена приведенная в таблице 1 матрица попарных сравнений для уровня критериев.

Таблица 1

Матрица попарных сравнений относительной важности критериев

	М1	М2	М3	М4	М5	М6
М1	1.0000	3.0000	2.0000	2.0000	2.0000	3.0000
М2	0.3333	1.0000	2.0000	0.3333	0.2000	0.1667
М3	0.5000	0.5000	1.0000	0.3333	0.2500	0.3333
М4	0.5000	3.0000	3.0000	1.0000	0.2500	0.3333
М5	0.5000	5.0000	4.0000	4.0000	1.0000	4.0000
М6	0.3333	6.0000	3.0000	3.0000	0.2500	1.0000

После попарного сравнения между собой потребностей трех забоев по каждому из вышеперечисленных критериев было получено еще шесть матриц, приведенных ниже в таблице 2.

Таблица 2

Матрицы попарных сравнений альтернатив З1, З2 и З3 по критериям

М1	З1	З2	З3	М2	З1	З2	З3
З1	1.0000	6.0000	2.0000	З1	1.0000	5.0000	2.0000
З2	0.1667	1.0000	0.2500	З2	0.2000	1.0000	0.1667
З3	0.5000	4.0000	1.0000	З3	0.5000	6.0000	1.0000
М3	З1	З2	З3	М4	З1	З2	З3
З1	1.0000	7.0000	3.0000	З1	1.0000	9.0000	4.0000
З2	0.1429	1.0000	0.2000	З2	0.1111	1.0000	0.3333
З3	0.3333	5.0000	1.0000	З3	0.2500	3.0000	1.0000
М5	З1	З2	З3	М6	З1	З2	З3
З1	1.0000	2.0000	0.1250	З1	1.0000	3.0000	0.3333
З2	0.5000	1.0000	0.1667	З2	0.3333	1.0000	0.1429
З3	8.0000	6.0000	1.0000	З3	3.0000	7.0000	1.0000

Результаты исследований

В результате решения матриц попарных сравнений относительной важности критериев и относительной важности альтернатив, представленных таблицами 1 и 2, получены числовые значения максимального собственного числа $\lambda_{\max}$, индекса согласованности высказываний экспертов I_c и нормализованного вектора приоритетов P_n :

- по матрице попарных сравнений критериев М1 – М6:

$$\lambda_{\max} = 6.8257, \quad I_c = 0.1230, \quad P_n = [0.2856 \quad 0.0586 \quad 0.0592 \quad 0.1087 \quad 0.3113 \quad 0.1765]^T;$$

- по матрицам попарных сравнений относительной важности альтернатив:

$$\lambda_{\max} = 3.0092, \quad I_c = 0.0046, \quad P_{n1} = [0.5876 \quad 0.0890 \quad 0.3234]^T \text{ - для М1,}$$

$$\lambda_{\max} = 3.0850, \quad I_c = 0.0429, \quad P_{n2} = [0.5498 \quad 0.0821 \quad 0.3681]^T \text{ - для М2,}$$

$$\lambda_{\max} = 3.0649, \quad I_c = 0.0324, \quad P_{n3} = [0.8853 \quad 0.0284 \quad 0.0863]^T \text{ - для М3,}$$

$$\lambda_{\max} = 3.0092, \quad I_c = 0.0046, \quad P_{n4} = [0.7267 \quad 0.0734 \quad 0.1999]^T \text{ - для М4,}$$

$$\lambda_{\max} = 3.1078, \quad I_c = 0.0539, \quad P_{n5} = [0.1597 \quad 0.0967 \quad 0.7436]^T \text{ - для М5,}$$

$$\lambda_{\max} = 3.0070, \quad I_c = 0.0035, \quad P_{n6} = [0.2426 \quad 0.0880 \quad 0.6694]^T \text{ - для М6.}$$

На основании полученных данных выполняется следующий этап – этап иерархического синтеза: расчет глобальных приоритетов альтернатив. С этой целью для выявления глобальных приоритетов реализуется обратный ход – с предпоследнего уровня движемся к корню иерархии, собирая векторы локальных приоритетов P_{ni} ($i = \overline{1,6}$) в матрицу и умножая ее на вектор P_n локальных приоритетов критериев.

В данном случае результаты описанных операций представлены таблицей 3.

Таблица 3

Результаты вычисления глобальных приоритетов

Альтернативы	М1	М2	М3	М4	М5	М6	Глобальные приоритеты	Предпочтения
31	0.5876	0.5498	0.8853	0.7267	0.1597	0.2426	0.4240	2
32	0.0890	0.0821	0.0284	0.0734	0.0967	0.0880	0.0855	3
33	0.3234	0.3681	0.0863	0.1999	0.7436	0.6694	0.4905	1

Из таблицы 3 видно, что в первую очередь необходимо доставить материалы в забой 33 (ГП=0.4905), затем в забой 31 (ГП=0.4240) и только потом в забой 32 (ГП=0.0855).

Выводы

Таким образом, использование метода анализа иерархий позволяет повысить эффективность трудоемких и энергоемких производственных процессов, определить рациональные схемы планирования горных работ, упорядочить технологические маршруты движения материальных потоков.

Поскольку приоритеты экспертов, участвующих в оценке технологической ситуации, в общем случае зависят от времени, то могут быть задействованы также схемы МАИ, учитывающие динамические приоритеты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коровяка Е.А., Ширин Л.Н., Козина И.В. Экспертная оценка особенностей технологических схем разработки тонких жил с закладкой выработанного пространства // Науковий вісник Національного гірничого університету.-2005.-№3.- С.33-35.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993.- 312 с.
3. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. М.: Радио и связь, 1991.- 268 с.
4. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход.- 2-е изд., испр. И доп.- М.: Физматлит, 2004.- 159 с.
5. Манайчева В.А., Хусниязов М.Х. Применение метода анализа иерархий для определения центра технологического блока установок нефтепереработки // Нефтегазовое дело, 2006.- С.26-31.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 389.001

В.И. Корсун, В.Т. Белан, В.Г. Тарасенко, О.Ю. Каранда

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ПРОЦЕССА АДАПТИВНОЙ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО
ОБЪЕКТА ПОСРЕДСТВОМ ДВУХ МОДЕЛЕЙ С
ПЕРЕСТРАИВАЕМЫМИ СТРУКТУРАМИ**

Введение

В настоящее время существующие средства измерительной техники, работающие в динамическом режиме, по качеству метрологических характеристик значительно уступают статическим. В то же время, требования, предъявляемые к точности результатов динамических измерений, все более приближаются к требованиям, которые ставятся при статических измерениях. Проблема обеспечения высокой точности динамических измерений до сих пор остается нерешенной [1-3].

Задача измерения динамических характеристик объектов управления, средств измерительной техники относится в метрологии к области совместных измерений, поскольку предполагает одновременное нахождение нескольких параметров по данным измерения соответствующих сигналов.

Цель работы

Целью данной работы является оценка погрешностей идентификации параметров квазистационарной модели объекта управления с помощью одного из алгоритмов адаптивной идентификации, построенного с использованием принципов симметрии.

Основные исследования

В работе [4] описан алгоритм последовательной идентификации параметров квазистационарного объекта управления, динамика которого подчиняется дифференциальному уравнению:

$$\sum_{i=1}^3 a_i x^{(i)}(t) + a_0 x(t) = f(t), \quad x^{(j)}(0) = 0, \quad j = \overline{0,2}, \quad (1)$$

при помощи двух взаимодействующих моделей, чьи структуры изменяются после того, как очередной параметр $a_i (i = \overline{0,3})$ будет идентифицирован.

Динамика адаптивных моделей при этом подчиняется дифференциальным уравнениям:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^3 b_i y^{(i)}(t) + b_0(t)y(t) = \varphi_0(t), \\ \sum_{i=1}^3 c_i z^{(i)}(t) + c_0(t)z(t) = \varphi_0(t), \end{cases} \quad y^{(j)}(0) = z^{(j)}(0) = 0, \quad j = \overline{0,2};$$

$$\begin{cases} \sum_{i=2}^3 b_i y^{(i-1)}(t) + b_1(t)y(t) = \varphi_1(t), \\ \sum_{i=2}^3 c_i z^{(i-1)}(t) + c_1(t)z(t) = \varphi_1(t), \end{cases} \quad y^{(j)}(0) = z^{(j)}(0) = 0, \quad j = \overline{0,1}; \quad (2)$$

$$\begin{cases} b_3 y^{(1)}(t) + b_2(t)y(t) = \varphi_2(t), \\ c_3 z^{(1)}(t) + c_3(t)z(t) = \varphi_2(t), \end{cases} \quad y(0) = z(0) = 0; \quad \begin{cases} b_3(t)y(t) = \varphi_3(t), \\ c_3(t)z(t) = \varphi_3(t), \end{cases}$$

где

$$\begin{aligned} \varphi_0(t) &= f(t) = 1[t], \quad \varphi_1(t) = \int_0^t f(t)dt - a_0 \int_0^t x(t)dt, \\ \varphi_2(t) &= \int_0^t \int_0^t f(t)dt^2 - a_0 \int_0^t \int_0^t x(t)dt^2 - a_1 \int_0^t x(t)dt, \\ \varphi_3(t) &= \int_0^t \int_0^t \int_0^t f(t)dt^3 - a_0 \int_0^t \int_0^t \int_0^t x(t)dt^3 - a_1 \int_0^t \int_0^t x(t)dt^2 - a_2 \int_0^t x(t)dt. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь $a_i (i = \overline{0,3})$ - параметры объекта управления.

Изменение параметров $b_i(t)$ и $c_i(t)$ ($i = \overline{0,3}$) адаптивных моделей (2) осуществляется в соответствии с алгоритмом:

$$\begin{cases} b_i^{(1)}(t) = -k_i[(2x(t) - y(t))b_i(t) - z(t)c_i(t)], & b_i(0) = b_{i0}, \\ c_i^{(1)}(t) = -k_i[(2x(t) - z(t))c_i(t) - y(t)b_i(t)], & c_i(0) = c_{i0} \neq b_{i0}. \end{cases} \quad (4)$$

Приведенный выше алгоритм (4) обеспечивает сближение параметров $b_0(t)$ и $c_0(t)$ в соответствии с выражением

$$b_0(t) - c_0(t) = (b_{00} - c_{00}) \exp \left(-2k_0 \int_0^t x^2(t)dt \right),$$

Если считать, что движение перечисленных параметров прекращается при условии $|b_0(T) - c_0(T)| \leq \delta$ (T - продолжительность переходного процесса идентифицируемого объекта, при которой справедливым является выражение $|x(T) - x(\infty)| \leq \xi$, а δ и ξ - сколь

угодно малые положительные величины), тогда коэффициент k_0 может быть рассчитан по формуле

$$k_i = 0.5 \ln \frac{|b_{i0} - c_{i0}|}{\delta} / \int_0^T x^2(t) dt, \quad i = (\overline{0,3}). \quad (5)$$

Здесь следует заметить, что параметры $b_0(t)$ и $c_0(t)$, сближаясь, асимптотически сходятся к идентифицируемому параметру a_0 объекта (1).

Действительно, после прекращения переходных процессов на выходах объекта и настраиваемых моделей $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$ могут быть представлены следующим образом:

$$x(t) = \varphi_0(t)/a_0, \quad y(t) = \varphi_0(t)/b_0(t), \quad z(t) = \varphi_0(t)/c_0(t). \quad (6)$$

Подставив значения $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$, найденные по формулам (6) в выражения алгоритма (4), получим:

$$\begin{cases} b_0^{(1)}(t) = -k_0 \frac{\varphi_0(t)}{a_0} \left[\left(\frac{2\varphi_0(t)}{a_0} - \frac{\varphi_0(t)}{b_0(t)} \right) b_0(t) - \frac{\varphi_0(t)}{c_0(t)} c_0(t) \right] \\ c_0^{(1)}(t) = -k_0 \frac{\varphi_0(t)}{a_0} \left[\left(\frac{2\varphi_0(t)}{a_0} - \frac{\varphi_0(t)}{c_0(t)} \right) c_0(t) - \frac{\varphi_0(t)}{b_0(t)} b_0(t) \right] \end{cases}, \quad b_0(T) = b_0^*, \quad c_0(T) = c_0^*. \quad (7)$$

Упростим выражения (7):

$$\begin{cases} b_0^{(1)}(t) = -\frac{2k_0\varphi_0^2(t)}{a_0^2} (b_0(t) - a_0) \\ c_0^{(1)}(t) = -\frac{2k_0\varphi_0^2(t)}{a_0^2} (c_0(t) - a_0) \end{cases}, \quad b_0(T) = b_0^*, \quad c_0(T) = c_0^* \quad (8)$$

Поскольку $a_0 \approx \text{const}$, то решение системы (8) имеет вид:

$$\begin{cases} b_0(t) = a_0 + (b_0^* - a_0) \exp\left(-\frac{2k_0}{a_0^2} \int_T^t \varphi_0^2(t) dt\right) \\ c_0(t) = a_0 + (c_0^* - a_0) \exp\left(-\frac{2k_0}{a_0^2} \int_T^t \varphi_0^2(t) dt\right) \end{cases} \quad (9)$$

В выражениях (9) $\lim_{t \rightarrow \infty} \int_T^t \varphi_0^2(t) dt = \infty$. Поэтому $b_0(t) \rightarrow a_0$ и $c_0(t) \rightarrow a_0$

при $t \rightarrow \infty$.

Поскольку при $\tau \gg T$ оценка значения a_0^* определяется выражением $a_0^* = (b_0(\tau) - c_0^*(\tau))/2 = a_0 + \Delta_0$, то вместо входного воздействия $\varphi_1(t)$ (3) при идентификации очередного параметра a_1 модели объекта (1) будет использован сигнал:

$$\overline{\varphi}_1(t) = \int_0^t f(t) dt - a_0^* \int_0^t x(t) dt = \int_0^t f(t) dt - a_0 \int_0^t x(t) dt - \Delta_0 \int_0^t x(t) dt = \varphi_1(t) - \Delta_0(t), \quad (10)$$

где $\Delta_0(t) = \Delta_0 \int_0^t x(t) dt$.

В этом случае после окончания переходных процессов на выходах объекта и настраиваемых моделей выходные сигналы $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$ могут быть представлены выражениями:

$$x(t) = \varphi_1(t)/a_1, \quad y(t) = \bar{\varphi}_1(t)/b_1(t), \quad z(t) = \bar{\varphi}_1(t)/c_1(t). \quad (11)$$

Подставив значения выходных сигналов объекта и моделей, найденные по формулам (11) с учетом (10) в выражения алгоритма (4), получим:

$$\begin{cases} b_1^{(1)}(t) = -\frac{2k_1\varphi_1^2(t)}{a_1^2}(b_1(t)-a_1) - \frac{2k_1\Delta_0}{a_1}\varphi_1(t)\int_0^t x(t)dt \\ c_1^{(1)}(t) = -\frac{2k_1\varphi_1^2(t)}{a_1^2}(c_1(t)-a_1) - \frac{2k_1\Delta_0}{a_1}\varphi_1(t)\int_0^t x(t)dt \end{cases}, \quad b_1(T) = b_1^*, \quad c_1(T) = c_1^* \neq b_1^*. \quad (12)$$

Из формул (12) видно, что при $t \rightarrow \infty$ значение $b_1(t) \rightarrow a_1 + \Delta_1$, а значение $c_1(t) \rightarrow a_1 + \Delta_1$, где Δ_1 - погрешность идентификации параметра a_1 объекта управления.

Выводы

Рассуждая аналогично, найдем, что и оценки остальных параметров a_2 и a_3 модели объекта будут иметь некоторые смещения Δ_2 и Δ_3 , которые могут быть существенно уменьшены соответствующим выбором коэффициентов k_i ($i = \overline{0,3}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Грановский В.А. Динамические измерения: основы метрологического обеспечения. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 224 с.
2. Захаров И.П., Сергиенко М.П. Исследование погрешности идентификации переходных характеристик апериодических измерительных преобразователей методом Прони // Радиоэлектроника и информатика. – 2004. №1.- С.44-47.
3. Захаров И.П., Сергиенко М.П. Исследование характеристик случайной погрешности определения постоянных времени апериодических измерительных преобразователей // Радиотехника, 2004. Вып.139.- с.125-129.
4. Корсун В.И. Методы и системы адаптивной идентификации и управления, использующие принципы симметрии. Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 1997. – 130 с.

Получено 17.03.2008 г.

УДК 518.81

О.А. Писклакова, Н.А. Брынза, Д.И. Филипская

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Введение

Процедуру принятия решений, не зависимо от объектной ориентации, можно с формальных позиций структурировать на следующие этапы [1]: формирование и анализ цели; определение множества допустимых решений X ; обоснование критерия эффективности $K(x)$, т.е. метрики в которой измеряется качество решений $x \in X$; выбор наилучшего (оптимального) решения $x^\circ \in X$. Третий из перечисленных этапов называется оцениванием, а четвертый – оптимизацией. Задача оптимизации может быть решена двумя способами: путем перебора решений, т.е. вычислением значений критерия эффективности $K(x)$ для всех $x \in X$, установлением на этой основе на множестве допустимых решений X отношения порядка

$$x_1 \succ x_2 \succ \dots \succ x_n \quad (1)$$

и выбором крайнего (экстремального) решения; непосредственным определением единственного экстремального решения

$$x^\circ = \arg \underset{x \in X}{extr} K(x). \quad (2)$$

И в первом, и во втором случаях решение задачи оптимизации не вызывает принципиальных затруднений если выполняется два условия: критерий оценки эффективности решений является скалярной величиной; все исходные данные детерминированы, т.е. являются точечными численными значениями. Однако при решении большинства прикладных задач перечисленные условия не выполняются. При этом возникает необходимость решения более общей задачи многокритериальной оптимизации (МКО) в условиях неопределенности. Целью настоящей статьи является выявление источников неопределенности, определении их типологии и

рассмотрение возможных подходов к вычислению значения оптимизационного функционала при решении задач МКО.

Источники и типы неопределенности при решении задачи МКО

Обобщенная процедура принятия решения может рассматриваться как синтез абстрактной системы, обеспечивающей достижение заданной цели. При такой постановке возникает необходимость формального определения абстрактной системы. В зависимости от целей анализа и уровня абстрагирования известны различные определения системы. Самым общим из них является теоретико-множественное описание. В этом случае под системой понимается множество M однородных или разнородных элементов, на котором реализовано множество отношений (связей) R , упорядочивающих элементы в структуру, обладающую множеством свойств P , позволяющих достичь заданную цель. Таким образом, упорядочение множества элементов и отношений между ними образуют некоторую структуру вида

$$C = (M \times R), \quad (3)$$

которая может быть интерпретирована как нецеленаправленная система. Это связано с тем, что каждая структура обладает некоторыми свойствами, в том числе системными, т.е. такими, которые не вытекают прямо из свойств составляющих ее элементов, а являются результатом упорядочения, взаимодействия элементов на базе реализованных отношений.

Функциональное совершенство целенаправленных систем определяется степенью достижения цели, а так как это, в свою очередь, зависит от свойств системы, то каждое из них или их группы выступают в качестве частных критериев. Их совокупность $K_\phi(x)$ характеризует функциональное совершенство (эффект) каждого из возможных вариантов структуры. Также следует помнить, что синтез любого варианта структуры связан с упорядочением некоторого множества элементов путем реализации отношений между ними. Конкретные элементы этих двух множеств определяют затраты на создание системы $K_3(x)$. При интегральной оценке эффективности варианта системы учитываются обе группы частных критериев, т.е.

$$K(x) = K_\phi(x) \cup K_3(x) = \langle k_j(x) \rangle, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

По определению предполагается, что задано отображение

$$f_j : x \rightarrow K, \quad (5)$$

т.е. функциональные зависимости (имитационные модели)

$$k_j(x) = f_j(x). \quad (6)$$

Проблема принятия решений в условиях неопределенности занимает в настоящее время особое место в информационных технологиях. Такие задачи возникают при анализе экономических, социальных, технических систем. Для этих задач характерно задание исходных условий, ограничений, структуры и параметров целевых функций неточно (неоднозначно), что, в свою очередь, приводит к неопределенности информации, и сильно затрудняет процесс принятия решений.

В теории оптимизации хорошо разработаны и продолжают интенсивно развиваться методы принятия решений при известных и фиксированных параметрах, т.е. в детерминированных условиях. Определенные успехи имеются и в том случае, когда параметры - случайные величины с известными законами распределения. Эти методы известны как методы принятия решений в условиях риска.

Однако основные трудности возникают тогда, когда исходные данные оказываются неопределенными (хотя, может быть, и не случайными) и они в то же время сильно влияют на результаты решения.

По степени неопределенности можно выделить следующие ситуации [2]: полная определенность – детерминированность; статистическая (вероятностная) неопределенность; лингвистическая неопределенность; интервальная неопределенность.

Все имитационные модели (6) принципиально неточны за счет действия НЕ-факторов [3, 4]: НЕточных измерений исходных данных, используемых при идентификации моделей, НЕполноты значений о функциональных зависимостях, сознательного упрощения моделей за счет НЕ учета некоторых переменных. Это означает, что значения частных критериев $k_j(x)$ вычисляются с большей или меньшей неопределенностью.

Еще одним источником неопределенности при решении задачи МКО является множество допустимых решений X . Отображение множества свойств, которыми должна обладать целенаправленная система на универсум структур позволяет выделить подмножество структур, на которых в принципе реализуемы требуемые свойства.

Элементы подмножества будем называть возможными решениями, а их совокупность – множеством в возможных решений X^B . Не все решения $x \in X^B$ являются допустимыми по экономическим, ресурсным, технологическим, экологическим, социальным соображениям. Источниками этих ограничений являются как эндогенные, внутрисистемные причины, так экзогенные внешние требования, порождаемые метасистемой, т.е. внешней, по отношению к рассматриваемой системе, средой. Эти требования, особенно, внешние, не полностью определены, т.е. содержат НЕ-факторы. Это приводит к тому, что система ограничений, определяющих допустимое множество решений $X \subset X^B$, в общем случае неполная, а описывающие ее уравнения НЕточные. Это очень важное обстоятельство, так как оптимальное решение принадлежит границе допустимой области и если эти границы заданы НЕточно, то экстремальное решение x° может оказаться не только НЕ оптимальным, но и недопустимым.

Третьим источником неопределенности при решении задач МКО является неопределенность, возникающая при их регуляризации. Как известно [1], допустимое множество решений содержит в общем случае подмножества согласованных X^S и противоречивых (компромиссных) X^C решений. Особенностью последних является невозможность улучшить ни один частный критерий $k_j(x)$, $j = \overline{1, m}$ без ухудшения качества хотя бы одного частного критерия. Это означает, что задача МКО

$$x^\circ = \arg \underset{x \in X}{extr} \langle k_j(x) \rangle; \quad \forall j = \overline{1, m}, \quad (7)$$

не имеет решения, т.е. является НЕ корректной по Адамару [5]. Регуляризация (7) с целью получения единственного решения основана на скаляризации кортежа частных критериев $k_j(x)$, $j = \overline{1, m}$. Наиболее перспективным способом решения этой задачи является формирование обобщенной скалярной оценки (функции полезности $P(x)$) [6]:

$$\overline{K}(x) \equiv P(x) = F[\lambda, K_j(x)]; \quad j = \overline{1, m}, \quad (8)$$

где λ – коэффициенты изоморфизма, приводящие разнородные частные критерии $K_j(x)$ к изоморфному виду.

Реализация такого подхода связана с необходимостью решения задачи структурно-параметрической идентификации модели (8). Трудность решения этой задачи заключается в том, что процесс многофакторного оценивания является интеллектуальным, реализуемым лицом, принимающим решения (ЛПР) или экспертами, и они являются носителями знаний, необходимых для идентификации (8). Для получения знаний от их носителей может быть использованы методологии экспертного оценивания [7] или компараторной идентификации [8]. Как показано в [9] в обоих случаях можно получить только интервальные значения параметров модели (8), что приводит к интервальной неопределенности функции полезности $P(x)$.

Таким образом, постановка задачи МКО с учетом перечисленных неопределенностей принимает вид

$$x^{\circ} = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} P[\bar{A}, \bar{k}_j^H(x)]; \quad (9)$$

где « $\bar{}$ » обозначены переменные, которые содержат неопределенность;

$\bar{A}$ - кортеж безразмерных весовых коэффициентов $\langle a_j \rangle$, $j = \overline{1, m}$, учитывающий относительную важность частных критериев;

$\bar{k}_j^H(x)$ - нормализованные, т.е. приведенные к безразмерному виду и единой шкале измерения [8], частные критерии.

Недостаточно точное знание параметров и переменных модели (9) требует, чтобы для конструктивного анализа они были представлены в некотором формализованном виде. Наиболее адекватным является представление в виде некоторых связанных областей на шкалах, характеризующих возможные допустимые в конкретном случае значения каждого параметра [9].

Это означает, что исходные данные представляются в виде интервалов, задаваемых левыми D_L и правыми D_P границами, при этом результаты моделирования также будут интервальными числами, т.е. содержать интервальную неопределенность.

Если границы интервала совпадают или величина интервала по функциональным соображениям можно считать пренебрежимо малой, данные являются точечными детерминированными значениями.

Для числовых исходных данных интервальное задание отвечает ситуации с наибольшей неопределенностью. Диапазон допустимых решений выходных переменных модели, вычисленных по правилам интервальной математики [10] оказывается часто чрезвычайно широким. Этот недостаток частично устраняется, а возможность количественного анализа значительно расширяется, если имеется априорная объективная или эвристическая информация о распределении возможных значений внутри интервала. Самой информативной является ситуация, когда имеется достаточно мощная статистика, позволяющая определить вероятностные характеристики, в частности, функцию плотности распределения и ее параметры – математическое ожидание, дисперсию и т.д.

Во многих случаях необходимая статистика отсутствует, но, эксперт на основе своего опыта, т.е. знаний полученных в прошлом на основе анализа подобных ситуаций, может выдвинуть гипотезу о законе распределения вероятностей и его параметрах. В дальнейшем такую информацию будем называть субъективной вероятностью.

Еще одной формой представления информации о возможном распределении значений внутри интервала являются нечеткие множества. Теория нечетких множеств предложена Л.Заде [11] для формализации нечетких лингвистических высказываний типа «приблизительно равно...», «около», «лежит в интервале от ... до...».

В отличие от характеристической функции классического множества, которая может принимать только два значения 0 и 1, ее аналог – функция принадлежности нечеткому множеству $\mu(y)$ может принимать любые значения в интервале $[0, 1]$. Тогда, если Y – носитель нечеткого множества, т.е. интервал возможных значений, любое значение $y \in Y$, характеризуется парой $\langle y, \mu(y) \rangle$, где $\mu(y)$ – численная характеристика истинности высказывания, что y принадлежит Y . Формирование функции принадлежности является эвристической, субъективной процедурой и поэтому этот вид неопределённости полностью субъективный.

В общем случае, постановка задачи МКО содержит как детерминированные, так и интервальные данные с неопределенностью всех трех видов. В этих условиях необходимо определить наилучшее решение задачи (8).

Как уже отмечалось, существует два подхода к решению задачи оптимизации. Первый, основанный на переборе решений, заключается в том, что для всех решений $x \in X$ вычисляется значение оценки эффективности $P(x)$ и на этой основе решения ранжируются с целью определения экстремального. Вторым подходом ориентирован на непосредственное определение экстремального решения. В основе реализации обоих подходов лежит процедура вычисления по заданной модели численного значения многофакторной оценки $P(x)$ на множестве допустимых решений $x \in X$. Эта процедура тривиальна только в случае задания всех исходных данных в виде точечных детерминированных значений. В условиях неопределенности возникает специфическое затруднение. Одно из них связано с тем, что каждого вида неопределенности определены правила выполнения арифметических операций [10, 11, 12], но отсутствуют как правила выполнения арифметических операций на разнородных неопределенностях, так и методы взаимной трансформации одних видов неопределенности в другие. Вместе с этим, для всех видов неопределенности имеется общая характеристика – интервал возможных значений. В этих условиях взаимная трансформация связана или с эвристическим дополнением недостающей информации, например, эвристическим заданием функции плотности распределения вероятности, или пренебрежением известной информации, например, рассмотрение всех неопределенностей как интервальных без априорной информации о распределении значений внутри интервала. Корректность такой трансформации и оценка величины возникающих при этом погрешностей требует исследования и анализа. Ниже рассмотрен один частный случай трансформации интервальной неопределенности в вероятностную неопределенность с равномерным законом распределения.

Вычислительный эксперимент

Целью вычислительного эксперимента является оценка адекватности и точности эвристической трансформации интервальной неопределенности в субъективную вероятностную неопределенность в виде случайных величин с равномерным законом распределения.

В качестве тестовой принята простейшая аддитивная функция полезности вида

$$P(x) = \sum_{j=1}^3 \bar{a}_j \bar{k}_j(x), \quad (10)$$

где $\bar{a}_j$, $\bar{k}_j(x)$ – соответственно интервально заданные весовые коэффициенты и нормализованные значения частных критериев.

В качестве исходных данных приняты следующие интервальные значения: $\bar{k}_1 = [0.7, 0.8]$, $\bar{k}_2 = [0.35, 0.5]$, $\bar{k}_3 = [0.3, 0.4]$; $\bar{a}_1 = [0.4, 0.6]$, $\bar{a}_2 = [0.15, 0.45]$, $\bar{a}_3 = [0.1, 0.3]$. Все интервальные величины являются независимыми.

Интервальные значения функции (10) вычислялись аналитически по правилам выполнения бинарных арифметических операций с интервальными значениями, которые имеют вид[10]:

$$\begin{cases} A + B = [a_1 + b_1, a_2 + b_2] \\ A - B = [a_1 + b_2, a_2 + b_1] = A + [-1, -1] \cdot B, \\ A \cdot B = [\min\{a_1 b_1\}, \{a_1 b_2\}, \{a_2 b_1\}, \{a_2 b_2\}, \\ \max\{a_1 b_1\}, \{a_1 b_2\}, \{a_2 b_1\}, \{a_2 b_2\}] \\ A : B = [a_1 a_2] \cdot [1/b_1, 1/b_2]. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь a , b – соответственно левая и правая границы интервалов.

Вероятностные значения функции (10) вычислялись двумя способами:

аналитически;

методом статистического моделирования Монте-Карло, реализованного в среде MATLAB R2006a.

Аналитические вычисления проводились по формулам сложения и умножения независимых случайных величин. В связи с этим для интервальных величин определялись статистические параметры, в предположении, что они распределены по закону равной вероятности[12]:

математическое ожидание

$$M = \frac{(a+b)}{2}; \quad (12)$$

дисперсия

$$D = \frac{(b-a)}{12}; \quad (13)$$

а затем по формулам [12]

$$M(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = M(x_1) + M(x_2) + \dots + M(x_n); \quad (14)$$

$$D(x_1 + x_2) = D(x_1) + D(x_2); \quad (15)$$

$$M[XY] = M[X]M[y]; \quad (16)$$

$$D[XY] = D[X]D[y]. \quad (17)$$

вычислялось значение функции (10).

Вычисления методом Монте-Карло 10^5 экспериментов производилось по схеме, представленной на рисунке 1.

Был принят следующий порядок вычисления целевой функции с помощью метода Монте-Карло при вероятностном задании параметров a_i и $\bar{k}_j(x)$:

- а) формирование отрезков, которым принадлежат параметры a_i и $\bar{k}_j(x)$;
- б) генерирование случайных чисел из интервалов;
- в) вычисление целевой функции;
- г) обработка выборки результатов (математическое ожидание, дисперсия, среднееквадратическое отклонение).

Расчеты $P(x)$ (10) проводились следующим образом:

по формулам (11) определяем интервальное значение $P(x)$, а затем на его основе по формулам (12)–(17) вычисляем математическое ожидание и дисперсию;

определяем дисперсию и математическое ожидание по формулам (12)–(17);

вычисляем математическое ожидание и дисперсию методом Монте-Карло.

Полученные результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты вычислений

	Мат. ожидание	Дисперсия	Среднекв. отклонение
Результаты расчетов интервального значения $P(x)$ (11–17)	0,5975	0,01782	0,1335
Результаты расчета по аналитическим формулам (12–17)	0,5725	0,00066	0,0257
Результаты расчета методом Монте-Карло	0,5723	0,0045	0,0669

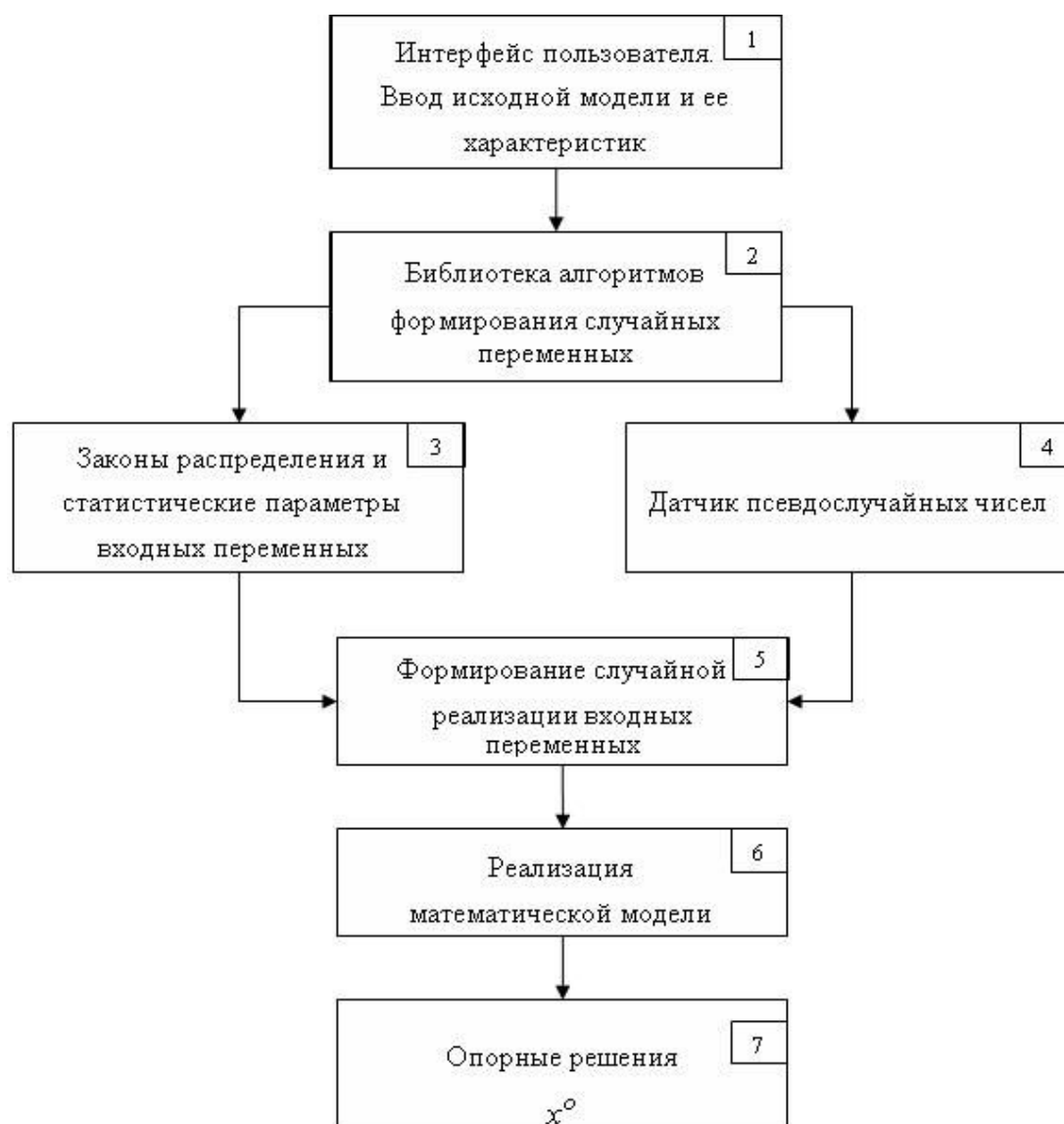


Рисунок 1 – Схема вычисления методом Монте-Карло

При проверке гипотезы о законе распределения получили, что нижняя граница критической области $\chi_{кр}^2$ равна 6.0, а наблюдаемое значение критерия $\chi_{набл}^2$ равно 0.8812. Так как $\chi_{набл}^2 < \chi_{кр}^2$, то гипотеза о том, что случайные величины распределены по нормальному закону распределения, принимается.

Выводы

Результаты расчетов показывают, что, как и ожидалось, оценки математического ожидания, полученные на основе интервальной математики (11), выше и отличаются на 4,18% от аналитической оценки, вычисленной по формулам (12-17), и на 4,21% от

полученного методом Монте – Карло. Что касается среднеквадратического отклонения σ , то различие составляет соответственно 79,4% и 49,88%. Рассогласование между аналитической оценкой по формулам (12-17) и полученной методом Монте-Карло можно объяснить малым числом экспериментов (10^5). Таким образом, можно сделать вывод, что вероятностная интерпретация интервальных значений позволяет получить более узкие интервалы возможных значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребенник І.В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах. – К.: Техніка, 2004.– 256с.
2. Петров Э.Г., Пискалова О.А. Анализ подходов к решению задачи поиска оптимального решения в условиях неопределенности// Вестник ХНТУ. – 2007. - № 4(27). – С. 14-19.
3. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: неоднозначность (доформальное исследование)// Новости искусственного интеллекта.– 2003.–№5. с.58-69.
4. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектирования: формальные системы и семантические модели.– Киев: Port Royal, 1998.– 250с.
5. Математический энциклопедический словарь/ под ред. Ю.В. Прохорова.– М.: Сов. энциклопедия, 1988.– 250с.
6. Фишбери П. Теория полезности для принятия решений.– М.: Наука, 1978.–352с.
7. Литвак Б.Г. Экспертная информация: методы получения и анализа.– М.: Радио и связь,1982.– 184с.
8. Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации/ Под общей редакцией Э.Г.Петрова –К: Наукова думка, 2002. –164с.
9. Стерпин М.Ю., Шепелев Г.И. Метод представления знаний в интеллектуальных системах поддержки экспертных решений// новости искусственного интеллекта,2003.– №4(58) с. 24-33.
10. Алефельд Г., Херцбергер Ю. Введение в интервальные вычисления: Пер. с англ. –М. Мир, 1987. – 360 с., ил.
11. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: «Мир», 1976.
12. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятности и ее инженерное приложение.– М.: Высшая школа, 2000.–480с.

Получено 06.03.2008 г.

МЕЖМОДЕЛЬНОЕ ОТОБРАЖЕНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ БАЗ ДАННЫХ

Введение

Проблема построения отображений возникает практически на всех уровнях доступа к информационным ресурсам: от реализации уровня представления в модели взаимодействия информационных систем (ИС) до реализации конкретного пользовательского представления данных. Во всех случаях в качестве исходной модели используется, как правило, модель, наиболее удобная для реализации перехода к единому представлению. Такой подход обусловлен тем, что построение межмодельных отображений для каждого представления отдельно приводит к возрастающим реализационным затратам.

Среди исследовательских работ, связанных с отображениями моделей и приведения базы данных (БД) к единой синтаксической структуре, можно выделить монографии М.Ш. Цаленко [1], Л.А. Калиниченко [2], Б.И. Плоткина [3] и др.

Проблема построения межмодельных отображений является актуальной в БД с момента, когда была сформулирована трехуровневая модель описания данных. Противоречивые требования между пользовательским представлением (первый уровень) и физическим представлением (третий уровень) решаются за счет второго уровня описания данных, который обеспечивает независимую от конкретной модели интерпретацию первого и третьего уровней и, в конечном счете, устойчивость ИС в целом [4].

Целью статьи является построение отображений, поддерживающих интерфейс между исполняющей средой (программным обеспечением) для исходной модели и исполняющей средой для целевой модели. При построении пользовательской модели необходимо учитывать тот факт, что пользователь должен иметь возможность корректно выполнять все операции с данными, не выходя за рамки пользовательского представления. Для решения этой задачи межмодельные отображения будем рассматривать в терминах алгебраических систем.

1. Свойства межмодельных отображений

Необходимость появления промежуточного уровня, определяющего интерфейсы для моделей описания исполняющей среды, вытекает из задач интеграции неоднородных БД. Модели этого уровня должны включать в себя описание интегрируемых данных, их взаимосвязи, свойства и т.д. На этой основе с одной стороны обеспечивается независимая поддержка и развитие информационных ресурсов и с другой – развитие пользовательских представлений.

В терминах алгебраических систем модель данных будет иметь вид

$$M = (S, V, L, O),$$

где S - схема данных; V - совокупность допустимых состояний базы данных; L - совокупность предикатов, определяющих допустимые состояния V ; O - набор операций, при этом S и L являются носителями системы.

Рассмотрим исходную модель M^j и целевую модель M^i , необходимо построить переход из M^j в M^i .

В [5] рассмотрен метод построения отображения моделей данных, основанный на свойстве коммутативности. В общем случае должны быть построены отображения:

$$\begin{aligned}\varphi: S^j &\rightarrow S^i, \\ \eta: V^j &\rightarrow V^i, \\ \psi: P^j &\rightarrow O^i,\end{aligned}$$

где P^j - процедура на языке модели M^j .

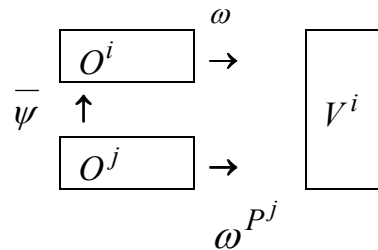
Основные требования к отображениям можно выразить в виде трех условий:

- Биективность отображения η , то есть взаимнооднозначное соответствие состояний БД.
- Обеспечение коммутативности отображения носителей информации в одно состояние БД

$$\begin{array}{ccc} & & O^{S^i} \\ & & \uparrow \\ \varphi & \begin{array}{c} \boxed{S^i, L^i} \end{array} & \rightarrow \begin{array}{c} \boxed{V^i} \\ \uparrow \\ \boxed{V^j} \end{array} \\ & \uparrow & \\ & \boxed{S^j, L^j} & \rightarrow O^{P^j} \end{array}$$

где O^{S^i} - семантическая функция определения данных модели M^i и O^{P^j} - семантическая функция определения данных модели M^j .

Обеспечение коммутативности отображения различных операционных спецификаций в одно состояние БД



где $\bar{\psi}$ - функция прямого отображения операционной спецификации модели M^j в модель M^i , ω - функция изменения состояния БД модели M^i и ω^{P^j} - функция изменения состояния БД модели M^i средствами модели M^j .

Таким образом, оба представленных способа отображений должны дать одно и то же результирующее состояние исходной модели данных.

2. Сохранение биективности состояний моделей данных

Для интеграции БД формируется пользовательская модель, которая может использоваться либо при построении расширения интегрируемых моделей, либо при организации транзакций удаленного доступа к данным.

При формировании пользовательской модели можно использовать только часть данных из исходной модели. Данные в представлении исходной модели, не участвующие в формировании целевой модели, могут изменяться произвольным образом, что не приводит к изменению состояния последней [6].

Совокупность состояний одной модели, которым соответствует одно состояние другой модели, будем называть вложенным состоянием. Из этого следуют очевидные свойства:

$V_1^j \cap V_2^j = \emptyset$, то есть два различных вложенных состояния не пересекаются.

$|V^j| = |V^i|$, то есть количество вложенных состояний исходной модели и количество вложенных состояний целевой модели равны.

Таким образом, требование биективности состояний исходной и целевой модели сохраняется.

При построении отображения исходной модели в целевую (пользовательскую) модель достаточно выполнить следующие действия.

Формирование схемы модели: реализуется средствами выбранной системы программирования, в рамках которой предполагается работа с целевой моделью.

Построение целевой (пользовательской) модели: выбирается способ формирования модели, для чего можно воспользоваться средствами, описанными в [7].

Поддержка целостности: задается набор правил, который должен быть достаточным для выполнения исходных ограничений модели. С другой стороны, для целевой модели могут быть заданы более “жесткие” ограничения, то есть, в крайнем случае, ограничением целостности может стать запрет на модификацию определенных данных.

Формирование процедуры преобразования операционной спецификации: выбирается исполняющая программа, формирующая соответствующую совокупность команд P^j , которая переводит модель M^j из состояния V^j в состояние V^i , при этом преобразования состояний должны удовлетворять условию коммутативности

$$\boxed{V^j} \xrightarrow{P^j} \boxed{V^i}$$

Если изменения в M^j будут противоречить ограничениям целостности в M^i , то это говорит о неправильном отображении, то есть, о неверном определении P^j .

Выводы

Рассмотренный метод коммутативных отображений может быть использован при построении межмодельных отображений различных видов. В частности, на практике исходной моделью чаще всего является реляционная модель данных, а целевой моделью может быть выбрана модель, представляющая собой списковую структуру с описанием свойств в виде набора правил существования информационных объектов. Поэтому в качестве основы построения

межмодельного отображения предлагается процедура P^j , которая позволяет решить проблему установления соответствия между состояниями исходной и целевой моделями. Рассмотренный подход к построению отображения моделей M^j в M^i является основой построения программных компонент, реализующих интеграцию неоднородных БД.

Дальнейшие исследования в области интеграции неоднородных моделей данных должны включать вопросы расширения дополнительных возможностей поддержки структурных изменений в локальных БД, что в свою очередь требует расширения методологических и языковых средств. Коммутативность отображений позволяет определить необходимые условия интеграции, но для практического построения интегрированной системы необходимо учитывать особенности функционирования локальных систем. То есть, необходимо определить дополнительные условия, контроля модификаций исходной и целевой моделей в процессе функционирования интегрированной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цаленко М.Ш. Семантические и математические модели баз данных. – М.: ВИНТИ. – 1985. – 207 с.
2. Калиниченко Л.А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных. – М.: Наука, 1983. - 423 с.
3. Плоткин Б.И. Универсальная алгебра, алгебраическая логика и базы данных. М.:Наука, 1991. – 448 с.
4. Цикритзис Д., Лоховски Ф. Модели и структуры двнных. – М.:Финансы и статистика, 1985. – 344 с.
5. Калиниченко Л.А. Методы и средства интеграции неоднородных баз данных. - М.: Наука, 1983. - 423 с.
6. Зыкин С.В. Отображение реляционной модели данных в списковую модель типа "частичное соединение". В сб.: Информационные системы в науке - 95. - М.: Фазис, 1995. с. 49 - 50.
7. Танянский С.С. Семантическая модель предметной области в задачах интеграции неоднородных информационных систем. \ \ Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон. 2005. - №1(21). с. 52-59.

Получено 11.03.2008 г.

УДК 621.31:681.11

Л.И. Цвиркун, С.В. Панченко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Постановка задачи

При разработке и наладке оборудования, а так же его испытаниях нередко возникает необходимость сохранения данных, поступающих с технологического оборудования, для дальнейшего их анализа. На угольных шахтах отсутствуют системы передачи больших объемов информации на поверхность [1]. Для реализации этой задачи можно использовать промышленные ПК с необходимыми платами ввода, промышленные защищенные ноутбуки или автономные специальные портативные регистраторы. Однако они и их питание зачастую не ориентировано на работу в подземных условиях угольных шахт, которые взрывоопасны по газу и пыли.

Видеоинформация о состоянии узлов и агрегатов может быть использована в качестве дополнительной информации при испытаниях автоматизированных систем управления в угольных шахтах.

Рассмотрим этот вариант реализации регистратора информации.

Будем считать, что разрабатываемая система представляет автономный регистратор информации о состоянии объекта, полученной с видеокамеры в виде отдельных снимков.

Регистратор в этом случае должен состоять из микроконтроллера (МК), модуля видеокамеры, пульта управления, внешней памяти данных, часов реального времени, модуля связи с персональным компьютером (ПК) и автономного источника питания.

Целью исследования является разработка и обоснование возможности применения регистратора для сохранения видеоинформации при испытаниях автоматизированных систем управления угольных шахт.

Анализ возможных направлений решения задачи

Перед разработкой регистратора выполним анализ возможной для использования элементной базы в соответствии с поставленными требованиями.

В настоящее время доступны для использования микроконтроллеры разных производителей, все они имеют невысокую стоимость, большой набор встроенных периферийных модулей и низкое энергопотребление.

Рассмотрим микроконтроллеры фирм Microchip, Atmel, Philips. Для достижения требуемой функциональности в подготовке и сохранения информации наиболее подходит 8-ми разрядный МК фирмы Atmel платформы AVR Mega [2]. Достоинствами платформы являются: быстродействующий RISC-процессор, память программ с низковольтным напряжением программирования, внутренняя энергонезависимая память данных, мощные выходные порты и широкий диапазон питающего напряжения.

Платформа AVR насчитывает 4 семейства: “classic”, “tiny”, “mega” и “LCD”.

Все микроконтроллеры платформы AVR имеют одинаковую систему команд, что делает легким замену одной модификации контроллера другим без больших затрат на изменение программного кода. Его модификации отличаются количеством периферийных устройств, портов ввода-вывода, объемом памяти программ, объемами энергонезависимой и оперативной памяти.

Разработка регистратора информации

Выберем семейство “mega”, так как микроконтроллеры этого семейства имеют в своём составе необходимое количество периферийных модулей и наибольший объём программой и оперативной памяти (до 128 Кбайт ПЗУ и до 4096 байт ОЗУ).

В качестве внешней памяти данных, используем карты памяти SD/MMC [3]. Они обладают большой скоростью обмена и низкой стоимостью носителей и высокой емкостью (до 4 Гбайт).

MMC карты памяти широко используются в цифровых фотоаппаратах, мобильных телефонах, карманных компьютерах и портативных плеерах. MMC карта памяти имеет 7 выводов и поддерживает два протокола последовательной передачи данных:

MMC (MultiMediaCard) режим и SPI (Serial Peripheral Interface) режим. Максимальная частота тактирования для обоих режимов до 20 МГц [3].

Данные, которые записаны в карту памяти могут быть считаны с использованием любого из этих двух протоколов. Преимуществом карт MMC является поддержка протокола SPI. В выбранном МК интерфейс SPI реализован на аппаратном уровне [2].

Для реализации обмена данными между картой памяти и МК по интерфейсу SPI достаточно всего 4 линии порта. Для работы MMC карты внешней памяти необходимо напряжение питания 2.7–3.3 В при токе до 60 мА в активном режиме. Карты памяти SD (miniSD, microSD) совместимые с картами MMC (отличаются только расположением выводов и видом корпуса).

В схеме регистратора предусмотрим возможность работы с картами MMC и SD.

В качестве видеомодуля используем модуль CAM-VGA100 с интерфейсом RS232, имеющий встроенный модуль сжатия изображения в формат JPEG и максимальным разрешением 640*480 точек. Напряжение питания модуля составляет 2.7 до 3.3 вольт. Потребляемый ток 60 мА в активном режиме.

Для определения точного времени совершения снимка в системе используются интегральные энергонезависимые часы реального времени типа DS1307 фирмы MAXIM с напряжением питания от 2.7 В до 5.5 В. DS1307 реализует подсчёт секунд, минут, часов, месяца и года. Максимальное значение числа лет составляет 2100. Часы имеют низкое энергопотребление (500 нА) при работе от резервного батарейного источника питания, что позволяет DS1307 сохранять работоспособность при отсутствии внешнего питания в течение 10-ти лет. Связь с контроллером осуществляется через двухпроводную линию связи TWI.

С учетом выбранных элементов функциональная схема регистратора будет иметь следующий вид, показанный на рисунке 1.

Анализ результатов испытаний

При испытаниях регистратор будет сохранять цветные снимки размером 320*240 точек в формате JPG на карту памяти. Средний размер одного изображения составляет порядка 10-14 Кбайт.

Фактическая скорость записи информации на карту в данной системе ограничена из-за низкой скорости поступления данных с видеомодуля.

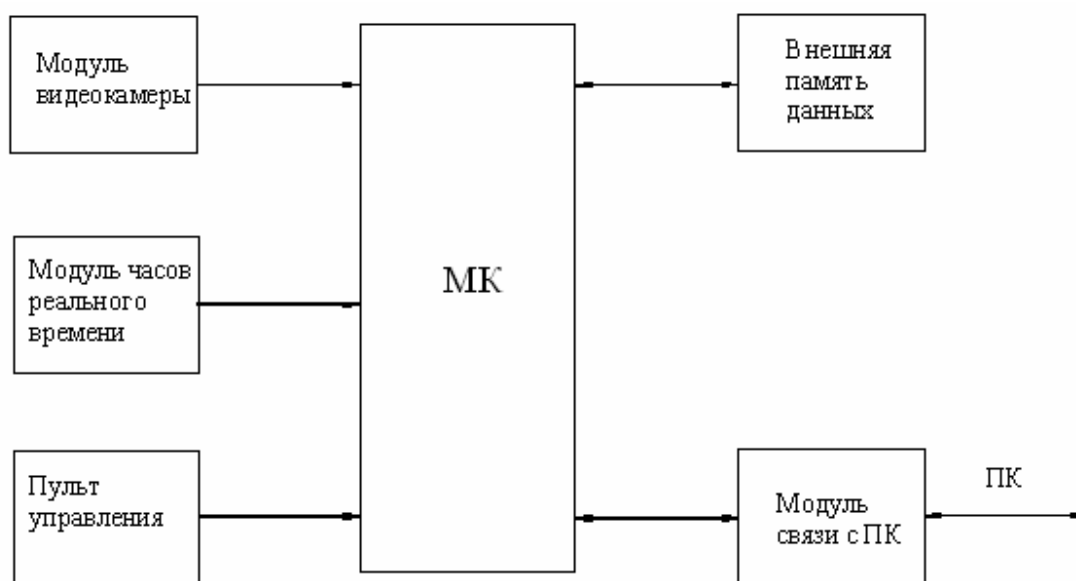


Рисунок 1 – Структурная схема регистратора

Ведь данные с видеомодуля передаются по последовательному интерфейсу RS-232 на скорости 115200 Кбит/с, то есть примерно 14,5 Кбайт/с.

Поэтому дальнейшее увеличение скорости записи информации на карту, которая равна 50 Кбайт/с, ни увеличение пропускной способности интерфейса SPI до 500 Кбайт/с не позволяют увеличить фактическую скорость записи на карту.

Среднее энергопотребление регистратора в активном режиме 130 мА при напряжении питания в 3.3 вольта. При питании от аккумулятора емкостью 1000 мА/час время автономной работы составит около 7 часов.

Информация на карте памяти сохраняется в виде файлов с использованием файловой системы FAT 16. Это позволяет считывать сохраненные снимки с карты памяти, при подключении ее к ПК.

Программное обеспечение регистратора позволяет определить остаток свободного места на карте.

Выводы

– разработанный регистратор (с объемом внешней памяти в 4 Гбайт) показывает возможность сохранения видеоинформации в виде

снимков с общим числом более 285000, при максимальной скорости записи до 60 кадров/мин;

– при увеличении емкости аккумулятора регистратор позволяет вести запись в течение более трех суток;

– регистратор может быть использован при испытаниях в угольных шахтах для сохранения больших объемов информации иного вида.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ткачев В.В., Поперечный Д.А., Надточий В.В., Гапон В.В., Цвиркун Л.И., Грулер Г. Исследование возможности применения полевой шины CAN протокола CANopen для создания систем передачи информации в шахтных условиях. – Сборник научных трудов НГУ. Выпуск №19, Том 2 – Днепропетровск, 2004. – с. 50-59.
2. ATMEL. Atmega 16L. Data Sheet. Rev.2466M-04/06, <http://www.atmel.com>.
3. NXP. AN 10406. Accessing SD/MMC card using SPI on LPC2000. Application Note. 2007, <http://www.nxp.com>.

Получено 21.03.2008 г.

УДК 621.002:681.324

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

ФОРМИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Современные машиностроительные изделия представляют сложные технические устройства, содержащие значительное число функциональных элементов, отличающихся друг от друга принципом действия, алгоритмом функционирования, конструктивным исполнением, надежностью. При оценке технического состояния изделий в ходе производственных испытаний по принципу «диагностический параметр - параметр технического состояния - диагноз» одной из наиболее трудных задач является установление зависимостей между параметрами, без которых невозможно оценить состояние [1]. Решение задачи связано с использованием вероятностных методов и новых вычислительных технологий, широко представленных в литературе, но ориентированных, в основном, на диагностирование бывших в эксплуатации объектов или вновь созданных в предположении минимума априорной информации. В качестве примеров можно привести методы нечеткой логики, нейронные сети, генетические алгоритмы с их адаптацией в среде гибридных динамических экспертных систем [2].

В работе класс испытаний ограничен производственными (приемосдаточными, контрольными) испытаниями готовых изделий после сборки, основные задачи которых сводятся к экспериментальному определению их количественных и качественных характеристик, а также к проверке соответствия техническим требованиям. В предположении стабильности сборочного процесса и отбраковки негодных деталей и агрегатов до поступления в сборочный цех контролируемые параметры при работе изделий на номинальных режимах группируются вокруг некоторого эталона, репрезентативного для данного класса продукции. Существующие информационные ограничения связаны, как правило, со статистическими характеристиками шумов, возникающих при использовании сигналов, преобразованных системами различной

физической природы [3]. Наблюдение за работой изделий проводят «пассивно», без применения регулировочных схем и звеньев. В ходе статистического управления процессом (мониторинга технического состояния) существуют два варианта решения по результатам проведенных испытаний: пригодно изделие к эксплуатации или нет. Для такой схемы разработаны простые и точные процедуры принятия решений [4]. Сложными являются вопросы, связанные с предварительными исследованиями для формирования оптимальной информационной технологии принятия решений: разработки и программной реализации моделей испытуемых изделий, определение критерия для последующего вычисления расхождения (рассогласования, невязки) между наборами диагностических параметров, характеризующих модель или эталонное изделие и испытуемое изделие. Этот факт подчеркивается в литературе [2], однако универсальное решение задачи пока не найдено.

Целью работы является изучение основ и принципов формирования информационной технологии принятия решений по результатам мониторинга технического состояния машиностроительных изделий для повышения эффективности производственных стендовых испытаний. Из множества возможных стохастических моделей испытуемых изделий выбраны наиболее эффективные для организации принятия решений. В качестве критерия расхождения между моделируемыми и измеряемыми параметрами испытаний используется информационная мера Кульбака.

В ходе испытаний измерительная информация представляет случайные процессы измерения диагностических 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.

Схема организации принятия решений по результатам испытаний изображена на рис.1. Она составляет основу при формировании соответствующей информационной технологии и содержит набор типовых подсистем и их элементов, взаимодействующих между собой. Условия испытаний рассматриваются как управляющие воздействия. Элементы вектора Y_M характеризуют расчетные параметры испытуемого изделия на

основе стохастической модели с учетом некоторого эталона; элементы вектора Y_N представляют результаты измерения его диагностических параметров; расхождение (рассогласование) между расчетными и измеренными значениями параметров в простейшем случае имеет вид: $\Delta Y = Y_M - Y_N$.

В качестве основных используемых моделей выбраны стохастические разностные уравнения, адекватно описывающие дискретные динамические объекты (испытываемые изделия и процессы испытаний) в условиях приемосдаточных и контрольных испытаний. Рассматриваются только линейные динамические объекты, т.к. обобщение на классы нелинейных объектов широко представлено в литературе [5].

При функционировании испытываемых изделий на установившихся режимах используются скалярные модели авторегрессии - скользящего среднего [6], коэффициенты которых при нормальном техническом состоянии изделий не выходят за границы интервала $\pm 3\sigma$, σ - среднеквадратическое отклонение.

При изучении функционирования изделий на различных режимах применяются многомерные модели, когда случайные процессы измерений параметров рассматриваются как элементы единого многомерного динамического процесса. Для многих изделий эти процессы являются нестационарными со стационарными приращениями, между которыми существует линейная зависимость. Эта зависимость характеризуется коэффициентом линейной комбинации между исследуемыми нестационарными процессами, представляющим стационарную случайную величину с эмпирическим распределением, близким к нормальному [7].

Исследования двигателей внутреннего сгорания показали, что подобные зависимости можно установить между их основными диагностическими параметрами, измеряемыми в ходе приемосдаточных и контрольных испытаний. Полученные зависимости проверены по стандартным (нагрузочным, скоростным, регулировочным) характеристикам двигателей, полученным по результатам обработки экспериментальной информации.

При установлении факта существования таких зависимостей между диагностическими параметрами эталонных изделий процедура принятия решений организуется путем анализа динамики изменения коэффициентов линейных комбинаций между основными группами

диагностических параметров. При удовлетворительном техническом состоянии изделия они также должны находиться в пределах $\pm 3\sigma$ от эмпирического среднего.

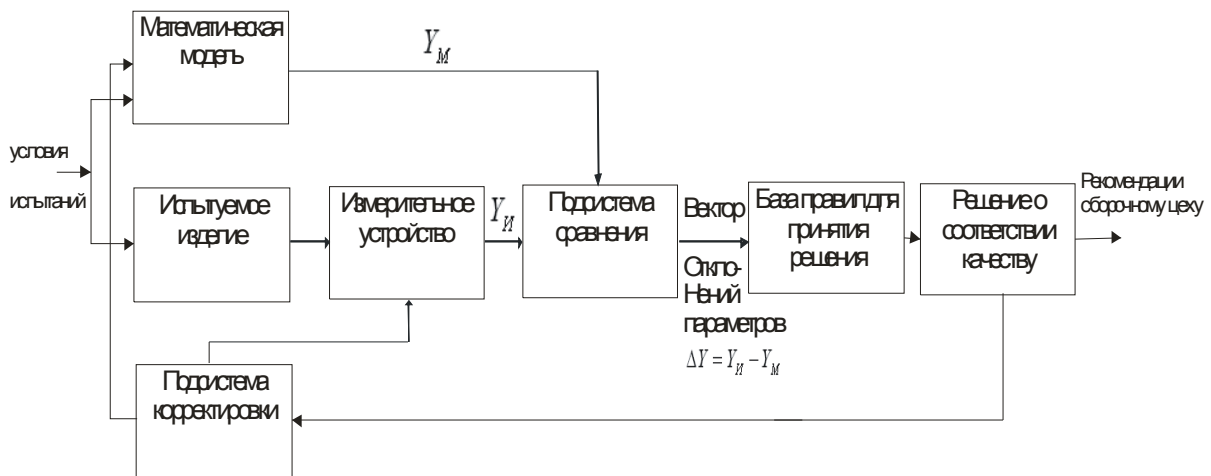


Рисунок 1

Основное правило для отнесения изделия к классу годных или негодных к эксплуатации строится на основе информационного расхождения Кульбака между плотностями вероятностных распределений $P(Y_M)$ и $P(Y_N)$ соответственно векторов расчетных и измеренных параметров [4]:

$$J(Y_M, Y_N) = \int_Y [p(Y_M) - p(Y_N)] \ln \frac{p(Y_M)}{p(Y_N)} dY$$

Для случая нормального распределения векторов расчетных Y_M и измеренных Y_N параметров при равенстве их ковариационных матриц $\Sigma_M = \Sigma_N = \Sigma$ расхождение между векторами параметров определяется по формуле

$$r_{12} = Y_N^T \Sigma^{-1} (\delta_M - \delta_N) - \frac{1}{2} (\delta_M + \delta_N)^T \Sigma^{-1} (\delta_M - \delta_N) \quad (1)$$

и сравнивается со значениями из базы правил. В выражении (1) σ_M , σ_N - векторы средних значений, Σ_M , Σ_N - ковариационные матрицы, задаваемые как $\sigma_M = E\{Y_M\}$, $\Sigma_M = E\{(Y_M - \sigma_M)(Y_M - \sigma_M)^T\}$, $\Sigma_N = E\{(Y_N - \sigma_N)(Y_N - \sigma_N)^T\}$. $E\{\}$ обозначает оператор математического ожидания, T - символ транспонирования вектора. При отличных от нормального законах распределения плотности вероятности определяются по эмпирическим данным отдельно для каждого возможного закона распределения.

Подсистема корректировки (рис. 1) содержит технические задания на испытания, информацию о номинальных значениях контролируемых параметров, соответствующих некоторому эталонному изделию, и, в зависимости от полученных решений, может корректировать количество измеряемых параметров изделий и промежутки времени между измерениями.

Преимущества создаваемой технологии заключается в простоте программной реализации, принятия решений в реальном времени испытаний и исключении эксперта (оператора испытаний) из процесса принятия решения, что снижает вероятность принятия неверного решения (отнесения годного изделия к классу негодных и наоборот).

Направление будущих исследований должно быть связано с формированием информационной технологии принятия решений в условиях ужесточения требований к качеству, в том числе надежности, изготавливаемых изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мошкин Н.И. Реализация метода постановки диагноза в сложной технической системе с помощью вероятностных оценок в составе компьютерного диагностического комплекса / Н.И. Мошкин // Информационные технологии - №8, 2007. - С 40-42.
2. Жернаков С.В. Экспертная система контроля и диагностики авиационных двигателей / С.В. Жернаков // Информационные технологии - №1, 2007. - С 62-69.
3. Первухина Е.Л. Информационные технологии в задачах оценки технического состояния машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, Т.Л. Степанченко // Сборка в машиностроении, приборостроении. - №8 - 2006. -С. 31 - 40.
4. Ту Дж. / Дж.Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. -М.: Мир, 1978. - 411 с.
5. Цыпкин Я.З. / Я.З. Цыпкин. Информационная теория идентификации. - М.: Наука. Физ.-мат. лит., 1995. - 336 с.
6. 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.
7. Первухина Е.Л. Организация процедуры принятия решений по результатам стендовых испытаний машиностроительных изделий / Е.Л. Первухина, Т.Л. Степанченко, В.В. Голикова // Статья. Системные технологии, 2007. - №5 (52). - С. 19-25.

СОДЕРЖАНИЕ

Системный анализ и синтез процессов в металлургии и машиностроении

В.Е. Бахрушин, М.А. Игнахина применение статистических методов при обработке результатов производственного контроля в металлургии полупроводников	3
Гожий А.П. Непараметрическое оценивание экспертных данных в задачах сценарного анализа	8
Кирия Р.В. Алгоритм оптимального управления пуском ленточного конвейера.....	15
Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Ольшанская И.В., Заморенов М.В. Анализ производительности гибкой производственной ячейки с различными обесценивающими простоями.....	24
Пушкин А.А., Тимошенко А.В. Оптимизация параметров электроприводов прокатных станов с целью улучшения качества динамических процессов.....	33

Информационное и программное обеспечение процессов проектирования в машиностроении

Белодеденко С.В. Ресурсная механика – направление повышения качества машин и эффективности их использования.....	39
Белодеденко С.В., Гануш В.И., Иваница А.С. Автоматизированный поиск функций распределения долговечностей и факторная модель срока службы зубчатых передач.....	47
Григоренко В.У., Пилипенко С.В. Система автоматичного розрахунку параметрів процесу та проектування інструменту станів холодної пільгерної прокатки труб.....	54
Маковцев В.А. Системное проектирование концевых мер для синусных универсальных переналаживаемых приспособлений.....	60
Марунич В.А., Яриз А.Ю. Новые системы активного контроля в машиностроении	65
Проволоцкий А.Е., Кузнецов В.Е., Негруб С.Л., Нарбутович-Кащенко А.Н. Применение эластичных инструментов в металлургической промышленности и машиностроении	77
А.Е. Проволоцкий, Мохеб Мохаммад Исследование комплексных технологических процессов.....	82

Проволоцкий А.Е., Нарбутович-Кащенко А.Н. Управление процессами струйной обработки.....	88
Ясев А.Г., Пась Р.В., Меженная К.Г. Использование информационных технологий для исследований в машиностроении	94

Прогрессивные информационные технологии и организация современного производства

Бобух Л.В., Сиволап Т.Н., Бобух К.А. Информация как продукт и критерий качества образования	100
Гнатушенко В.В. Застосування проективної геометрії при фотограмметричній обробці стереозображень	107
Григоренко В.У., Маркевич І.В. Інформаційна система визначення раціональних параметрів процесу і важільної системи станів ХПТР	111
Жуковицкий И.В., Остапец Д.А. Автоматизированная система управления скатыванием вагонов от вагоноопрокидывателя на базе промышленных микропроцессорных контроллеров	116
Иващенко В.П., Швачич Г.Г., Шмукин А.А. Параллельные вычисления и прикладные задачи металлургического производства	123
Козина И.В., Корсун В.И. Применение метода анализа иерархий для оперативной обработки информации о материальных потоках в забоях угольных шахт	139
Корсун В.И., Белан В.Т., Тарасенко В.Г., Каранда О.Ю. Оценка погрешности процесса адаптивной идентификации параметров квазистационарного объекта посредством двух моделей с перестраиваемыми структурами	143
Писклакова О.А., Брынза Н.А., Филипская Д.И. Анализ особенностей решения задачи многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности	147
Танянский С.С. Межмодельное отображение неоднородных баз данных	158
Цвиркун Л.И., Панченко С.В. Использование современных Информационных технологий для изучения автоматизированных систем управления угольных шахт	163
Первухина Е.Л., Степанченко Т.Л., Голикова В.В. Формирование информационной технологии принятия решений по результатам стендовых испытаний машиностроительных изделий	168

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.317.382:539.1

Бахрушин В.Є., Ігнахіна М.О. **Застосування статистичних методів при обробці результатів виробничого контролю в металургії напівпровідників** // Системні технології Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. - Дніпропетровськ, 2008. – С. 3-7.

Розглянуто питання обґрунтованості застосування статистичних методів для розробки методик контролю якості кремнієвих епітаксійних композицій. Показано, що розподіл вимірюваних значень товщини, питомого електричного опору й щільностей структурних дефектів істотно відхиляються від нормального закону. Це свідчить про те, що звичайні методики, які ґрунтуються на параметричних статистичних методах, можуть призводити до суттєвих похибок одержуваних результатів.

Бібл. 7, іл. 2.

УДК 519.6

Гожий А.П. **Непараметрическое оценивание экспертных данных в задачах сценарного анализа** // Системні технології Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. - Дніпропетровськ, 2008. – С. 8-14.

УДК 622.647.2

Кірія Р.В. **Алгоритм оптимального керування пуском стрічкового конвеєра** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.15-23.

Поставлена задача оптимального керування пуском стрічкового конвеєра, яка є двохкритеріальною задачею оптимального керування системою з розподіленими параметрами. За критерії ефективності приймалися час пуску і коефіцієнт динамічності. Для вирішення поставленої задачі застосовувався метод зондування області варійованих параметрів за допомогою датчика випадкових чисел. В результаті задача звелася до знаходження множини Парето із сімітованих варіантів пуску. Розроблений алгоритм був реалізований на ЕОМ і апробований на конкретних прикладах.

Бібл. 6, іл. 3.

УДК 519.87

Копп В.Я., Обжерин Ю.Е., Ольшанская И.В., Замоленов М.В. **Анализ производительности гибкой производственной ячейки с различными обесценивающими простоями** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. - Дніпропетровськ, 2008. – С.24-32.

УДК 621.771.05

Пушкін А.О., Тимошенко Г.В. **Оптимізація параметрів електроприводів прокатних станів з метою покращення якості динамічних процесів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. - Дніпропетровськ, 2008. – С.33-38.

У статті визначені найкращі співвідношення параметрів регуляторів струму і швидкості головного приводу прокатного стану, реалізованого на принципі підлеглого регулювання, запропоновані способи досягнення даних значень. Вказані способи можуть бути використані для удосконалення електроприводів з метою енергозбереження і виконання вимог технологічного процесу.

Бібл. 5, іл. 3, табл. 2.

УДК 539.4

Білодіденко С.В. **Ресурсна механіка – напрям підвищення якості машин та ефективності їх використання** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.39-46.

Можливості автоматизованих систем конструювання та розрахунків не можуть бути повністю використані без зміни методології проектування, що склалася. На відміну від неї, для ресурсної механіки актуальні уточнені оцінки, що властиві інформаційним технологіям, оскільки в цьому причина підвищення безпеки експлуатації та мінімізації витрат на створення машин. Надані нові техніки та засоби ресурсної механіки.

УДК 622.0015.0202.5

Білодіденко С. В., Гануш В. І., Іваниця О. С. **Автоматизований пошук функцій розподілу довговічностей та факторна модель строку служби зубчастих переда** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.47-53.

Розглянуті питання визначення функції розподілу довговічності зубців та строків служби зубчастих колес по контактній втомі та цикличному вигибу з урахуванням стохастичних властивостей діючого навантаження. Для цього наведено алгоритм, який було реалізовано в програмі Excel, для декількох режимів навантаження та різних властивостей матеріала зубчастих колес. Дана математична модель строків служби.

Бібл. 1, іл. 1, табл. 1

УДК 621.774.21:621.791.7

Григоренко В.У., Пилипенко С.В. **Метод расчета параметров холодной пильгерной прокатки труб на оправке с криволинейной образующей с первичным учетом уширения металла в мгновенном очаге деформации** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.54-59.

Приведено реализацию в системе автоматического проектирования "T-FLEX CAD" нового метода расчета параметров холодной пильгерной валковой прокатки труб который основан на обеспечении условий для получения необходимой точности труб.

УДК 531.711.5

Маковцев В.А. **Системное проектирование концевых мер для синусных универсальных переналаживаемых приспособлений** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.60-64.

Предложенные устройства расширяют технологические возможности существующего станочного оборудования при механической обработке с высокой точностью крупногабаритных изделий большой массы, аннулируют одноцелевые неразборные наклонные стационарные приспособления, значительно снижают себестоимость выпускаемой продукции и сокращают сроки подготовки производства новых изделий.

Библ.2, ил. 3.

УДК 620.179

Марунич В.О., Яріз Г.Ю. **Нові системи активного контролю в машинобудуванні** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.65-76.

Розглядаються існуючі способи неруйнуючого активного контролю товщини діелектричних покриттів на металевих виробах, найбільш раціональним з яких визнано вихротоковий неруйнуючий спосіб контролю. На його базі запропонована нова система активного контролю товщини покриття при обробці діелектричних покриттів на великогабаритних нежорстких виробах. Обробка ведеться за допомогою пристрою для обробки діелектричних покриттів металевих виробів. Визначена залежність ефективного використання способу від діаметра ріжучого інструмента та від конструктивних параметрів вихротокового датчика активного контролю.

Бібл. 5, іл. 4.

УДК 621.923

Проволоцький О.Є., Кузнецов В.Є., Негруб С.Л., Нарбутович-Кащенко О.М. **Застосування еластичних інструментів у металургійній промисловості й машинобудуванні** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.77-81.

Проведено аналіз ролі й значимості фінішних оздоблювальних операцій у металургії та машинобудуванні з виявленням особливостей операцій у кожній зі сфер, що відбиваються на технологічному забезпеченні відповідних операцій. Аналіз здійснений під кутом зору переважного застосування гнучкого еластичного типу

інструмента через його високу технологічну ефективність, доступності й простоти практичного застосування, конструктивної простоти, що забезпечує одночасно широку універсальність і технологічну гнучкість. Аналіз проведений відповідно до особливостей сфер застосування інструментів.

Бібл. 5.

УДК 621.923

Проволоцький О.Є., Мохеб Мохаммад. **Дослідження комплексних технологічних процесів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.82-87.

У роботі проведений аналіз застосування високопористих шліфувальних кіл з достоїнством і недоліками. Для зняття стружки при шліфуванні застосовується звичайний гідравлічний потік, але в западинах кола стружка не віддається. Крім того виправлення кіл не проводиться. Мікрорельєф шліфованої поверхні має спрямованість, по якій вільно віддається змащення. У новій роботі надані нові схеми шліфування з гідро абразивною обробкою. Вільні абразивні частки легко впроваджуються в пори шліфувальних кіл, видаляючи стружку, і обробляють поверхню деталі з утворенням матового мікрорельєфу. Що значно підвищує ефективність абразивної обробки.

УДК 621.924.

Проволоцький О.Є., Нарбутович-Кашенко О.М. **Управління процесами струминної обробки** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.88-93.

При струминній обробці використовуються різні матеріали, які забезпечують різні результати. Особливе значення – коли абразивні частці роздроблюються при ударному контакті з оброблювальною поверхнею. В новій роботі приведені дослідження використання полімерних кульок при струминній обробці. При дослідженні виявились позитивні результати взаємного контакту кульок з деталями. Полімерні кульки не руйнуються, залишаючи цікавий мікрорельєф на оброблювальній поверхні. Подальші дослідження мають високій технологічний інтерес з впровадженням на різноманітних підприємствах.

Бібл. 2, іл. 1

УДК 621.757.001.57

Ясєв О.Г., Пась Р.В., Меженна К.Г. **Використання інформаційних технологій для досліджень у машинобудуванні** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.94-99.

Розглянуто можливість використання математичних моделей технології машинобудування при постановці імітаційних експериментів, пов'язаних з дослідженням процесів механічної обробки. Як приклади розглянуті задачі визначення

залежності похибки обробки від режимів різання та визначення ступеня впливу верстатних пристроїв на похибку механічної обробки.

УДК. 303.094.7

Бобух Л.В., Сиволап Т.М., Бобух К.О. **Інформація як продукт і критерій якості освіти** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.100-106.

Обґрунтовано вибір інформації – універсальної характеристики, використання якої дозволяє графічно відображати процеси освіти. Надані: енерго-елементно-інформаційна модель біосистеми (людини, також) і графік послідовного естафетно-зростаючого засобу передачі інформації у ланцюжку вчитель-учень (вчитель).

Бібл. 4, іл. 5.

УДК 528.71+514.1

Гнатушенко В.В. **Применение проективной геометрии при фотограмметрической обработке стереоизображений** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.107-110.

В работе предложен алгоритм определения взаимного ориентирования фотограмметрических стереоизображений, который адекватно описывает процессы формообразования фотограмметрических данных стереосъемки и использует аппарат проективной геометрии.

Библ. 6.

УДК 621.774.35.016.3

Григоренко В.У., Маркевич И.В. **Информационная система определения рациональных параметров процесса и рычажной системы станов ХПТР** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.111-115.

В статье рассмотрен вопрос комплексного определения параметров процесса ХПТР, рычажной системы стана выполнение необходимых расчетных анализов с помощью компьютерной реализации математического описания.

УДК 656.212.5:681.3

Жуковицький І.В., Остапець Д.А. **Автоматизована система управління скачуванням вагонів від вагоноперевертувачів на базі промислових мікропроцесорних контролерів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.116-122.

Аналізується структура і функціональна схема цифрової системи управління гальмуванням вагону в сповільнювачі з дискретним вимірником швидкості. Показано, що на відміну від традиційних ім-пульсних систем, де відбувається квантування

координати часу, дану систему зручно представити як імпульсну систему з квантуванням по дорозі.

Бібл. 4, іл.3.

УДК 681.3.012:621.1

Івашенко В.П., Швачич Г.Г., Шмукін О.О. **Паралельні обчислення і прикладні задачі металургійного виробництва** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.123-138.

Запропонований підхід до розробки сучасних обчислювальних математичних технологій знаходження рішення багатомірних нестационарних задач металургійного виробництва. Процес моделювання реалізовано на основі застосування багатопроцесорних обчислювальних систем кластерного типу. Висвітлюються питання конструювання обчислювально кластера. Розглядаються питання побудови максимальних паралельних форм алгоритмів різницевих схем, що мають трьохдіагональну структуру. Виявлені особливості розпаралелювання за допомогою шматково-аналітичного методу прямих. Наводяться результати машинного моделювання на паралельному обчислювальному кластері для обробки даних теплофізичного експерименту.

Бібл. 7, іл. 4.

УДК 004.94

Козіна І.В., Корсун В.І. **Застосування методу аналізу ієрархій для оперативної обробки інформації про матеріальні потоки у лавах вугільних шахт** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.139-142.

Описана процедура використання методу аналізу ієрархій для прийняття в умовах багатокритеріальності оперативного рішення щодо вибору раціонального маршруту руху матеріалів у вугільних шахтах.

Бібл. 5, табл.. 3.

УДК 389.001

Корсун В.І., Белан В.Т., Тарасенко В.Г., Каранда О.Ю. **Оцінка похибки процесу адаптивної ідентифікації параметрів квазістационарного об'єкта за допомогою двох моделей зі структурами, які перебудовуються** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.143-146.

Описана процедура знаходження динамічної похибки, яка з'являється при послідовній ідентифікації параметрів квазістационарного об'єкта за допомогою двох взаємодіючих адаптивних моделей зі структурами, які перебудовуються.

Бібл. 4.

УДК 518.81

Писклакова О.О., Бринза Н.О., Филипска Д.І. **Аналіз особливостей рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.147-157.

У роботі сформульована постановка рішення задачі багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності, був проведений обчислювальний експеримент для оцінки адекватності і точності евристичної трансформації інтервальної невизначеності у суб'єктивну вірогідно стну невизначеність у вигляді випадкових величин з рівномірним законом розподілу.

Бібл. 12, іл. 1, табл.1

УДК 681.3.06

Таняньський С.С. **Міжмодельне відображення неоднорідних баз даних** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.158-162.

У статті розглянуті способи визначення моделі даних, її властивості та визначено етапи побудови міжмодельного відображення, що включає відображення схем і станів баз даних. Визначено властивості взаємної відповідності моделей з частковим використанням даних. Показано, що такий підхід дозволяє будувати відображення між моделями неоднорідних баз даних, і в цілому забезпечувати динамічність розвитку інтегрованої інформаційної системи.

УДК 621.31:681.11

Цвіркун Л.І., Панченко С.В. **Використання сучасних інформаційних технологій для вивчення автоматизованих систем керування вугільних шахт** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. - – Дніпропетровськ, 2008. – С.163-167.

Розглядаються особливості випробувань автоматизованих систем управління вугільних шахт. Запропоновано використовувати відеоінформацію про стан вузлів і агрегатів, як додаткову інформацію при випробуваннях. Показано, що розроблений реєстратор дозволяє зберігати відеоінформацію у вигляді знімків з максимальною швидкістю запису до 60 кадрів/хв.

УДК 621.002:681.324

Первухіна О.Л., Степанченко Т.Л., Голікова В.В. **Формування інформаційної технології прийняття рішень за результатами стендових випробувань машинобудівних виробів** // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 3(56). - Том 1. – Дніпропетровськ, 2008. – С.168-172.

Метою роботи є вивчення основ і принципів формування інформаційної технології прийняття рішень за результатами моніторингу технічного стану

машинобудівних виробів у ході їх виробничих стендових випробувань. З безлічі стохастичних моделей випробуваних виробів вибираються найбільш ефективні для організації прийняття рішень. Як критерій розбіжності між модельованими й вимірюваними параметрами випробувань використовується інформаційна міра Кульбака.

Бібл. 7, іл. 1.

UDC 621.317.382:539.1

Backhrushin V.E., Ignakhina M.A. **Application of statistical methods at analyses of production control observations at metallurgy of semiconductors** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P. 3-7.

A problem of validity of statistical methods application for the quality control of silicon epitaxial compositions is discussed. It is shown, that the distribution of measured values of thickness, resistivity and densities of structural defects are essentially deviated from normal law. Therefore ordinary techniques, based on parametric statistical methods, may give substantial errors of receiving results.

Bibl. 7, il. 2.

UDC 519.6

Gozhiy A.P. **Nonparametrical estimations of expert data in case of scenario analysis** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P. 8-14.

UDC 622.647.2

Kiriya R.V. **Algorithm of optimum management by starting of band conveyer** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.15-23.

The task of optimum management by starting of band conveyer is put, which is the twocriterion task of optimum management by the system with the distributed parameters. To the criteria of efficiency set time of starting and coefficient of dynamic quality. For the decision of the put task the method of sounding of region of the varied parameters by the sensor of random numbers was used. As a result a task was taken to finding of the great number Pareto from the great number of simitirovannih variants of starting. The developed algorithm was realized on COMPUTER and approved on concrete examples.

Bibl. 6, silt. 3.

UDC 519.87

Kopp V.Ya., Obzherin Yu.E., Olshanskaya I.V., Zamorenov M.V. **The analysis of flexible production system with various depreciation faults** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.24-32.

UDC 621.771.05

Pushkin A.A., Timoshenko A.V. **Optimization of parameters of electric drives of rolling mills with the purpose of improvement of quality of dynamic processes** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.33-38.

In clause the best parities of parameters of regulators of a current and speed of the main drive of the rolling mill realized on a principle of subordinated regulation are certain, ways of achievement of the given values are offered. The specified ways can be used for improvement of electric drives with the purpose энергосбережения and performance of requirements technological.

Bibl. 5, ill. 3, tabl. 2.

UDC 539.4

Belodedenko S.V. **Lifetime mechanics is the direction of increasing machines quality and theirs efficiency using** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.39-46.

The possibilities of automatization design and calculation systems don't be used fully without changing traditional design methodology. Differ from its, for lifetime mechanics actually accurate information technology assessments, that is a reason motive of exploit safety increasing and creative machines expenditure is minimized. New account technics of lifetime mechanics is regared.

UDC 622.0015.0202.5

Belodedenko S. V., Ganush V. I., Ivanica A. S. **Automated search of distribution functions of llife time and factor model of service live of gear drives.** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.47-53.

The problems of definition of a distribution function of life time of teeth and service life of gear wheels on contact fatigue and cyclical flexure with allowance for of stochastic properties of actual load are reviewed. For this purpose the algorithm realised in the program Excel, for several conditions of loading and different properties of a material of sprockets is introduced. The mathematical model of service life is given.

UDC 621.774.21:621.791.7

Grigorenko V.U., Pilipenko S.V. **Method of calculation of parameters cold pilger proskating rinks of pipes which it is based on maintenance of conditions for reception of necessary accuracy of pipes** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.54-59.

It is arranged realization in system of automatic designing " T-FLEX CAD " a new method of calculation of parameters cold pilger rollin of pipes which it is based assurance of conditions for abtaining of necessary accuracy of pipes.

UDK 531.711.5

Makovtsev V.A. **System designing of end measures for SUPP** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.60-64.

The offered devices broaden the technological possibilities of present machining facilities attached to tooling with high accuracy of large-sized wares of big mass, annul single-purpose nonseparable sloping stationary adaptations, considerably bring down of output production price and reduce preproduction terms of new wares.

Bibl. 2, ill. 3.

UDK 620.179

Marunich V.A., Yariz A.JU. **New inprocess gaging systems in the mechanical engineering** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.65-76.

Existing ways of not destroying active control of thickness of dielectric coverings on metal products are considered, by most rational of which is recognized a vortex-current method of control. On its base it was offered the new inprocess gaging system of coating thickness by processing of dielectric coatings on large-sized no rigid products. Processing is realized by means of the processing devise of dielectric coatings of metal products. Dependence of an effective using of a way on diameter of the cutting tool and on design data the vortex-current gauge of the active control is certain.

Bibl. 5, ill. 4.

UDC 621.923

Provolotskij A.E., Kuznetsov V.E., Negrub S.L., Narbutovich-Kaschenko A.N. **Application of elastic tools in an iron and steel industry and mechanical engineering** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.77-81.

The analysis of a role and the importance of finishing operations in steel industry and mechanical engineering with revealing features of operations in each of the spheres reflected technological maintenance of corresponding operations is lead. The analysis is carried out from this point of view primary application of flexible elastic type of the tool in view of its high technological efficiency, availability and simplicity of practical application, the constructive simplicity providing simultaneously wide universality and technological flexibility. The analysis is lead according to spheres of application of tools.

Lib. 5

УДК 621.923

Provolotskij A.E., Moheb Mohammad. **Research complex technological processing** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.82-87.

In work the analysis of application grinding circles with merits and demerits is lead. The usual hydraulic stream is applied to removal of a shaving at grinding, but in hollows of a circle the shaving does not leave. Except for that editing of circles is not spent. The microrelief surfaces has an orientation on which greasing freely leaves. In new work new

schemes of grinding with hydroabrasive processing. Free abrasive particles easily take root into times of grinding circles, deleting a shaving, and process a surface of a detail with formation of a matte microrelief. That considerably raises efficiency of abrasive processing.

UDC 621.924

Provolotskij A.E., Narbutovich-Kaschenko A.N. **Management processes jet** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.88-93.

At jet processing different materials which provide different results are used. Special value - when abrasive particles collapse at shock contact to a processable surface. In new work researches of use of polymeric balls are resulted at jet processing. At research positive results of mutual contact of balls with processable details have come to light. Polymeric balls do not collapse, leaving an interesting microrelief on the processed surface. The further researches have high technological interest with introduction at the different enterprises.

UDC 621.757.001.57

Yasev A.G., Pas R.V., Mezhenaya K.G. **Use information technologies for researching in machinebuilding** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.94-99.

Possibility of the use of mathematical models of machinebuilding technology is considered at rising of imitation experiments, related to research of processes of tooling. As examples the tasks of determination of dependence of error of treatment from the modes of cutting and determination of degree of influencing of machine-tool adaptations are considered on the error of tooling.

UDK. 303.094.7

Bobukh L.V., Sivolap T.N., Bobukh K.A. **Information is the product and criteria of the education quality** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.100-106.

The groundings of information selection as a universal characteristics are carried out. With the use of last it is possible to graphically represent and describe process of education. Energy – elemental – informational model of biosystem (considering human) and a graph of consecutive, go-ahead – increased way of information transmission in a teacher – pupil (teacher) link.

Lit. 4, il. 5.

UDK 528.71+514.1

Gnatushenko V.V. **Application of projective geometry at photogrammetric processing of stereoimages** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.107-110.

In work the algorithm of definition of mutual orientation photogrammetric stereoisimages which adequately describes processes fixing photogrammetric data of stereoshooting is offered and uses the projective geometry.

Bibl. 6.

UDC 621.774.35.016.3

Grigorenko V.U., Markevich I.V. **Information system for determination of the process rational parameters and lever system of the cold tube rolling mills** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.111-115.

The question of the complex determination of the process parameters and the lever system of the cold tube rolling mills had been considered in the present paper as well as carrying out the necessary rated analysis by means of computerized realization of mathematical description.

UDC 656.212.5:681.3

Zhukovitskij I.V., Ostapec D.A. **Automated control systems by rolling of carriages from car dumper on the base of industrial microprocessors comptrollers** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.116-122.

A structure and functional diagram of the digital control system by braking of carriage in the car retarder is analysed with the discrete measuring device of speed. It is rotined that unlike the traditional impulsive systems, where the quantum of co-ordinate of time is, it is comfortably to represent this system as impulsive system with the quantum on the way.

Bibl. 4, gr. 3.

UDC 681.3.012:621.1

Ivaschenko V.P., Shvachych G.G., Shmukin A.A. **Parallel calculations and applied tasks of metallurgical production** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.123-138.

Approach is offered to development of modern calculable mathematical technologies of finding of decision of multidimensional unstationary tasks of metallurgical production. The process of design is realized on basis application of the multiprocessor computer systems of cluster type. The questions of constructing of calculable cluster are lighted. The questions of construction of maximal parallel forms of algorithms of difference schemes are examined, having a three-diagonal structure. The features of code parallelization are explored through the piece-analytical method of lines. Results of the computer-aided engineering are brought on a parallel calculable cluster for the data-processing operations of thermophysical experiment.

Bib. 7, il. 4.

UDC 004.94

Kozina I.V., Korsun V.I. **Application of a method of the analysis of hierarchies for operative processing of the information about material flows in coal-faces of collieries** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.139-142.

The procedure of use of a method of the analysis of hierarchies for acceptance of the decision in conditions of many criteria is described at the choice of a rational route of movement of materials in a colliery.

Bibl. 5, Tab. 3.

UDC 389.001

Korsun V.I., Belan V.T., Tarasenko V.G., Karanda O.J. **A rating of an error of process of adaptive identification of parameters of quasi-stationary object by means of two models which structures are reconstructed** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.143-146.

The procedure of finding a dynamic error arising at consecutive identification of parameters of quasi-stationary object through two cooperating adaptive models which structures are reconstructed is described.

Bibl. 4.

UDC 518.81

Pisklakova O.A., Brynza N.A., Filipskaya D.I. **The analysis of the special features of the solution of the problem of multicriterional optimization under the conditions of the uncertainty** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.147-157.

The given work is setting the solution of the problem of multicriterional optimization under the conditions of uncertainty is in this work formulated, was carried out computational experiment for evaluating of adequacy and accuracy of the heuristic transformation of interval uncertainty into the subjective probabilistic uncertainty in the form of random variables with the uniform distribution law.

Ref: 12, Fig 1, Tab.1.

UDK 681.3.06

Tanyansky S.S. **Intermodelling representation of heterogeneous databases** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.158-162.

In article ways of definition of model of data are considered, its properties and are certain stages of construction of the intermodelling representation including representation of schemes and conditions of databases. Properties of mutual conformity of models with partial use of data are certain. It is shown, that such approach allows building representation between models of heterogeneous databases, and as a whole to provide dynamism of development of the integrated information system.

UDC 621.31:681.11

Tsvirkun L.I., Panchenko S.V. **Use of modern information's technologies for the study of the automated control systems of coal mines** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.163-167.

The features of tests of the automated control systems of coal mines are examined. Offered to use video state information sites and aggregates as additional information at the tests. It is rotined that the developed recorder allows to save video information as pictures at full pelt records to 60 frames / minute.

Pervukhina E., Stepanchenko T., Golikova V. **Information technology of decision making on the base of branch tests of machines** // System Technologies. – N 3(56), vol.1. – Dnipropetrovsk, 2008. – P.168-172.

The foundations of the information technology forming to make decision after branch tests of machines are examined. The most effective models from the set of possible models are chosen. The criterion is utility for technology forming. The Kullback information measure is used as criterion of divergence between modeled and measured testing parameters.

Bibl. 7, ill. 1.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Бахрушин Владимир Евгеньевич – д.ф.-м.н., профессор, директор НДЦ системного анализа, зав. кафедрой системного анализа и высшей математики Классического частного университета.

Белан Владимир Трофимович – доцент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий, Национальный горный университет.

Белодеденко Сергей Валентинович - к.т.н., доцент кафедры машин и агрегатов металлургического производства, НМетАУ.

Бобух Кирилл Александрович - начальник отдела инноваций ООО ПКП «ЮВИС».

Бобух Людмила Васильевна – к.т.н., доцент кафедры общей и органической химии Национальной металлургической академии Украины.

Брынза Наталья Александровна - стажер-исследователь кафедры системотехники, ХНУРЕ.

Вадим Яковлевич Копп - д.т.н., профессор, зав. кафедрой Автоматизированных приборных систем, г. Севастополь.

Гануш Василий Иванович - ассистент кафедры Машин и агрегатов металлургического производства, НМетАУ.

Гнатушенко Владимир Владимирович — к.т.н., доцент, доцент каф. электронных средств телекоммуникаций Днепропетровского национального ун-та.

Гожий Александр Петрович - к.т.н., доцент, Николаевский государственный гуманитарный университет им.П.Могилы.

Голикова Виктория Викторовна - ассистент каф. технической механики и машиноведения, Севастопольский национальный технический университет.

Григоренко Владимир Устинович – д.т.н., профессор кафедры обработки металлов давлением, Национальная Металлургическая академия Украины.

Григоренко Володимир Устинович – д.т.н., профессор кафедры обробки металів тиском, Національна Металургійна Академія України.

Заморонов Михаил Вадимович - инженер, г. Севастополь.

Иваница Александр Сергеевич - аспирант кафедры Машин и агрегатов металлургического производства, НМетАУ.

Иващенко Валерий Петрович - д.т.н., профессор, первый проректор НМетАУ.

Игнахина Марина Александровна – к.ф.-м.н., доцент кафедры системного анализа и высшей математики Классического частного университета.

Игорь Владимирович Жуковичский - д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭВМ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Ирина Владимировна Ольшанская - канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры высшей математики, г. Севастополь.

Каранда Оксана Юрьевна – ассистент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий, Национальный горный университет.

Кирия Руслан Виссарионович - старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Козина Инна Валерьевна – ассистент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий, Национальный горный университет.

Копп Вадим Яковлевич - д.т.н., профессор, зав. кафедрой Автоматизированных приборных систем, г. Севастополь.

Корсун Валерий Иванович - д.т.н., профессор, зав. кафедрой метрологии и информационно-измерительных технологий, Национальный горный университет.

Кузнецов Виктор Евдокимович - ассистент кафедры Технологии машиностроения, Национальной металлургической академии Украины.

Маркевич Иван Вікторович - аспирант кафедры обробки металів тиском, Національна Металургійна Академія України.

Марунич Вячеслав Алексеевич - к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения, НМетАУ.

Меженная Кристина Геннадьевна - аспирантка кафедры технологии машиностроения, НМетАУ.

Михаил Вадимович Заморенов - инженер, г. Севастополь.

Мохеб Мохаммад - ассистент кафедры Технологии машиностроения, Национальной металлургической академии Украины.

Нарбутович-Кащенко Алексей Николаевич - аспирант, ассистент кафедры Технологии машиностроения, Национальной металлургической академии Украины.

Негруб Светлана Леонидовна - аспирант, ассистент кафедры Технологии машиностроения, Национальной металлургической академии Украины.

Обжерин Юрий Евгеньевич - д.т.н., профессор, зав. кафедрой высшей математики, г. Севастополь.

Ольшанская Ирина Владимировна - к.т.н., старший преподаватель кафедры высшей математики, г. Севастополь

Остапец Денис Алаксандрович - к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Панченко Сергей Викторович - Национальный горный университет.

Пась Роман Васильевич – ассистент кафедры технологии машиностроения, НМетАУ.

Первухина Елена Львовна - д.т.н., проф. каф. технической механики и машиноведения, Севастопольский национальный технический университет.

Пилипенко Станислав Владимирович – аспирант кафедры обработки металлов давлением, Национальная Металлургическая академия Украины.

Писклакова Ольга Александровна - преподаватель кафедры системотехники, ХНУРЕ.

Проволоцкий Александр Евдокимович - д.т.н., проф., заведующий кафедрой Технологии машиностроения, Национальной металлургической академии Украины.

Пушкин А.А. – ассистент каф. ЭСА ДГМА, аспирант кафедры автоматизации металлургических машин и оборудования.

Сиволап Татьяна Николаевна - Национальная металлургическая академия Украины

Степанченко Татьяна Львовна - ассистент каф. технической механики и машиноведения, Севастопольский национальный технический университет.

Танянский Сергей Станиславович – к.т.н., доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки.

Тарасенко Василий Григорьевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий, Национальный горный университет

Филипская Диана Ивановна - аспирант кафедры системотехники, ХНУРЕ.

Цвиркун Леонид Иванович - к.т.н., доцент, Национальный горный университет.

Швачич Геннадий Григорьевич – к.т.н., доцент, зав. каф. прикладной математики и вычислительной техники, НМетАУ.

Шмукин Александр Александрович - к.ф.-м.н., доцент, доцент каф. прикладной математики и вычислительной техники, НМетАУ.

Юрий Евгеньевич Обжерин - д.т.н., профессор, зав. кафедрой высшей математики, г. Севастополь.

Яриз Анна Юрьевна - аспирантка кафедры технологии машиностроения, НМетАУ.

Ясев Александр Георгиевич - к.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения, НМетАУ.