

Ю.В. Костецкий, А.В. Мач

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ ТВЕРДЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Аннотация. Предложена методика расчета эффективности процесса флотации неметаллических включений твердыми рафинирующими частицами. Путем компьютерного моделирования исследована эффективность процесса флотации неметаллических включений твердыми частицами в зависимости от их диаметра и плотности. Сопоставлены эффективности флотации включений твердыми частицами и пузырьками газа.

Ключевые слова: неметаллические включения, внепечная обработка, флотация, инжектирование, рафинирующие частицы

Введение

Задача получения металла с контролируемым содержанием неметаллических включений является актуальной для сталеплавильного производства. Для рафинирования жидкого металла от неметаллических включений широко применяется пузырьковая продувка расплава инертным газом [1]. В работе [2] была высказана идея возможности интенсификации процесса удаления неметаллических включений за счет инжекции в расплав твердых не расплавляющихся частиц.

Ранее в статьях авторов были представлены результаты изучения методом компьютерного моделирования закономерностей процесса флотации твердых неметаллических включений пузырьками газа [3, 4] и процесса коагуляции твердых рафинирующих частиц, искусственно введенных в объем металла, с неметаллическими включениями, присутствующими в жидкой стали [5].

На основе результатов исследований процесса флотации неметаллических включений были сделаны следующие основные выводы [3, 4]:

- для эффективной флотации неметаллических включений пузырьками газа необходимо сформировать большое количество мелких пузырьков, как можно более равномерно распределенных в объеме металла;

- оптимальный размер пузырьков для эффективной флотации включений составляет 1ч5 мм. На практике, в ходе продувки жидкого металла инертным газом в ковше, получать такие мелкие пузырьки крайне затруднительно;

- флотация пузырьками газа позволяет хорошо удалять включения размерами больше 50 мкм, в то время как, согласно расчетам, включения с размерами 10ч50 мкм практически не удаляются.

Анализ закономерностей процесса коагуляции частиц в объеме жидкого металла показал [5]:

- лучше всего в жидкой стали коагулируют частицы и включения, которые плохо смачиваются сталью;

- на процесс закрепления неметаллического включения на твердой частице больше всего влияют силы адгезии между ними;

- в условиях продувки металла газом в ковше скорость движения потоков жидкого металла не достаточна, чтобы оторвать силами сопротивления закрепившееся на поверхности твердой частицы неметаллическое включение;

- время спекания частицы и включения составляет порядка 0,01 с.

Полученные результаты показывают, что для удаления неметаллических включений из жидкой стали можно применить не только пузырьковую флотацию, но и задействовать механизм коагуляции включений с твердыми тугоплавкими частицами, специально введенными в объем металла, что, по оценкам, может обеспечить более эффективное рафинирование металла от включений размерами менее 50 мкм. В связи с этим представляет интерес более детальное изучение особенностей данного метода рафинирования, в частности, путем компьютерного моделирования процесса.

Методика исследования эффективности процесса флотации твердыми частицами

Для оценки эффективности процесса рафинирования жидкой стали от неметаллических включений тугоплавкими порошковыми материалами была разработана математическая модель, базирующая-

ся на модифицированной методике расчёта эффективности процесса флотации, предложенной в работах [3, 4].

Как показали расчёты [5], включение, приблизившееся к рафинирующей твердой частице на определенное расстояние, меньшее толщины пограничного слоя жидкого металла вокруг частицы, должно столкнуться с ней и закрепится на поверхности. Причем закрепившееся на поверхности твердой частицы включение уже не будет оторвано от нее впоследствии.

Таким образом, вероятность закрепления можно принять равной 1, а вероятность отрыва равной 0, и в процессе расчета учитывать только вероятность столкновения включения с частицей. При этом вместо диаметра частицы в расчете необходимо использовать сумму величины ее диаметра и толщины пограничного слоя вокруг нее.

При расчете эффективности рафинирования стали от неметаллических включений тугоплавкими порошкообразными материалами использовали следующее выражение:

$$\eta_p = 100 \left(1 - \exp \left(- \frac{3NT_F Q_p P}{2VT_0 d_p} t \right) \right) \quad (1)$$

где Q_p – объем вдуваемых в металл частиц, $\text{м}^3/\text{с}$; H – глубина ванны жидкого металла, м ; T_F – температура стали, К ; T_0 – температура вдуваемых частиц, К ; P – вероятность столкновения включения с частицей; V – объем жидкой стали, м^3 ; d_p – диаметр вдуваемых частиц, м ; t – время продувки, с .

Обсуждение результатов компьютерного моделирования

Результаты расчетов эффективности рафинирования жидкой стали тугоплавкими рафинирующими частицами для различных размеров включений приведен на рис. 1.

При задании массового расхода частиц исходили из равенства площадей поверхности инжестируемых частиц и пузырьков газа такого же диаметра, вдуваемых за такое же время. Расход газа при этом принимали равным 200 л/мин, а плотность газа соответствовала плотности аргона. По результатам расчета можно сделать вывод, что рафинирующая способность частиц резко падает с увеличением их диаметра, и если для частиц диаметром 0,5 мм и 1 мм разница не слишком существенна, то при увеличении размера частиц до 3 мм эффективность удаления включений падает в несколько раз.

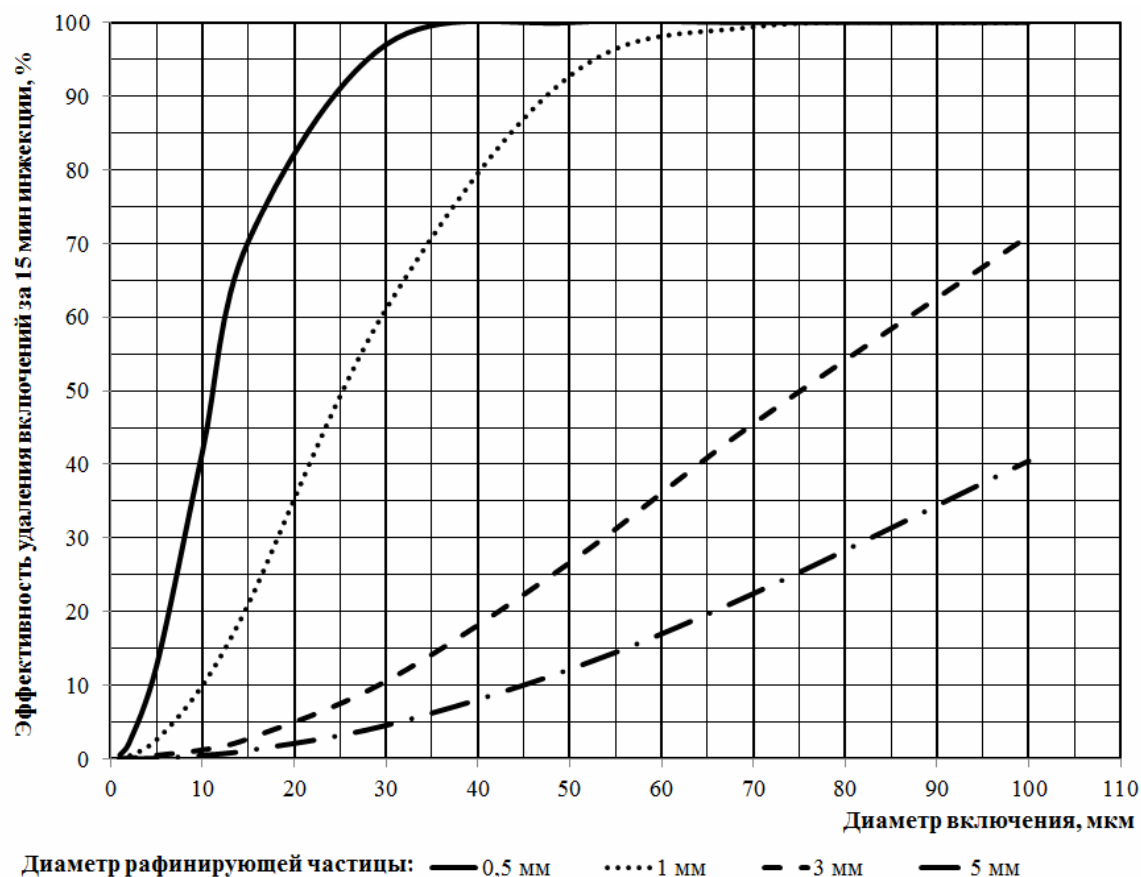


Рисунок 1 – Зависимость эффективности удаления неметаллических включений твердыми рафинирующими частицами различного диаметра от диаметра неметаллических включений

Наилучший с точки зрения удаления неметаллических включений диаметр твердых рафинирующих частиц составляет меньше 1 мм. При этом эффективность удаления неметаллических включений будет соответствовать эффективности пузырьковой флотации пузырьками диаметром 5 мм [3], однако носит более экстремальный характер – лучше всего удаляются включения с размерами больше 20 мкм, при уменьшении размеров включений до менее 10 мкм эффективность рафинирования резко падает.

Изменение эффективности процесса рафинирования металла твердыми частицами при изменении плотности материала частиц иллюстрирует рисунок 2.

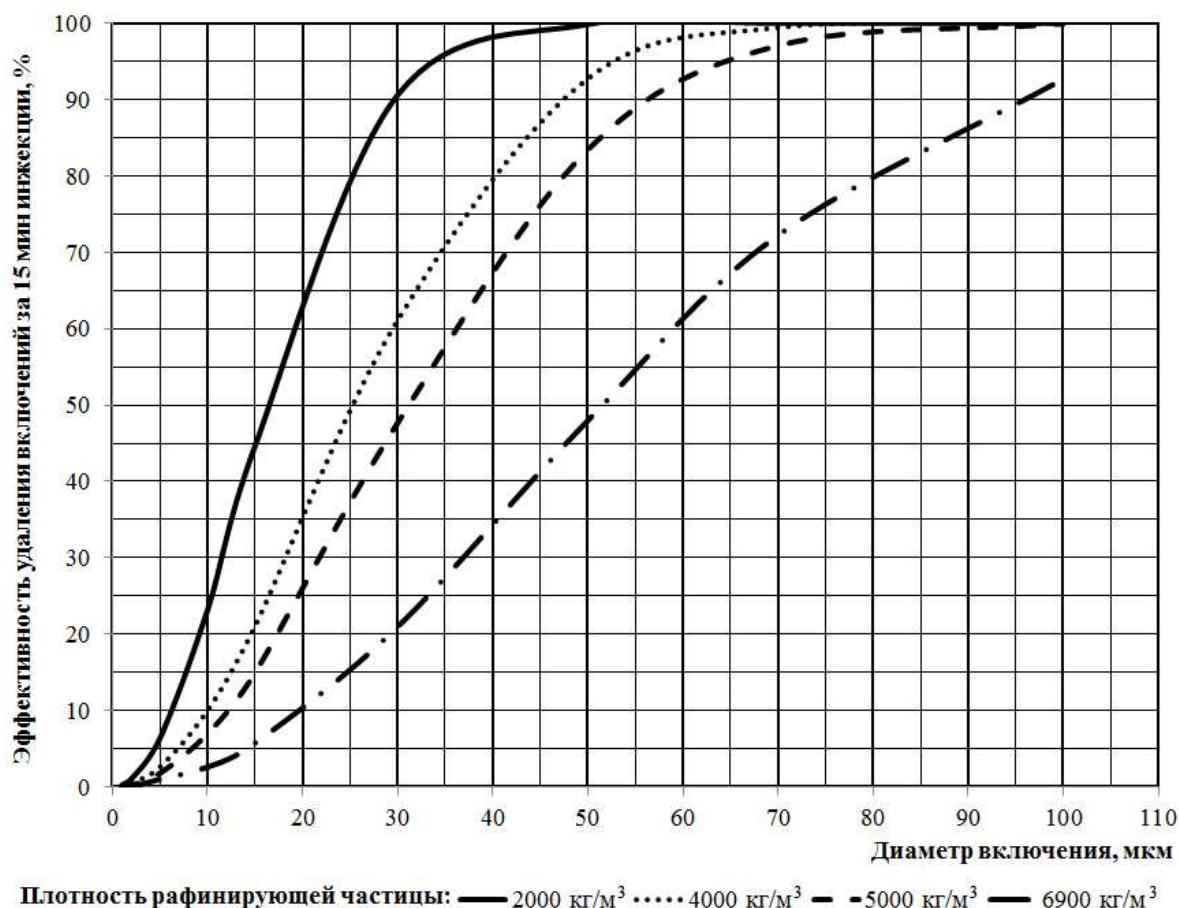


Рисунок 2 – Зависимость эффективности удаления неметаллических включений тугоплавкими рафинирующими частицами диаметром 1 мм от диаметра включения для различных плотностей инжестируемых частиц

Расчет провели для частиц диаметром 1 мм и плотностей от 1000 кг/м³ (что соответствует наиболее легким доступным тугоплавким материалам) до 6900 кг/м³ (плотности при которых частицы еще могут всплывать в жидкой стали). Видно, что эффективность удаления включений частицами сильно зависит от плотности инжестируемых частиц и существенно уменьшается с увеличением их плотности. Это объясняется соответствующим уменьшением скорости всплывания частиц в объеме металла

Влияние плотности рафинирующих частиц на их распределение в объеме жидкого металла в процессе продувки было исследовано авторами в цикле статей, посвященных математическому моделированию процесса инжестирования твердых частиц в жидкую сталь [6, 7, 8]. Результаты моделирования показали, что распределением твердых частиц в объеме стали можно эффективно управлять путем при-

менения комбинированной продувки металла через погружные фурмы и продувочные блоки, установленные в днище ковша. Наиболее равномерно в объеме металла распределяются твердые рафинирующие частицы с плотностью 2500-3000 кг/м³ и диаметром меньше 1 мм.

Выводы

Разработанная методика оценки эффективности процесса рафинирования стали от неметаллических включений, позволила на основе результатов математического моделирования сравнить эффективность удаления включений методом пузырьковой флотации и за счет введения в металл тугоплавких твердых частиц.

Как показывает моделирование твердые рафинирующие частицы с размерами меньше 1 мм обеспечивают эффективность удаления включений сравнимую с флотацией включений пузырьками диаметром 5 мм. Чем меньше размер рафинирующей частицы, тем больше эффективность удаления включений, однако слишком маленькие частицы могут долго всплывать из объема металла и в итоге стать источником загрязнения металла, поэтому применение частиц с размерами меньше 300 – 400 мкм нецелесообразно.

На эффективность удаления неметаллических включений твердыми частицами существенное влияние оказывают не только их размер, но и их физические свойства. Например, смачиваемость жидкой сталью – чем больше угол смачивания, тем лучше закрепляются неметаллические включения на поверхности твердых рафинирующих частиц, плотность – чем ниже плотность инжектируемых частиц, тем выше эффективность процесса рафинирования.

Обработка твердыми частицами может обеспечить интенсификацию процесса рафинирования жидкого металла от неметаллических включений при использовании как в сочетании с пузырьковой флотацией, так и без нее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дюдкин Д.А. Современная технология производства стали /Д.А. Дюдкин, В.В. Кисиленко. – М: Теплотехник, 2007. – 528 с.
2. Kostetsky Y. Modeling of behavior of injected nonmetallic particles in liquid metal bath and analysis of them influence on the metal purification processes / Y. Kostetsky, A. Mach //LMPS 2011, September 25-28, Nancy, France – 2011
3. Костецкий Ю.В. Исследование эффективности процесса флотации неметаллических включений пузырьками аргона / Ю.В. Костецкий, А.В. Мач // Научные труды ДонНТУ, Metallurgia – Выпуск 13 (194) – 2011 – С 65-76
4. Костецкий Ю.В. Исследование процесса флотации неметаллических включений пузырьками газа / Ю.В. Костецкий, А.В. Мач // VII Международная конференция «Стратегия качества в промышленности и образовании», 8-15 июня, Варна, Болгария – 2012 – С 90-93
5. Костецкий Ю.В. Исследование процесса коагуляции неметаллических включений с твердыми рафинирующими частицами в жидкой стали / Ю.В. Костецкий, А.В. Мач // Актуальные проблемы современной металлургии. Сб. научн. тр., посв. 100-летию со дня рожд. проф. М.Я. Меджибожского. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – С 69-78.
6. Костецкий Ю.В. Математическое моделирование перемешивания жидкого металла в ковше в процессе инъекции материалов через погруженную фурму с одновременной продувкой снизу / // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов – 2(67) – Днепропетровск – 2010 – С 37-43.
7. Костецкий Ю.В., Математическое моделирование поведения твердых частиц в объеме металла в процессе инъекции / Ю.В. Костецкий, А.В. Мач // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 2 (73). – Днепропетровск, 2011. – С 147 - 152.
8. Kostetsky Y. Study of the solid particles behavior in the volume of metal in the course of pneumatic injection / Y. Kostetsky, O. Mach // METAL 2011, 18-20.5, Brno, Czech Republic – 2011

В.В. Поливода, Г.В. Рудакова, О.В. Поливода

ЗАДАЧІ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ВИРОБНИЦТВОМ ХЛІБОПРОДУКТІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Анотація. Виконаний аналіз задач оптимізації, що вирішуються при управлінні виробництвом хлібопродуктів із заданими властивостями. Доведено, що задачі управління виробництвом необхідно вирішувати з використанням систем підтримки прийняття рішень (СППР) в складі інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ) підприємством, яка призначена для полегшення праці управлінського персоналу та скорочення терміну прийняття рішень.

Ключові слова: задача оптимізації, виробництво хлібопродуктів, системи підтримки прийняття рішень, планування виробництва, продукція із заданими властивостями.

Постановка проблеми

Переробка зернових сільськогосподарських культур є важливою складовою агропромислового комплексу, яка задовольняє потреби держави щодо забезпечення населення продуктами харчування, як для внутрішнього споживання, так і для експорту за межі країни.

Вимоги ринку та діючих міжнародних і державних стандартів щодо виробництва продукції [1] потребують відповідної модернізації обладнання існуючих підприємств на основі концепції застосування інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ).

Аналіз публікацій за темою дослідження

Стабільна робота підприємств зернопереробної промисловості та підвищення конкурентоспроможності продукції залежить від наявності сировини, досконалості обладнання, технологічних процесів, кваліфікації обслуговуючих кадрів, а також впровадження сучасних автоматизованих систем керування виробництвом. Багатостадійність процесів при виробництві хлібопродуктів, наявність паралельних ділянок і рециклів, великі обсяги інформації потребують технологічної модернізації підприємств, вдосконалення концепції організації та управління виробництва в цілому.

Для підвищення ефективності роботи підприємства при мінливих зовнішніх умовах необхідно своєчасно та раціонально здійснювати планування виробництва з урахуванням потреб ринку споживачів щодо об'ємів та якісних показників продукції, що виробляється.

Економічні показники роботи підприємства в умовах ринку безпосередньо пов'язані з визначенням видів продукції, які доцільно виробляти. Хлібопродукти, що отримуються при переробці зерна, можна розподілити на такі види за їх призначенням: для харчової промисловості – борошно різних сортів, крупи; для тваринництва – висівки, з яких виробляють комбікорми; для паливно-енергетичної промисловості – зерновідходи, необхідні для виробництва паливних пелет [2].

Управління виробництвом хлібопродуктів є комбінованою задачею, що складається з низки завдань: складання рецептів помольних партій з урахуванням наявних замовлень на виробництво в залежності від потреб ринку кількості та якості наявної сировини (планування виробництва); вибір технологічної схеми виробництва з використанням окремих типів обладнання (розподіл ресурсів); вибір послідовності здійснення технологічних операцій на виробництві (календарне планування); контроль і управління обладнанням технологічних процесів (оперативне керування) (рис. 1).

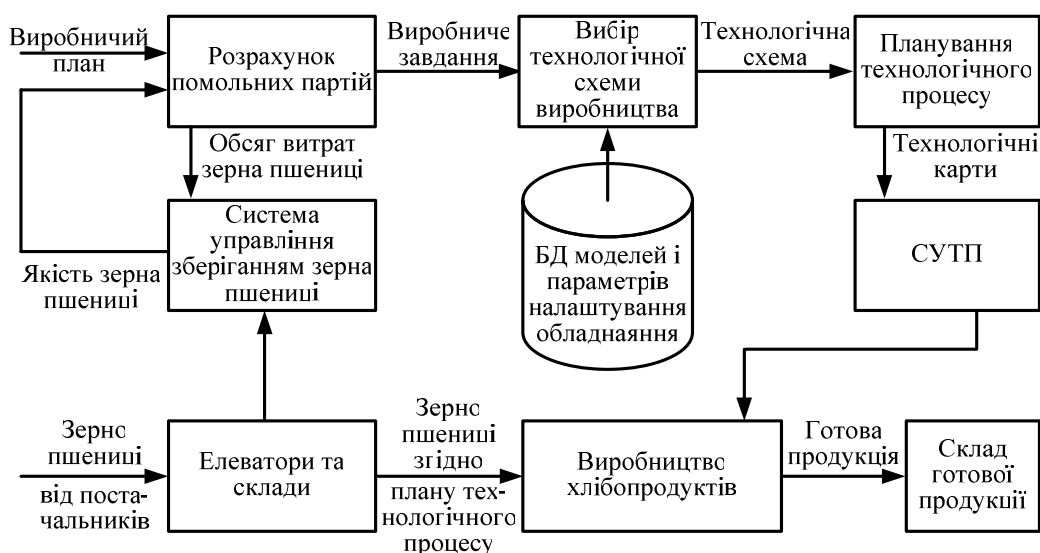


Рисунок 1 – Задачі управління виробництвом хлібопродуктів

Розв'язання цих задач оптимізації тісно пов'язані між собою і мають особливу значимість для належної організації і планування виробництва хлібопродуктів із заданими властивостями.

Постановка задачі

Метою досліджень є аналіз задач оптимізації, що вирішуються при управлінні виробництвом хлібопродуктів із заданими властивостями, розв'язання яких надає можливість мінімізувати витрати та забезпечити максимальну продуктивність виробництва.

Основна частина

При отриманні замовлення на виробництво хлібопродуктів з певними властивостями необхідно оцінити можливості зернопереробного підприємства щодо його реалізації, для чого потрібно послідовно розв'язати низку оптимізаційних задач.

1. Задача оптимізації рецептів (складу) помольних партій.

Метою розв'язання задачі оптимізації рецептів помольних партій є визначення множини видів продукції Y , об'єм їх виробництва N та якості Q . Тому на основі інформації про наявні запаси сировини на складах підприємства та його якості необхідно, в першу чергу, скласти виробниче завдання (план виробництва) $Z(Y, N, Q)$ на наступний обліковий період (місяць).

Для розв'язання задачі складання помольних партій необхідно використовувати відповідні стандартні методи оптимізації рецептур помольних партій із заздалегідь відомими параметрами якості та планування технологічного процесу, а також впроваджувати автоматизовані системи планування помольних партій.

Параметри, за якими визначається якість кожного виду продукції, встановлюється відповідними міжнародними та державними стандартами, а також договірними відносинами із замовником. Залежність між показниками, які характеризують якість сировини у складі помольної партії, визначається методами сучасної математичної статистики [3]. Визначивши показники кожного з компонентів, обирається така характеристика залежності, що потрібна для одержання окремої властивості в готовій продукції.

Залежно від кількості якісних показників багатокомпонентної помольної партії складається система лінійних рівнянь або нерівностей, що є математичною моделлю суміші [4], для вирішення задачі

виготовлення борошна із заданими показниками властивостей у наступному вигляді

$$\sum_{i=1}^m b_i x_{ij} \geq B_j; \quad \sum_{i=1}^m k_i x_{ij} \geq K_j; \quad \sum_{i=1}^m p_i x_{ij} \geq P_j; \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = 1$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad 0 \leq \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot N_j \leq X_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$
(1)

де b_i – вміст білка, k_i – вміст клейковини, p_i – число падіння для пшениці відповідного класу; B_j – вміст білка, K_j – клейковини, P_j – число падіння для борошна відповідного сорту; N_j – маса помольної партії, причому $\sum_{j=1}^n N_j = N$; X_i – запас пшениці окремого класу, що зберігається у зерносховищах хлібоприймального підприємства.

Задача оптимізації складання помольних партій формулюється наступним чином: необхідно визначити значення, при яких дотримуються задані вимоги до якості борошна та забезпечується мінімум витрат на його виробництво

$$J_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_i x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де коефіцієнти c_i – вартість пшениці відповідного класу; x_{ij} – частка пшениці окремого класу у загальній помольній партії; m – кількість класів сировини, що використовується при виробництві хлібопродуктів; n – кількість помольних партій у виробничому завданні.

Задача визначення оптимального складу продукції і планування виробничого завдання відноситься до задач лінійного програмування [5]. Результатом розв’язання задачі оптимізації виробничого завдання є визначення множини партій асортименту $Y(Q, N)$, яка може бути гарантовано вироблена у плануємий період.

2. Задача оптимізації розподілу ресурсів.

Метою процедури оптимізації розподілу ресурсів є вибір технологічної схеми виробництва хлібопродуктів. У технологічну схему виробництва хлібопродуктів входить L вальцових станків, які можуть використовуватись для отримання проміжних та кінцевих продуктів розмолу. Відомі затрати c_{1ij} , до яких приведе використання станка S_i для виробництва продукту Y_j .

Необхідно розподілити продукт по станкам так, щоб сумарні затрати на виготовлення хлібопродуктів різного ступеню розмолу були мінімальні, тобто

$$Y_2 = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^n c_{1ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для отримання математичної моделі, введемо змінні x_{ij} , що мають наступний сенс:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } S_i \in Y_j, \\ 0, & \text{якщо } S_i \notin Y_j. \end{cases}$$

Тому що кожний станок (за умовою) може використовуватися для виготовлення продукту тільки одного ступеня помолу, то

$$\sum_{i=1}^{l_j} x_{ij} = 1 \quad \text{для всіх } j = 1 \dots l_j, \quad (4)$$

де l_j – кількість послідовних операцій на окремих станках для виготовлення j -го виду продукції.

У результаті розв'язання задачі оптимізації розподілу ресурсів отримують оптимальну технологічну схему $S_Y(L, X, T)$ для виробництва окремого виду продукції із переліком технологічних машин з множини L , режимами їх налаштування X та терміном функціонування T .

При виборі технології виробництва необхідно проводити аналіз властивостей якісних показників V сировини, за якими визначається послідовність операцій L в технологічній схемі S для кожного виду продукції Y . Оптимізація параметрів налаштування обладнання X для забезпечення виробництва продукції із заданими властивостями може здійснюватися на основі аналізу регресійних моделей із бази даних (БД).

3. Задача планування технологічного процесу.

Для оптимізації функціонування підприємства в цілому необхідно організувати одночасне виробництво хлібопродуктів різних видів на одному технологічному обладнанні, що відрізняються часом обробки, для скорочення загального часу виробництва замовлення. Оптимізація технологічного процесу має скоротити час простою обладнання з урахуванням термінів налаштування машин технологічної схеми. Розрахунок оптимального графіка обробки партій зерна при

одночасній роботі обладнання можна здійснювати за модифікованими алгоритмами Джонсона [6]. Результатом розв'язання задачі планування є карта технологічного процесу з докладним перерахуванням послідовності і часових термінів функціонування та налаштовування кожної одиниці обладнання виробничого процесу. Технологічні карти мають передаватися в систему управління технологічним процесом (СУТП), яка здійснює контроль і оперативне управління ходом технологічного процесу та станом обладнання.

Доцільно задачі управління виробництвом вирішувати комплексно з використанням систем підтримки прийняття рішень (СППР) в складі ІАСУ підприємством, яка призначена для полегшення праці управлінського персоналу та скорочення терміну прийняття рішень (рис. 2).

Кожна з розглянутих оптимізаційних задач повинна вирішуватись окремими модулями підсистеми рішення задач СППР в автоматизованій системі управління виробництвом.

Розрахунок оптимального керування зернопереробним комплексом може здійснюватися в АРМ диспетчера. Аналіз ефективності і термін виконання окремих рішень щодо здійснення технологічного процесу повинен проводитись в підсистемі моделювання для подальшого узгодження заказу на виробництво зі споживачем.

Підсистема моніторингу повинна здійснювати систематичне вимірювання всіх поточних параметрів функціонування об'єкту, стану сировини, готової продукції та обладнання, поповнення баз даних новою інформацією і фіксувати зміни параметрів системи для можливості подальшого календарного планування. Ефективна робота підсистеми моніторингу є необхідною умовою для підвищення ефективності функціонування зернопереробного комплексу.

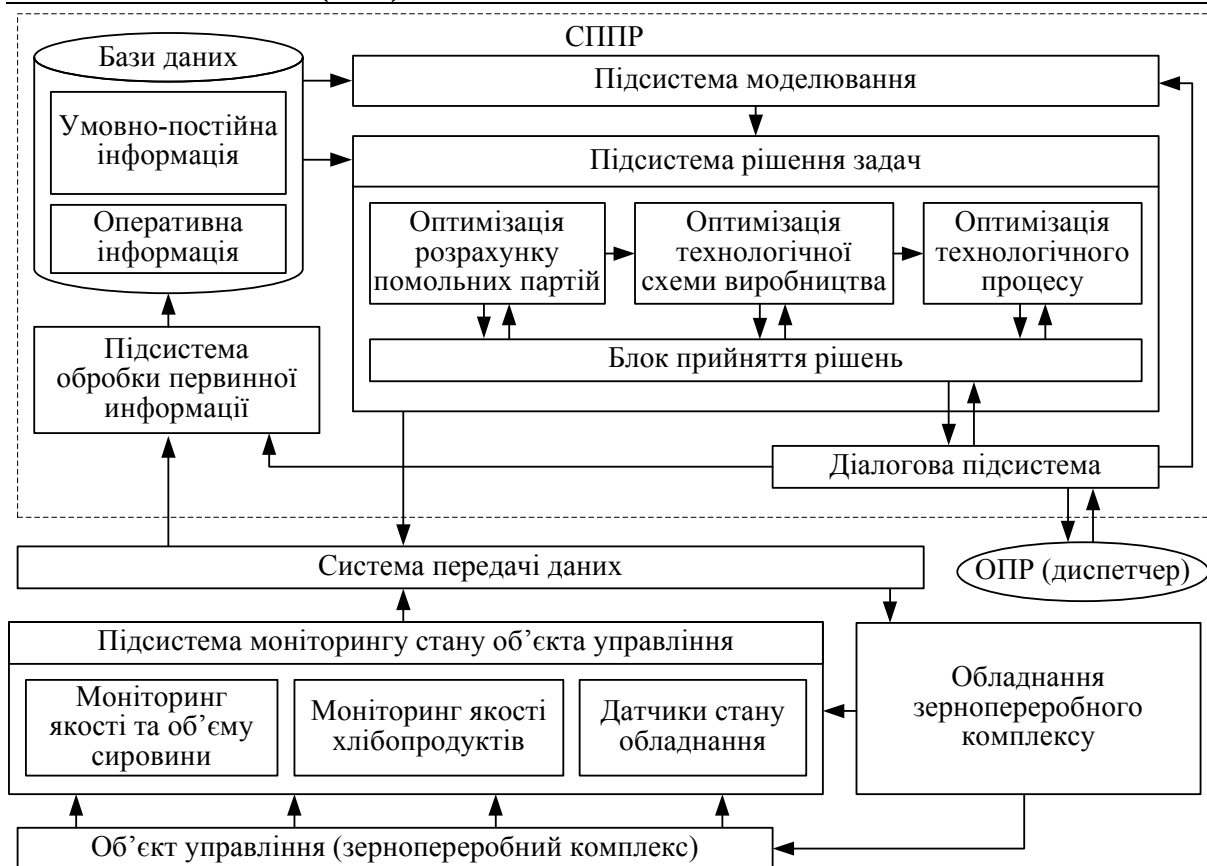


Рисунок 2 – Структура СППР для управління зернопереробним комплексом

Підсистема обробки первинної інформації виконує аналіз зовнішньої вхідної інформації, обробку інформації, що отримується від оператора, відображення даних у вигляді зручному для подальшої обробки і передачу інформації в базу даних.

Висновки

Проблема забезпечення конкурентоспроможності підприємств зернопереробної промисловості в умовах ринку вимагає впровадження досконаліших технологій, а також застосування сучасних технологій збору і обробки інформації.

Підвищити ефективність виробництва можливо за рахунок повного завантаження обладнання при постійній наявності замовлень і відповідної сировини на складі. Задачі своєчасного поповнення запасів сировини на складі повинні формуватися як оптимізаційні з урахуванням витрачання сировини на виконання поточного виробничого завдання та строків надходження нових запасів сировини.

СППР ІАСУ можливо використовувати для оцінювання потенційної можливості виконання замовлень і прогнозу строків їх вико-

нання, організації технологічних процесів виробництва і управління ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ ISO 9001:2009 Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT). – [Чинний від 2009–09–01] – К.: Держспоживстандарт України. – 26 с.
2. Бутковский В.А. Технологии зерноперерабатывающих производств / В.А. Бутковский, А.И. Мерко, Е.М. Мельников. – М.:Интерграф сервис, 1999. – 472 с.
3. Бутковский В.А. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии) / В.А. Бутковский, Е.М. Мельников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 464 с.
4. Остапчук Н.В. Математическое моделирование технологических процессов хранения и переработки зерна / Н.В. Остапчук. – М.: Колос, 1977. – 240 с.
5. Банди Б. Основы линейного программирования / Б. Банди. – М.: Радио и связь, 1989. – 176 с.
6. Фомин Б.Ф. Автоматика и управление в технических системах. Кн. 3: Моделирование производственных систем / Б.Ф. Фомин, В.Б Яковлев. – К.: Вища школа, 1992. – 189 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА В ПОТОКЕ ВОЗДУХА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАГРАММ ПУАНКАРЕ

Аннотация. Работа посвящена задаче разработке методов определения гранулометрического состава материала на основе акустического мониторинга. Основная проблема исследуемой задачи заключается в сложности реализации и низкой точности традиционных методов. Основной целью работы является разработка метода анализа гранулометрического состава смеси по акустическим сигналам, измеренным в зоне измельчения мельницы. Предлагается метод анализа структуры сигналов, основанный на применении диаграммы Пуанкаре и методов анализа изображений. Предложенный метод позволяет выявить состав смеси по сигналам отдельных фракций.

Ключевые слова: гранулометрический состав, диаграмма Пуанкаре, анализ изображений.

Введение. Тонкоизмельченные материалы широко используются во многих отраслях промышленности и новых технологиях. При этом большое внимание уделяется качеству, однородности и чистоте продуктов.

Критерием, с помощью которого можно определить качество промежуточной и готовой продукции в порошковой технологии, является гранулометрический состав и связанные с ним показатели (удельная поверхность, пористость, прочность и т.д.). Анализ гранулометрического состава порошков является распространенным методом исследований веществ, материалов и изделий во многих технологических процессах. Существующие способы определения гранулометрического состава порошкообразных материалов сложны и трудоемки или не позволяют достаточно точно определить гранулометрический состав материала. Поэтому разработка математических методов, позволяющих определять фракционный состав материала на основе

первичной информации, измеренной в процессе акустического мониторинга, является **актуальной задачей**.

Целью данной работы является разработка математического метода анализа гранулометрического состава материала на основе акустических сигналов, записанных при транспортировке материала в потоке энергоносителя (воздуха) и в зоне измельчения струйной мельницы.

Для исследования связей акустических сигналов с гранулометрическим составом сыпучего материала была разработана установка для транспортирования частиц энергоносителем (сжатым воздухом) и одновременного акустического анализа. Она работает следующим образом. Энергоноситель под давлением $P = 0,3$ МПа подается в разгонную трубку. Сыпучий материал (узкие фракции или смесь) крупностью менее 2,5 мм подается из бункера, подхватывается энергоносителем и транспортируется над волноводом. Частицы соударяются с волноводом, который связан с пьезокерамическим датчиком. Акустические сигналы передаются с датчика через АЦП в компьютер для анализа и обработки.

Записанные сигналы при транспортировке кварцевого песка послужили основой верификации математического метода анализа, описанного ниже.

Исходные данные. Исходными данными проведенного анализа были акустические сигналы, полученные при транспортировке кварцевого песка с частотой дискретизации 400 кГц. Длина выборок 40000 отсчетов, что соответствует 0,1 секунде. Для кварцевого песка был взят один сигнал смеси, содержащей в себе две фракции – 0,01 и 0,03 мм. В качестве исходных данных также были использованы сигналы, записанные при транспортировке отдельных фракций: 0.04, 0.03, 0.02, 0.01, и 0.005 мм.

Все сигналы содержат шесть характерных частот, которые приведены на рисунке 1.

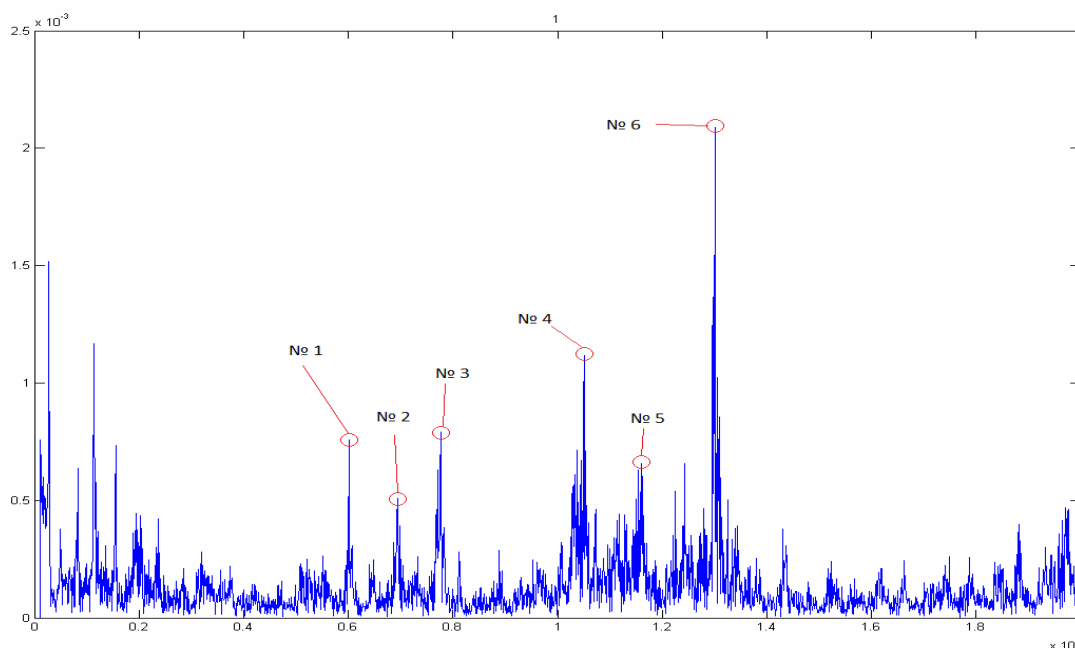


Рисунок 1 – Спектральный состав, характерный для всех исследуемых акустических сигналов

Амплитуда всех сигналов этих частот различается. Исследования показали, что наиболее показательной оказалась характерная частота №6 (около 120 кГц в спектре), поэтому при дальнейшем анализе использовались сигналы с отфильтрованной частотой №6. Фильтрация проводилась полосовым фильтром Баттерворта второго порядка, который был выбран для минимизации вращения фазы.

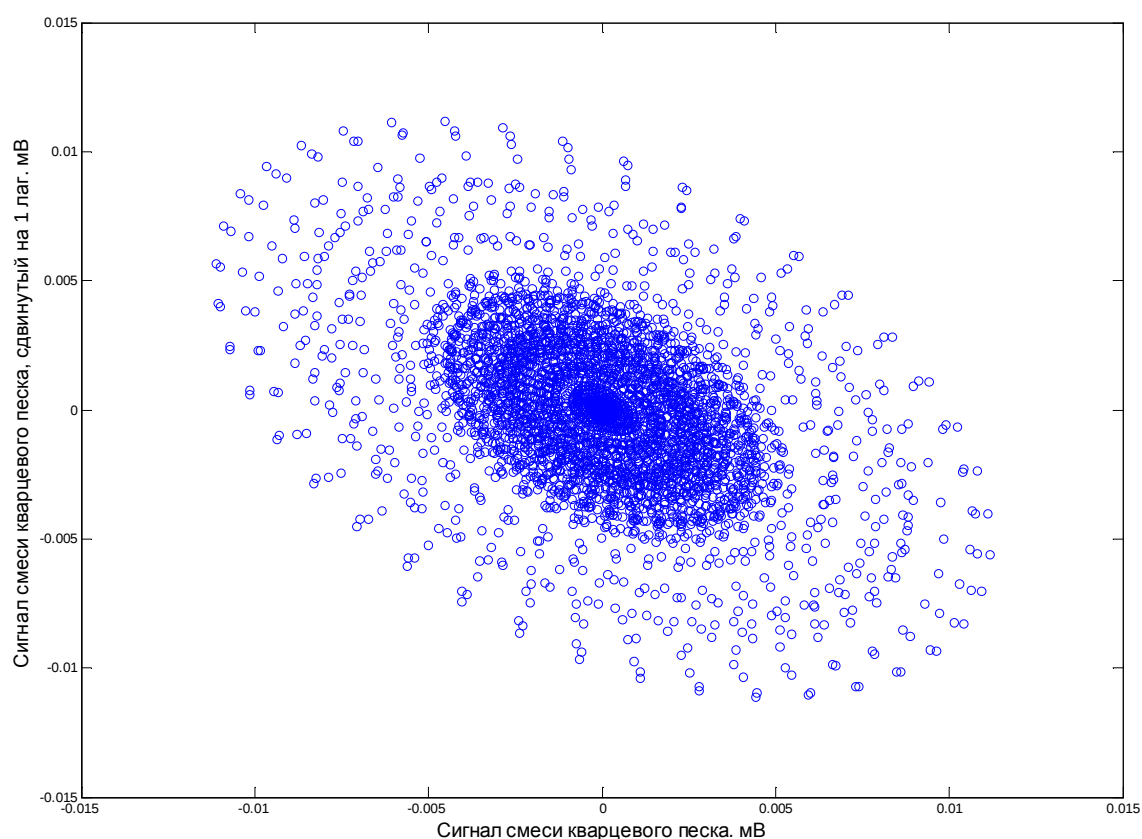
Метод анализа. Как уже было сказано, задача состоит в нахождении состава смеси нескольких фракций с использованием исходных акустических сигналов отдельных фракций. Основой анализа является гипотеза о том, что акустический сигнал смеси фракций может быть представлен суммой отдельных фракций. Следовательно, сигнал смеси должен сильно коррелировать с сигналом комбинации отдельных фракций. Гипотеза проверялась путем сравнения кросс-корреляций функций плотности распределения (ФПР) диаграмм Пуанкаре [1] сигналов смеси с сигналами суммы отдельных фракций.

Диаграмма Пуанкаре строилась путем размещения по осям абсцисс и ординат сигнала без сдвига и сигнала с одним лагом, соответственно. Для определения функции распределения находится центр масс диаграммы:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n x_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n y_i m_i}{\sum_{i=1}^n m_i},$$
(1)

где x, y – координаты точек диаграммы Пуанкаре, n – количество точек диаграммы, m – масса точек, X_c, Y_c – координаты центра масс. Затем от центра масс проводятся окружности с разным радиусом, и вычисляется количество точек попавших в окружности. Потом данное количество нормируется по длине радиуса [2]. В результате таких вычислений строятся ФПР для смеси и для сумм фракций (см. рис. 2).



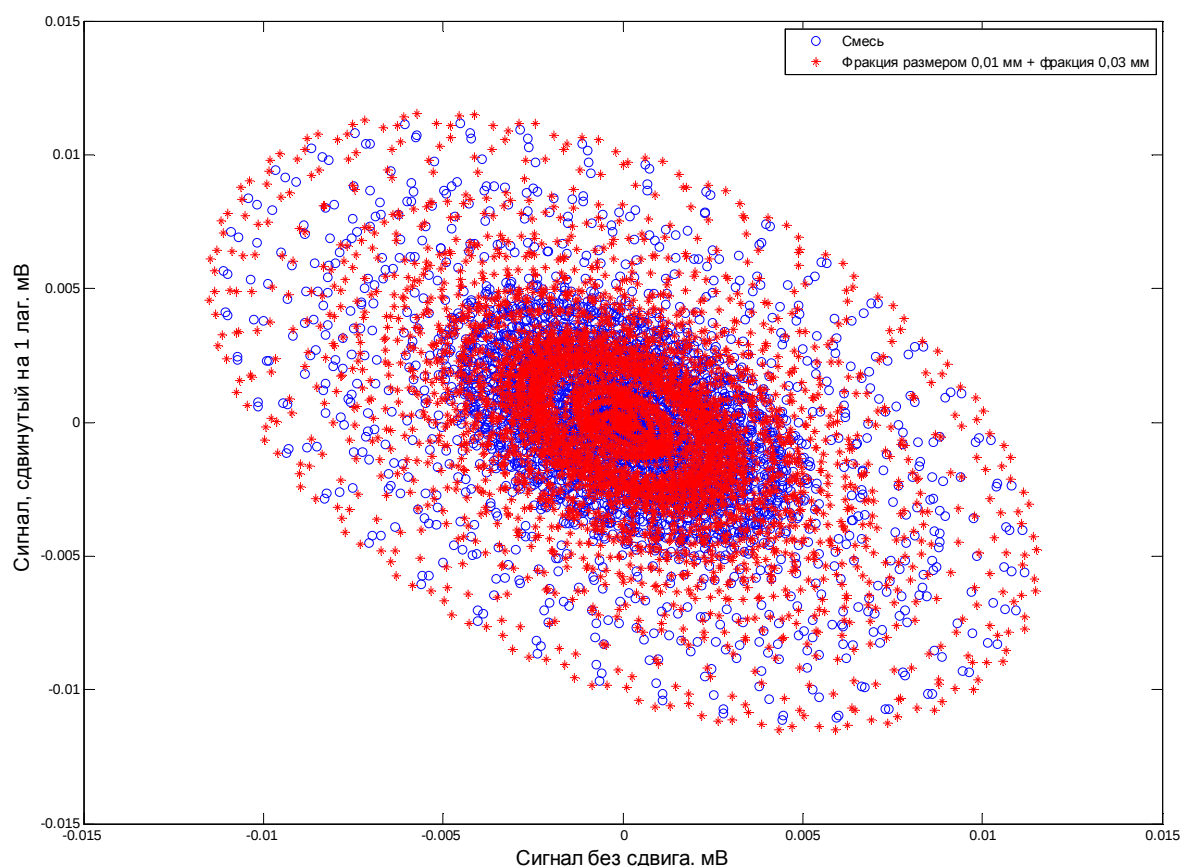


Рисунок 2 – Диаграммы Пуанкаре смеси кварцевого песка без наложений и с наложенным сигналом суммы отдельных фракций

Ниже приведены ФПР и две суммы фракций. Параметры круга, которые были использованы при расчетах:

- начальный радиус: 0.001;
- длина промежутка увеличения радиуса: $5e-4$;
- количество шагов: 30.

Последним этапом метода определения структуры смеси является расчет кросс-корреляции ФПР сумм отдельных фракций с функцией смеси. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Кросс-корреляция ФПР сумм отдельных фракций и смеси

Сумма фракций		Кросс-корреляция ФПР сумм фракций с функцией смеси
Размер фракции №1, мм	Размер фракции №2, мм	
0,01	0,03	0,98
0,005	0,02	0,83
0,005	0,04	0,73
0,02	0,04	0,84

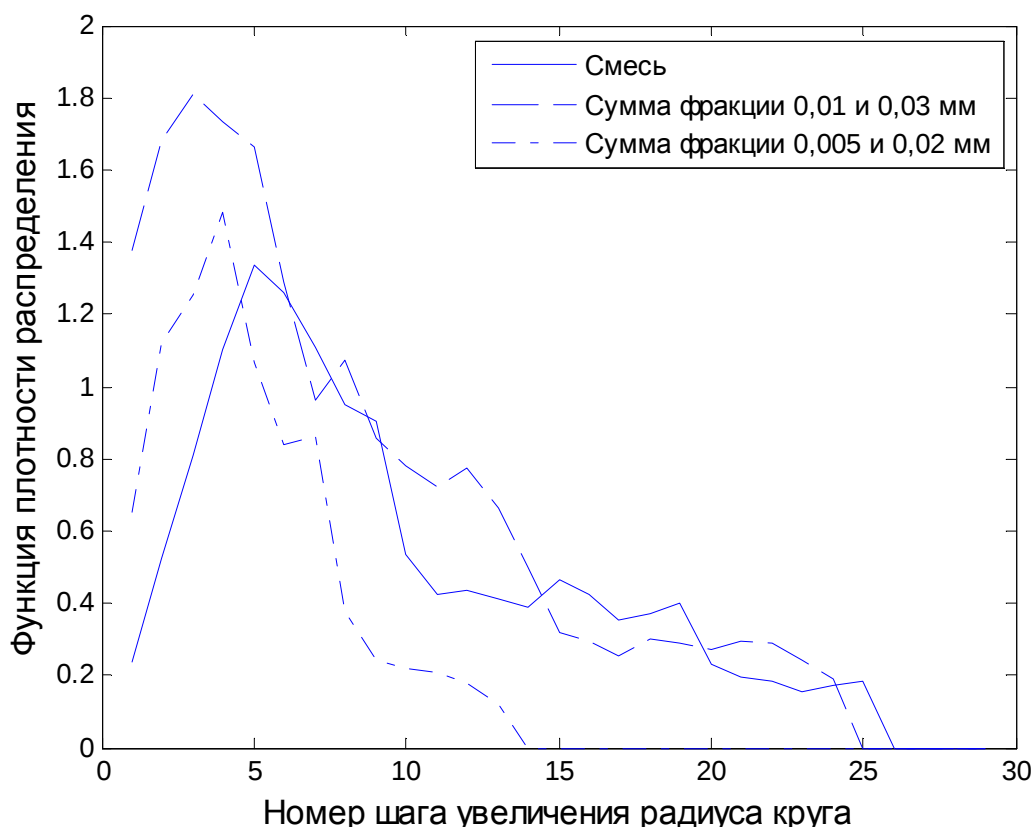


Рисунок 3 – ФПР смеси и суммы сигналов отдельных фракций

Состав смеси содержал фракции размером 0,01 и 0,03 мм, в таблице 1 сумма данных фракций имеет наибольший коэффициент корреляции с сигналом смеси. Таким образом, метод позволяет выявить состав смеси по отдельным фракциям. Метод находится на ранней стадии разработки, поэтому точность анализа основана на критерии воспроизводимости эксперимента. Также из таблицы видно, что для различных сумм фракций коэффициенты корреляции практически совпадают. Возможно, это связано с тем, что для анализа диаграмм Пуанкаре использовался простейший метод построения ФПР с помощью окружности, или с тем, что количество материала каждой фракции в смеси было разным. В дальнейшем планируется использовать более эффективные методы сегментации изображений для проведения данного анализа, что возможно повысит точность определения состава смеси, а также провести измерения смеси с одинаковым количеством материала каждой фракции.

Выводы. Предложен метод предварительного анализа гранулометрического состава сыпучего материала, транспортируемого в потоке, по результатам акустического мониторинга транспортировки отдельных фракций исследуемого материала. Метод основан на анализе диаграмм Пуанкаре и сравнении кросс-корреляций функций плотности распределения сумм отдельных фракций с функцией смеси. Максимальное значение коэффициента корреляции позволило определить наличие искомой суммы фракций. Необходимо повысить точность анализа гранулометрического состава смеси сыпучего материала в потоке на основе более эффективных методов сегментации изображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арнольд В.И. Геометрические методы в теории обыкновенных дифференциальных уравнений. – Ижевск: Ижевская республиканская типография. 2000. – 400 С.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – Издание 3-е, исправленное и дополненное. – Москва: Техносфера, 2012. – 1104 С.

Д.А. Дегтярев, В.П. Семененко, С.В. Тарасов
**СОБСТВЕННЫЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАСТИ
ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОУСТАНОВОК**

Аннотация. Разработана инженерная методика определения собственных частот колебаний лопасти. Методика учитывает упругое соединение лопасти и траверсы, которое определяется отношением их жесткостных характеристик. Расчетные формулы представлены в виде, удобном для проведения различного рода анализов. Как частные случаи, при предельных значениях отношения жесткостей, получаются условия шарнирного опирания или жесткого соединения лопасти и траверсы.

Ключевые слова: лопасть, траверса, собственная частота колебаний, отношение жесткостей.

Введение

Решение задачи обеспечения динамической прочности вертикально-осевых ветроэлектрических установок (ВО ВЭУ) в типовых рабочих режимах требует знания значений собственных частот отдельных конструктивных элементов с целью обеспечения их рассогласования. Первый этап процесса проектирования, как правило, начинается с исследования ряда конструктивных вариантов траверсы, лопастей, ротора в целом, элементов трансмиссии, опорно-поворотного узла, опорной башни и выбора их параметров. Эти значения параметров служат для расчета собственных частот колебаний конструктивных элементов. При этом для обеспечения долговечности и безопасности работы ВО ВЭУ необходимо, чтобы собственные частоты элементов и подсистем отличались не менее чем в $\sqrt{2}$ раз. На этапе выбора базовых конструктивных решений по элементам конструкции актуальным является наличие простых и наглядных расчетных инженерных соотношений.

Для проектантов актуальным вопросом является не только выявление тенденций увеличения или уменьшения значений собственных частот колебаний при изменении отдельных проектных парамет-

ров, но и возможность давать численную оценку изменения величин собственных частот колебаний.

Целью настоящего исследования является разработка инженерной методики определения собственных частот колебаний лопасти с учетом реальных условий её соединения с траверсой.

Для решения поставленной задачи возможно использование специализированных программных САЕ-комплексов конечно-элементного анализа типа ANSYS, но их применение в ряде случаев является избыточным. Разработанная методика позволяет оперативно определить тенденции влияния проектных параметров на значения собственных частот и дать количественную оценку эффектам взаимодействия лопасти и траверсы.

Инженерная методика определения значений собственных частот колебаний лопасти

Рассматривается лопасть ВО ВЭУ с Н-ротором Дарье (рисунок 1) с двумя узлами крепления к траверсам (рисунок 2) расположенными симметрично относительно центральной части лопасти.



Рисунок 1 – ВО ВЭУ
с Н-ротором Дарье



Рисунок 2 – Схема узла
лопасть-траверсы

Узлу лопасть-траверсы ставится в соответствие расчетная схема в виде балки опирающейся на две симметрично расположенные опоры, расстояние между которыми составляет $2a$ (рисунок 3).

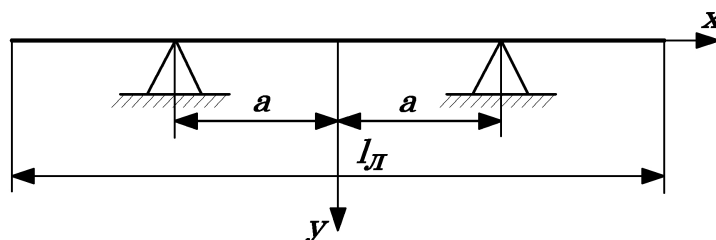


Рисунок 3 – Расчетная схема лопасти

Прогиб нейтральной оси лопасти описывался уравнением[1]:

$$Y(\bar{x}) = Y_0 K_1(\bar{x}) + \frac{K_3(\bar{x})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L} M_0 + \frac{K_4(\bar{x} - \bar{a})}{\bar{\alpha}^3 E_L J_L} R \Big|_{\bar{x} > \bar{a}} +$$

$$+ \frac{K_3(\bar{x})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L} M_T - \frac{K_3(\bar{x} - \bar{a})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L} M_T \Big|_{\bar{x} > \bar{a}} \quad (1)$$

где Y_0, M_0 – прогиб и изгибающий момент в начале координат (в центральной части лопасти); R, M_T – сосредоточенные сила и момент реакции в месте расположения опор; $E_L J_L$ – изгибная жесткость лопасти; $\bar{\alpha} = \alpha l_L$ – безразмерный параметр, $\alpha^4 = \frac{\omega^2 F_L \rho_L}{E_L J_L}$; ω – собственная частота колебаний лопасти; F_L – площадь поперечного сечения лопасти; ρ_L – плотность материала лопасти; l_L – длина лопасти; $2\bar{a} = \frac{2a}{l_L}$ –

безразмерное расстояние между опорами лопасти; $\bar{x} = \frac{x}{l_L}$ – безразмерная продольная координата по лопасти с началом отсчета в середине лопасти ($0 \leq \bar{x} \leq 0.5$).

Функции Крылова, входящие в (1), имеют вид

$$K_1(\bar{x}) = 0,5(ch\bar{\alpha}\bar{x} + \cos\bar{\alpha}\bar{x}), \quad K_2(\bar{x}) = 0,5(sh\bar{\alpha}\bar{x} + \sin\bar{\alpha}\bar{x}),$$

$$K_3(\bar{x}) = 0,5(ch\bar{\alpha}\bar{x} - \cos\bar{\alpha}\bar{x}), \quad K_4(\bar{x}) = 0,5(sh\bar{\alpha}\bar{x} - \sin\bar{\alpha}\bar{x}). \quad (2)$$

В формулы (2) входит четыре неизвестных величины – Y_0, M_0, R, M_T . Необходимые для их нахождения четыре уравнения получены из следующих условий.

Прогиб лопасти в районе опоры равен нулю

$$Y(\bar{a}) = Y_0 K_1(\bar{a}) + \frac{K_3(\bar{a})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L} M_0 + \frac{K_3(\bar{a})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L} M_T = 0 \quad (3)$$

Изгибающий момент и перерезывающая сила на торце лопасти отсутствуют

$$E_{\text{Л}} J_{\text{Л}} Y''(0.5) = E_{\text{Л}} J_{\text{Л}} \bar{\alpha}^2 K_3(0.5) Y_0 + K_1(0.5) M_0 + K_1(0.5) M_T + \frac{K_2(0.5 - \bar{a})}{\bar{\alpha}} R - K_1(0.5 - \bar{a}) M_T = 0 \quad (4)$$

$$E_{\text{Л}} J_{\text{Л}} Y'''(0.5) = E_{\text{Л}} J_{\text{Л}} \bar{\alpha}^3 K_2(0.5) Y_0 + K_4(0.5) \bar{\alpha} M_0 + K_1(0.5 - \bar{a}) R - K_4(0.5 - \bar{a}) \bar{\alpha} M_T = 0 \quad (5)$$

Четвертое уравнение получено из условия совместности деформаций лопасти и траверсы в районе их соединения, выражающееся в равенстве угла поворота поперечного сечения лопасти $\vartheta_{\text{Л}}$ в районе опоры и угла поворота поперечного сечения траверсы $\vartheta_{\text{Т}}$ на ее конце

$$\vartheta_{\text{Л}}(\bar{a}) = \vartheta_{\text{Т}}(l_{\text{Т}}) \quad (6)$$

где $l_{\text{Т}}$ - длина траверсы.

Применение метода начальных параметров и функций Крылова для описания деформированного состояния траверсы с использованием выражения (6) дает четвертое уравнение в виде

$$\bar{\alpha} K_4(\bar{a}) Y_0 + \frac{K_2(\bar{a})}{\bar{\alpha} E_{\text{Л}} J_{\text{Л}}} M_0 + \frac{K_2(\bar{a})}{\bar{\alpha} E_{\text{Л}} J_{\text{Л}}} M_T + \frac{K_2(l_{\text{Т}})}{\bar{\alpha}_{\text{Т}} E_{\text{Т}} J_{\text{Т}}} M_T = 0 \quad (7)$$

где $E_{\text{Т}} J_{\text{Т}}$ - изгибная жесткость траверсы; $\bar{\alpha}_{\text{Т}} = \alpha_{\text{Т}} \ell_{\text{Т}}$ - безразмерный

параметр; $\alpha_{\text{Т}}^4 = \frac{\omega^2 F_{\text{Т}} \rho_{\text{Т}}}{E_{\text{Т}} J_{\text{Т}}}$; $F_{\text{Т}}$ - площадь поперечного сечения траверсы;

$\rho_{\text{Т}}$ - плотность материала траверсы; $K_2(l_{\text{Т}})$ - функция Крылова, определяемая параметрами траверсы.

Система уравнений относительно неизвестных Y_0, M_0, R, M_T , полученная на основе условий (3) - (5), (7) имеет вид

$$\sum_{i=1}^4 a_{ij} X_i = b_j, j = 1...4 \quad (8)$$

где $X = (Y_0, M_0, R, M_T)^T$; $b_i = 0$

Расчет значений собственных частот колебаний сводился к отысканию собственных значений определителя системы (8) с элементами

$$a_{1,1} = K_1(\bar{a} \bar{\alpha}); a_{2,1} = \bar{\alpha}^2 K_3(0.5 \bar{\alpha}); a_{3,1} = \bar{\alpha}^3 K_2(0.5 \bar{\alpha}); \quad (9)$$

$$\begin{aligned}
a_{4,1} &= \bar{\alpha} K_4(\bar{a}\bar{\alpha}); \quad a_{1,2} = \frac{K_3(\bar{a}\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L}; \quad a_{2,2} = \frac{K_1(0,5\bar{\alpha})}{E_L J_L}; \quad a_{3,2} = \bar{\alpha} \frac{K_4(0,5\bar{\alpha})}{E_L J_L}; \\
a_{4,2} &= \frac{K_2(\bar{a}\bar{\alpha})}{\bar{\alpha} E_L J_L}; \quad a_{1,3} = 0; \quad a_{2,3} = \frac{K_2((0,5-\bar{a})\bar{\alpha})}{\bar{\alpha} E_L J_L}; \quad a_{3,3} = \frac{K_1((0,5-\bar{a})\bar{\alpha})}{E_L J_L}; \\
a_{4,3} &= 0; \quad a_{1,4} = \frac{K_3(\bar{a}\bar{\alpha})}{\bar{\alpha}^2 E_L J_L}; \quad a_{2,4} = \frac{K_1(0,5\bar{\alpha}) - K_1((0,5-\bar{a})\bar{\alpha})}{E_L J_L}; \\
a_{3,4} &= \bar{\alpha} \frac{K_4(0,5\bar{\alpha}) - K_4((0,5-\bar{a})\bar{\alpha})}{E_L J_L}; \quad a_{4,4} = \frac{K_2(\bar{a}\bar{\alpha})}{\bar{\alpha} E_L J_L} + \frac{K_2(\bar{\alpha}_T)}{\bar{\alpha}_T E_T J_T}
\end{aligned}$$

Определитель с элементами (9) является некоторым обобщением результатов исследований по определению значений собственных частот колебаний лопасти. В нем учтена не только сосредоточенная сила в месте соединения лопасти и траверсы, но сосредоточенный момент в этом месте.

Анализ элементов определителя (9) показал, что нахождение его собственных значений зависит от жесткостных и массовых характеристик лопасти и траверсы, а так же от расстояния между опорами.

Для получения удобных в инженерной практике простых расчетных соотношений, определяющих значения собственных частот колебаний лопасти были выделены три расчетных случая. Их границы определяются отношением жесткостных параметров лопасти и траверсы.

Первый расчетный случай соответствует шарнирному соединению лопасти и траверсы. Он реализуется, когда жесткостные параметры лопасти ($E_L J_L$) значительно превосходят жесткостные параметры траверсы ($E_T J_T$). Сосредоточенный изгибающий момент в месте соединения лопасти и траверсы $M_T = 0$, угол поворота не равен нулю и, имеет максимальное значение $\vartheta = \vartheta_{\max}$.

При шарнирном опирании для значений $0 \leq \bar{a} \leq 0.5$ порядок определителя (9) изменяется с четвертого к третьему. Он может быть представлен в виде

$$\Delta = \begin{vmatrix} \bar{\alpha}^2 E_L K_1(\bar{a}\bar{\alpha}) & K_3(\bar{a}\bar{\alpha}) & 0 \\ \bar{\alpha}^3 E_L K_3(0,5\bar{\alpha}) & \bar{\alpha} K_1(0,5\bar{\alpha}) & K_2[(0,5-\bar{a})\bar{\alpha}] \\ \bar{\alpha}^3 E_L K_2(0,5\bar{\alpha}) & \bar{\alpha} K_4(0,5\bar{\alpha}) & K_1[(0,5-\bar{a})\bar{\alpha}] \end{vmatrix} \quad (10)$$

Раскрытие определителя (10) приводит к уравнению:

$$\begin{aligned} \Phi_{uu}(\bar{a}, \bar{\alpha}) = & \{ch[(0,5 - \bar{a})]\bar{\alpha} + \cos[(0,5 - \bar{a})]\bar{\alpha}\} \times \\ & \times \{ch0,5\bar{\alpha} \cdot \cos \bar{a}\bar{\alpha} + ch\bar{a}\bar{\alpha} \cdot \cos 0,5\bar{\alpha}\} - \\ & - \{sh[(0,5 - \bar{a})\bar{\alpha}] + \sin[(0,5 - \bar{a})\bar{\alpha}]\} \times \\ & \times \{sh0,5\bar{\alpha} \cdot \cos \bar{a}\bar{\alpha} - ch\bar{a}\bar{\alpha} \cdot \sin 0,5\bar{\alpha}\} \end{aligned} \quad (11)$$

При одной центральной опоре ($\bar{a} = 0$) трансцендентное уравнение (11) упрощается и принимает вид

$$ch0,5\bar{\alpha} \cdot \cos 0,5\bar{\alpha} = -1, \quad (12)$$

а при двух опорах по краям лопасти ($\bar{a} = 0,5$) становилось обычным тригонометрическим уравнением

$$\cos 0,5\bar{\alpha} = 0 \quad (13)$$

Сравнение вида уравнений (12), (13) и их корней с приведенными в [2] показало, что корни этих уравнений характеризуют только симметричные колебания лопасти. Для учета и антисимметричных колебаний в случае шарнирного опирания необходимо рассматривать уравнение

$$\sin 0,5\bar{\alpha} = 0 \quad (14)$$

Корни уравнения (14) $\bar{\alpha} = n \cdot \pi$, корни уравнения (13) $\bar{\alpha} = (2n-1) \cdot \pi$. При $n=1,2,3...$ ряд корней уравнения (14) $\bar{\alpha} = \pi, 2\pi, 3\pi...$, уравнения (13) - $\bar{\alpha} = \pi, 3\pi, 5\pi...$

Второй расчетный случай характеризуется жесткостными параметрами лопасти и траверсы, имеющими один и тот же порядок. Этот случай характерен для упругого соединения лопасти и траверсы. Значения сосредоточенного изгибающего момента и угла поворота в месте соединения лопасти и траверсы определяются на основе контактной задачи сопряжения лопасти и траверсы. Их значения определяются неравенствами

$$0 < M_T < M_T^{max}; \vartheta_{max} < \vartheta < 0 \quad (15)$$

Третий расчетный случай реализуется, когда жесткостные параметры лопасти значительно меньше жесткостных параметров траверсы. Сосредоточенный изгибающий момент в месте соединения лопасти и траверсы достигает своего максимального значения $M_T = M_T^{max}$, а угол поворота $\vartheta = 0$. Этот случай характерен для жесткого соединения лопасти и траверсы. Для нахождения значений соб-

ственных колебаний используется определитель системы (8), в котором коэффициент $a_{4,4}$ состоит не из двух, а из одного слагаемого. Отсутствует слагаемое, определяемое жесткостными и массовыми характеристиками траверсы. Коэффициент $a_{4,4}$ был представлен в виде

$$a_{4,4} = \frac{K_2(\bar{a}\bar{\alpha})}{\bar{\alpha} \cdot E_L J_L} \quad (16)$$

Раскрытие определителя для третьего расчетного случая приводит к трансцендентному уравнению

$$\begin{aligned} \Phi_{жс}(\bar{a}, \bar{\alpha}) = & \{1 + ch[(0,5 - \bar{\alpha})\bar{\alpha}] \cdot \cos[(0,5 - \bar{a})\bar{\alpha}]\} \times \\ & \times (ch\bar{a}\bar{\alpha} \cdot \sin\bar{a}\bar{\alpha} + sh\bar{a}\bar{\alpha} \cdot \cos\bar{a}\bar{\alpha}) \end{aligned} \quad (17)$$

При одной центральной опоре выражение (17) вырождается. При предельном переходе оно дает значение корня такое же, как и при шарнирном опирании. При двух опорах по краям лопасти уравнение (17) переходит к уравнению вида

$$cth0,5\bar{\alpha} \cdot tg0,5\bar{\alpha} = -1 \quad (18)$$

Корни этого уравнения также описывают симметричные колебания лопасти. Для учета антисимметричных колебаний в случае жесткого опирания необходимо рассматривать уравнение

$$ch\bar{\alpha} \cdot \cos\bar{\alpha} = 1 \quad (19)$$

Корни уравнения (19) $\bar{\alpha} = 1,875; 4,694; 7,855; 10,996; 14,137; 17,279 \dots$
Корни уравнения (18) - $\bar{\alpha} = 4,72; 11; 17,28$

Формула для определения значений собственных частот колебаний представлена в виде

$$\omega_i = \beta_i(\bar{a}, \chi) \cdot \omega_0 \quad (20)$$

где $\omega_0 = \sqrt{\frac{C_L}{m_L}}$, $C_L = \frac{E_L J_L}{l_L^3}$ - коэффициент изгибной жесткости лопасти; m_L - её масса; $\chi = \frac{E_L J_L}{l_L} \cdot \frac{l_T}{E_T J_T}$ - отношение изгибных жесткостных параметров лопасти и траверсы.

В выражении (20) коэффициент $\beta_i(\bar{a}, \chi)$ характеризует i -ю форму симметричных колебаний, зависит от расстояния между опорами и отношения изгибных жесткостных параметров лопасти и траверсы. Он определялся по формуле

$$\beta_i(\bar{a}, \chi) = k_i^2(\bar{a}, \chi) \quad (21)$$

В выражении (21) k_i в двух предельных случаях – шарнирного и жесткого соединения лопасти и траверсы – являлись корнями уравнений (11), (17). Для упругого соединения лопасти и траверсы в качестве значений k_i служат собственные значения определителя системы (8).

На рис.4 представлена зависимость первых двух значений коэффициента β_i от безразмерного расстояния между опорами для условий шарнирного и жесткого соединения лопасти и траверсы.

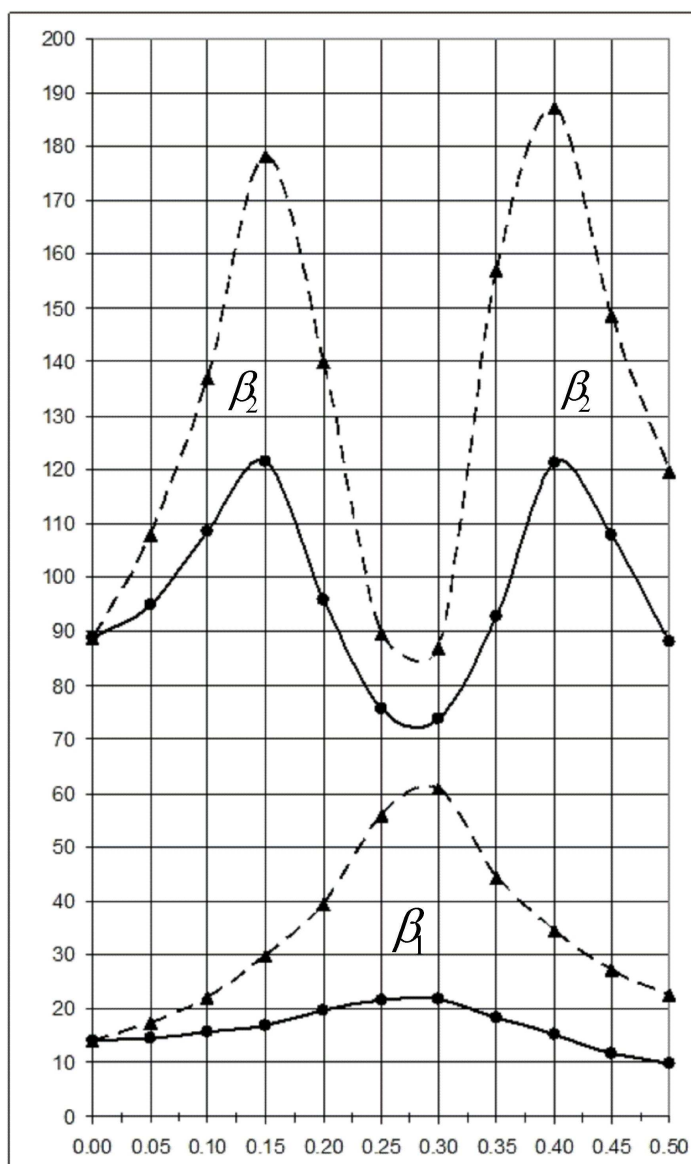


Рисунок 4 - Зависимость значений коэффициентов β_1, β_2 от безразмерного расстояния между опорами лопасти a при шарнирном (сплошная линия) и жестком (пунктирная) соединении лопасти и траверсы

Для условий упругого соединения лопасти и траверсы значения β_i лежат между двумя значениями, полученными при условии шарнирного ($M_T = 0, \vartheta = \vartheta_{max}$) и жёсткого ($M_T = M_T^{max}, \vartheta = 0$) соединения лопасти и траверсы.

Формула (20) проста, наглядна и удобна для анализа влияния жесткостных (C_L), массовых (m_L) и геометрических ($\bar{a}$) характеристик на значения собственных колебаний симметричной формы.

В частности, путем дифференцирования полученных аналитических выражений (11) и (17) было получено значение безразмерного расстояния между опорами лопасти $\bar{a} = 0.277$, при котором реализуется экстремум β . При данном значении β первая частота имеет максимум, а вторая – минимум.

Выводы

Для лопасти с двумя симметричными относительно её центральной части точками опоры разработан инженерный метод определения значений собственных частот колебаний лопасти при ее упругом соединении с траверсой.

Основой разработанной методики являются расчетные формулы и графики. С их помощью можно проследить тенденцию изменения значения собственных частот колебаний лопасти от жесткостных, массовых и геометрических параметров лопасти и траверсы.

Расчетные формулы состоят из стандартной части, как корень квадратный из отношения изгибной жесткости лопасти к её массе и коэффициента β . Данный коэффициент зависит от отношения изгибной жесткости лопасти к изгибной жесткости траверсы и от расстояния между опорами лопасти.

В зависимости от соотношения изгибных жесткостей лопасти и траверсы выделены три характерных случая. В первом случае, когда жесткостные параметры лопасти значительно превосходят жесткостные параметры траверсы, в месте их соединения сосредоточенный изгибающий момент равен нулю. Этот случай соответствует классическому – шарнирному – опиранию. При этом угол поворота лопасти в месте её соединения с траверсой отличен от нуля и имеет максимальное значение.

Во втором случае соединение лопасти и траверсы происходит в соответствии с их конечными значениями жесткостных параметров.

При этом, значение сосредоточенного изгибающего момента и угол поворота лопасти в месте её соединения с траверсой отличны от нуля, но меньше максимально возможных величин. Этот случай получил название упругого соединения лопасти и траверсы.

Третий случай определен, когда жесткостные параметры лопасти значительно меньше жесткостных параметров траверсы. Угол поворота лопасти в месте её соединения с траверсой равен нулю, а сосредоточенный изгибающий момент достигает своего максимального значения. Такое соединение лопасти и траверсы было охарактеризовано как жесткое соединение.

Определена область значений безразмерного расстояния между опорами лопасти, при котором реализуются экстремальные значения собственных частот колебаний лопасти. При $\bar{a} \approx 0.27...0.28$ значение первой частоты имеет максимум, а значение второй – минимум.

Практические рекомендации

Представленные результаты могут служить основой для выбора шага разбиения лопасти при использовании САЕ-комплексов конечно-элементного анализа типа ANSYS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосьев В.И. Сопротивление материалов / В.И. Федосьев - М.:Наука, 1972 – 543 с.
2. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко – М.:Наука, 1967 – – 442с.

В.Н. Журавлёв, Т.В. Критская, А.В. Папчёнков

**ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОКНА АНАЛИЗА
НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ
СПЕКТРОВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ГТД**

Аннотация. Проведен анализ длительности окна анализа спектральной обработки сигналов датчиков вибраций зубчатых передач газотурбинных двигателей. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена методика, основанная на критерии минимальной дисперсии математического ожидания максимума спектральной плотности мощности сигнала зубцовой частоты. Предложенные математические модели критерия оптимизации длительности окна анализа квазистохастического сигнала вибраций деталей зубчатых передач ГТД в первом приближении адекватны физическим процессам пересопряжения зубьев колёс редуктора и позволяют статистически определить точность методов цифровой обработки.

Ключевые слова: Газотурбинные двигатели, вибродиагностика, зубчатые передачи, спектральный анализ.

1. Введение. Постановка задачи

Традиционные методы вибрационной диагностики преимущественно основываются на спектральном разложении сигналов с информационным анализом амплитудного спектра преобразования Фурье либо спектральной плотности мощности [1]. Операции интегрирования (либо свёртки) нестационарного сигнала вибраций на интервале длительности окна анализа определяют большую дисперсию информационных параметров во временной и частотной областях.

Таким образом, важной и актуальной задачей современного двигателестроения является разработка эффективных методов эксплуатационного диагностирования зубчатых передач [3], позволяющих более надежно выделить в сигнале вибраций корпуса двигателя признаки отклонения характеристик деталей редуктора от штатного состояния и дополнить автоматическую систему анализа технического состояния роторных деталей ГТД пятого и шестого поколений.

3. Основная часть. Анализ погрешности расчета спектра квазистационарных сигналов

Приступая к изложению теоретических предпосылок необходимо уяснить, что речь пойдёт не об анализе функций, представляющих математическую модель, а об анализе сигналов, отражающих параметры реального физического процесса вибрации корпуса ГТД. Функция, соответствующая сигналу, будет задана в виде таблицы с эквидистантными временными интервалами Δt_d между значениями. Временной интервал определяется частотой дискретизации $F_s = 1/\Delta t_d$ аналого-цифрового преобразователя.

Нами доказано [2], что на практике исследуемые процессы нестационарны, поэтому необходимо ставить вопрос об адекватности и применимости спектральных представлений к исследуемому классу нестационарных процессов, т.е. к некоторому пересмотру и расширению определений классического спектрального анализа.

Известно, что вычисление амплитудного спектра

$$A(\omega, t) = \int_t^{t+Ta} s(t) \exp(-j\omega t) dt, \quad (1)$$

и спектральной плотности мощности

$$N(\omega, t) = \int_t^{t+Ta} R_{ss}(t, \tau) \exp(-j\omega t) dt, \quad (2)$$

от автокорреляционной функции (АКФ) $R_{ss}(t, \tau)$ сигнала вибраций связано с операцией усреднения на интервале окна анализа Ta . Для эргодических стационарных процессов автокорреляционные функции тождественны на любом интервале времени и независимы от t и поэтому вычисление спектров (1, 2) инвариантно к интервалу усреднения. Координатная разрешающая способность частоты спектральной составляющей $\Delta\omega$ оконного преобразования Фурье прямо пропорциональна величине интервала времени Ta и определяется значением $\Delta\omega = 2\pi/Ta$. Разрешающая способность локализации определяется принципом неопределенности Гейзенберга – невозможно получить произвольно точное частотно-временное представление сигнала, то есть нельзя определить для какого-то момента времени, какие спектральные компоненты присутствуют в сигнале. Чем уже окно, тем лучше временное разрешение, но хуже частотное, и наоборот. Кроме

того, чем уже окно, тем более строгими становятся наши предположения о стационарности сигнала в пределах окна.

Методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились путём анализа сигнала датчика поперечных горизонтальных вибраций ведущей шестерни заднего редуктора двигателя ТВЗ – 117ВМА – СБМ1, который проходил стендовые испытания на ОАО "Мотор Сич". Анализируемый сигнал вибраций $s(t)$, который содержит сигнал зубцовой частоты $s_z(t)$ (файл $z_{zr}317mp$), интервалом 1с, был записан приблизительно в середине режима двигателя «земной малый газ», длительность которого 5 мин.

Датчик вибраций имеет линейную фазовую характеристику преобразования до частоты 20000Hz и расположен на расстоянии порядка 100мм от ведущей шестерни. Сигнал датчика фиксировался в цифровом представлении измерительным комплексом МІС300 с параметрами аналого-цифрового преобразователя: $f_d = 216000\text{Hz}$ – частота дискретизации и $n = 2^{16}$ – количество уровней квантования амплитуды вибраций.

Сигнал задан в виде числового ряда, поэтому для определения оптимального значения интервала окна анализа применим метод минимального изменения функции статистической оценки, а именно - математического ожидания и дисперсии (среднего квадратического отклонения). Рассмотрим на примере проявление принципа неопределенности Гейзенберга – рассчитаем функции коэффициента корреляции сигнала $r_s(t)$ и его автокорреляционной функции $r_{Rxx}(t)$ на интервале окна анализа, равном периоду роторной частоты $Ta = 0.0040648\text{s}$, т.е. с частотным разрешением 1Hz для спектра роторных частот. Результаты расчёта приведены на (рис. 1). На верхнем графике – для временной функции сигнала вибраций, на нижнем – для автокорреляционной функции.

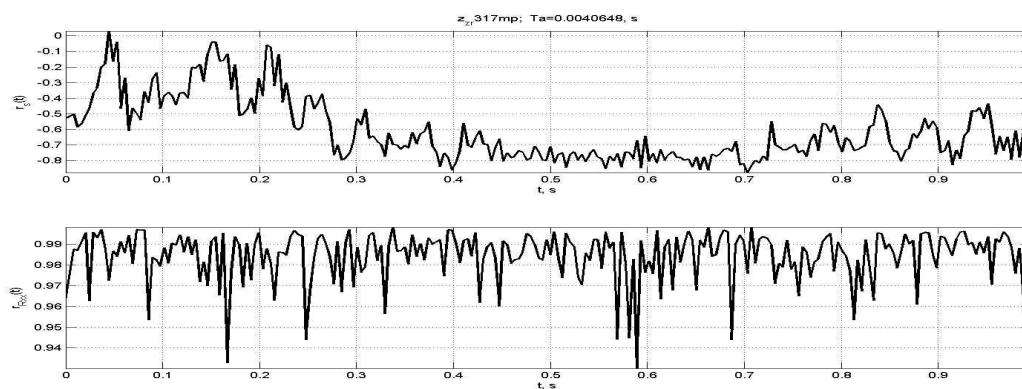
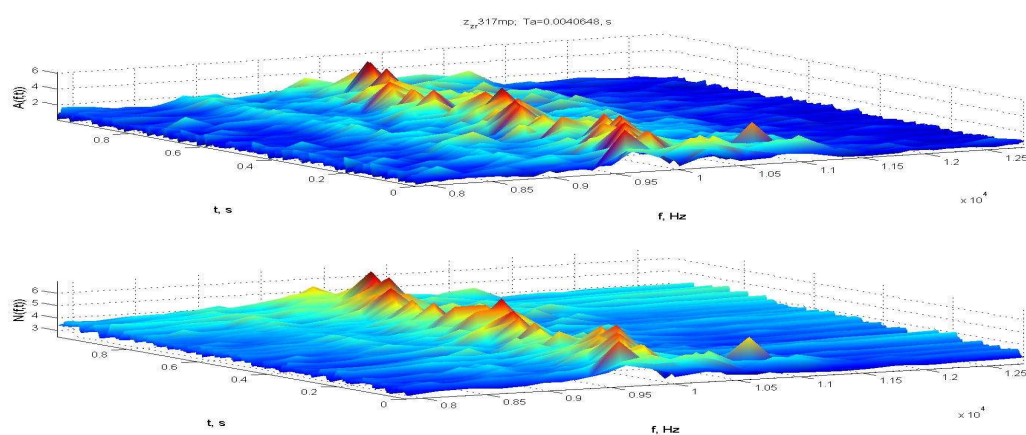
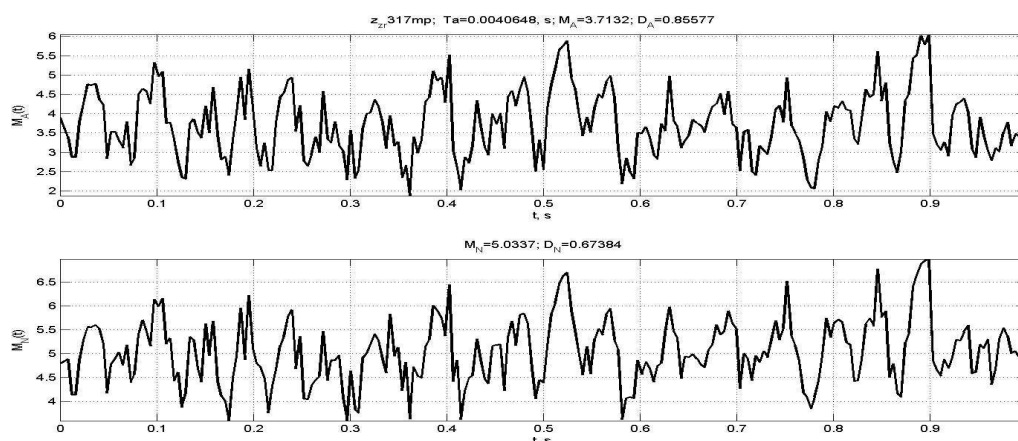


Рисунок 1 - Функции параметра коэффициента корреляции

Рисунок 2 - Графики функций расчета спектра амплитуд $A(f, t)$ (верхний) и спектральной плотности мощности $N(f, t)$ (нижний)Рисунок 3 - Графики функций математического ожидания $M_A(t)$ и $M_N(t)$ для метода анализа амплитудного спектра и спектральной плотности мощности, соответственно

Анализ графиков показывает, что для временной функции сигналы полностью отличаются, более того, они противофазные на некоторых участках. Для АКФ параметр коэффициента корреляции в целом более 0,95, что свидетельствует о практически полной идентичности спектров анализируемых функций.

Рассчитаны функции амплитудного спектра и спектральной плотности мощности (рис. 2).

Анализ графиков показывает на отличия в постоянной составляющей – порядка $2g$ для спектра амплитуд и $3,5g$ для спектра мощности. Можно видеть разницу в амплитуде сигнала, особенно в центре временного интервала. Для уточнения метрологических отличий проведем расчет функции математического ожидания $M_A(t)$ и $M_N(t)$, отдельные точки которой рассчитывались на окнах анализа $4ms$. Графики функций приведены на рис. 3.

Над графиками приведены расчеты математического ожидания и среднеквадратического отклонения D для каждой из функций. Анализ параметров статистической обработки показывает, что метод анализа спектра амплитуд занижает приблизительно на 20% значение параметра и обладает относительно большим среднеквадратическим отклонением порядка 30%.

Рассмотрим на примере проявление принципа неопределенности Гейзенберга – рассчитаем функции, приведенные в предыдущем подразделе на другом интервале окна Ta , на порядок большем (рис. 4 – 6)

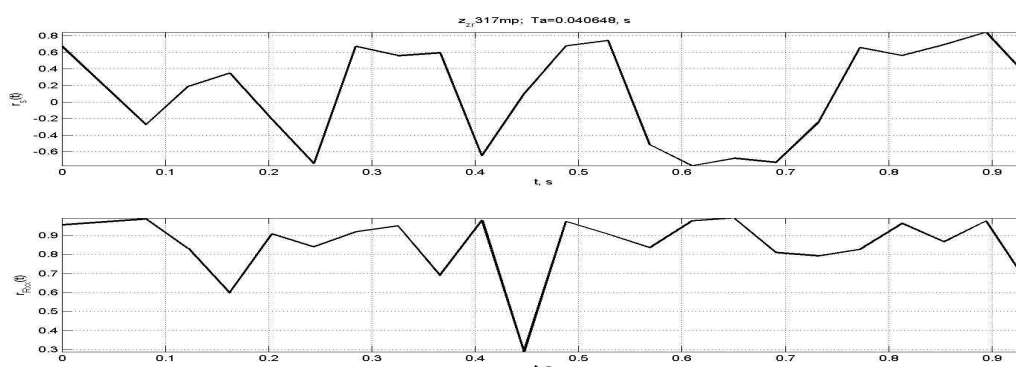


Рисунок 4 - Функции параметра коэффициента корреляции

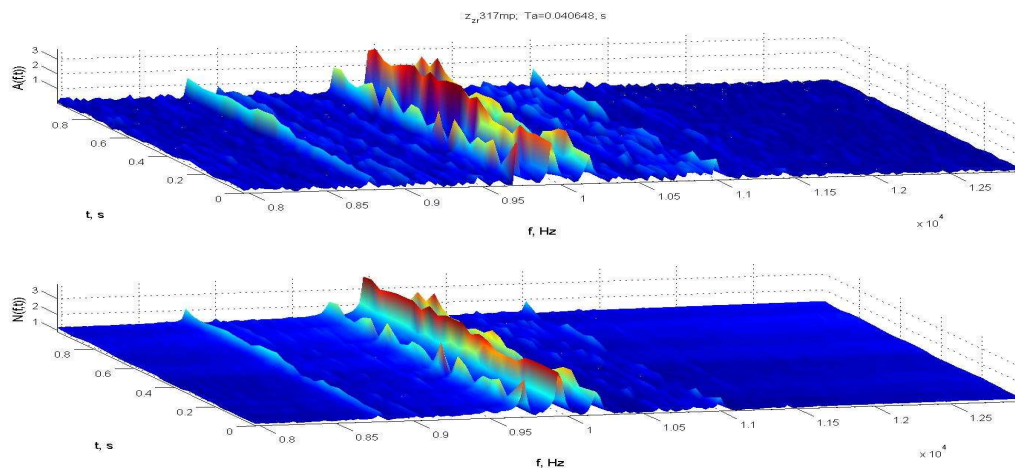


Рисунок 5 - Графики функций расчета спектра амплитуд $A(f, t)$ (верхний) и спектральной плотности мощности $N(f, t)$ (нижний)

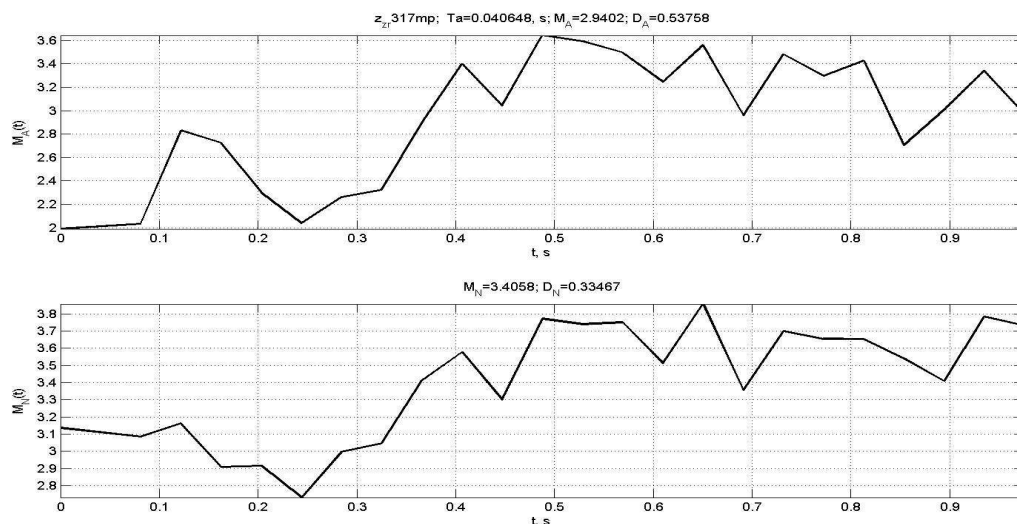


Рисунок 6 - Графики функций математического ожидания $M_A(t)$ и $M_N(t)$ для метода анализа амплитудного спектра и спектральной плотности мощности, соответственно

Анализ графиков показывает изменение всех функций, и хуже всего то, что изменились параметры математического ожидания амплитуды спектральных составляющих (на 30%) и их среднеквадратическое отклонение. Проведем анализ минимального интервала окна анализа, при котором данные параметры будут постоянными. Будем рассчитывать параметры амплитудного спектра $A(f_z, Tr \times n)$ и спектральной плотности мощности $N(f_z, Tr \times n)$ на зубцовой частоте f_z при

изменении интервала окна анализа от периода роторной частоты $Ta = Tr$ с шагом $0,1Tr$. Графики рассчитанных функций приведены на рис. 7.

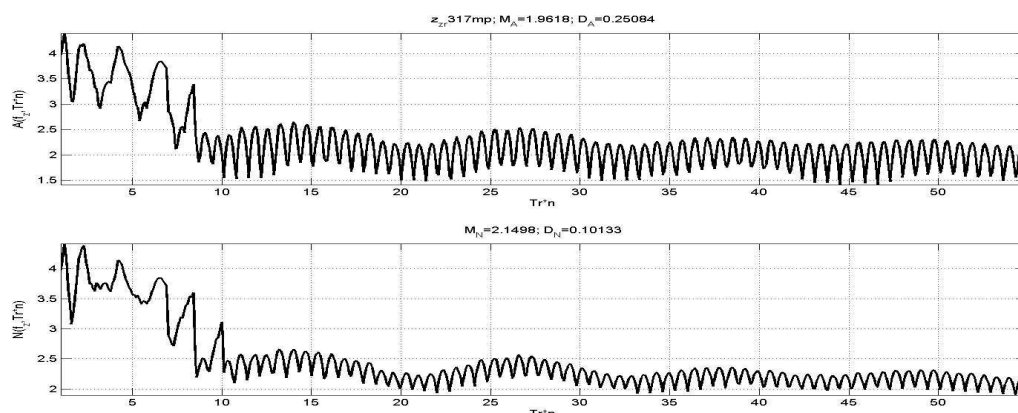


Рисунок 7 - Параметры амплитудного спектра $A(f_z, Tr \times n)$ и спектральной плотности мощности $N(f_z, Tr \times n)$ при изменении интервала окна анализа

Анализ графиков позволяет сделать вывод о том, что несоответствие сигналов вибраций зубчатых пар требованиям стационарности на интервале интегрирования напрямую влияет на:

- максимум погрешности, который находится в диапазоне от одного до десяти периодов роторной частоты;
- пульсации погрешности, которые наблюдаются после $n = Z = 41$, т.е. интервала окна анализа, равного периоду фундаментальной частоты $Tf = Tr \cdot Z$, где Z – количество зубьев шестерни;
- точность расчёта спектральной плотности мощности в два раза выше, чем точность расчёта амплитудного спектра;
- пульсации параметра амплитуды с девиацией порядка 5% от математического ожидания, устранение которых возможно только методами статистического усреднения при изменении интервала окна анализа в пределах периода роторной частоты.

Методы анализа в спектральной области могут обнаруживать сигналы дефектов зубьев шестерён, которые будут больше средне-квадратического отклонения (5% для СПМ и 10% – расчёта амплитуд), этим фактом поясняется пороговая методическая чувствительность к зарождающимся дефектам;

Худшая чувствительность спектральных методов применительно к одиночным дефектам по отношению к групповым дефектам определяется коэффициентом, который пропорционален количеству дефектных зубьев диагностируемой шестерни и фундаментальной частоте пары шестерён.

Выводы

Решена задача эксплуатационной вибродиагностики зубчатых передач, в том числе, редукторов ГТД.

1. Любые методы вибродиагностики зубцовых нестационарных сигналов, содержащие процессы интегрирования (свёртки) имеют, для сигналов редукторов ГТД, недопустимые погрешности в части анализа зарождающихся одиночных и групповых дефектов зубчатых пар. Этот вывод подтверждается историей развития и применения методов в задачах вибродиагностики. В задачах виброметрии эти методы приемлемы с учетом выводов данного раздела.

2. Относительно достоверные значения оценки частоты и амплитуды вибраций зубчатых пар можно получить при выборе интервала окна анализа не менее периода фундаментальной частоты для конкретного узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлёв В.Н. Методическая адекватность спектральной модели в задаче технического диагностирования роторных деталей редукторов ГТД [Текст] / В.Н. Журавлёв, А.В. Папченков, С.А. Борзов // «Вестник двигателестроения» – Запорожье, АО "Мотор Сич", 2014. – № 2. – С. 221 – 228.
2. Harry J. Decker. Crack Detection for Aerospace Quality Spur Gears [Text] / Harry J. Decker U.S. Army Research Laboratory Glenn Research Center, Cleveland, Ohio/National Aeronautics and Space Administration. NASA/TM—2002-211492. Prepared for the International 58th Annual Forum and Technology Display sponsored by the American Helicopter Society.- Montreal, Quebec, Canada, June 11-13, 2002.
3. Дорофеев В.Л. Система моделирования «AEROFLANK» & прямой синтез износостойких и малозумящих зубчатых передач [Текст] / В.Л. Дорофеев, В.В. Голованов, Д.В. Дорофеев // Авиационно-космическая техника и технология. Вісник НТУ «ХПІ» – Харьков, 2013. – № 40(1013). – С. 39 – 48.
4. Авиационные зубчатые передачи и редукторы: Справочник [Текст] / Под ред. Э.Б. Вулгакова. М.: Машиностроение, 1981. – 374 с.
5. Кравченко И.Ф. Экспериментальные и теоретические результаты исследования авиационных зубчатых передач для двигателей пятого и шестого поколений [Текст] / И.Ф. Кравченко, А.Б. Единович, В.А. Яковлев, В.Л. Дорофеев // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2008. – № 8. – С. 129 – 134.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ВРЕМЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУР ДАННЫХ

Анотация. Выполнен обзор и анализ известных методов проектирования и реализации структур данных, используемых в информационных системах с повышенными требованиями к временным характеристикам. Рассмотрены методы и средства проектирования на высоком уровне абстракции, позволяющие формировать эффективные структуры данных на физическом уровне в оперативной памяти. Выделены три направления объективных показателей оценки временных характеристик структур данных: амортизационный анализ, вычислительная сложность, средство на основе вычислительной сложности и временной эффективности.

Ключевые слова: структуры данных, логическая реализация данных, физическая реализация данных, эффективность, показатель эффективности.

Введение

Стремительный рост количества обрабатываемых данных обостряет проблему эффективной обработки данных в оперативной памяти (ОП). Это в свою очередь актуализирует проблему автоматизированного подбора структур данных для размещения в ОП. Правильный выбор организации данных для заданного алгоритма позволяет существенно улучшить его показатели качества [1, 2, 3].

Цель работы: выделить основные направления исследования в области проектирования, разработки и эксплуатации программного обеспечения, требующего значительных временных ресурсов, путем повышения временной эффективности за счет выбора способа организации структур данных.

Проектирование эффективных структур данных на абстрактном уровне

Для решения задач оптимизации структур данных нужно формализовать взаимодействие структур данных с остальной програм-

мой. Для этого нужно разделить представление структур данных на несколько уровней. Одно из таких разделений представлено в [4]. В работе рассматривается структура данных как конструктивная система с двумя уровнями организации: логическом и физическом и системно-изоморфным соответствием между ними.

Структура данных (СД) определяется как совокупность элементов данных и отношений между ними. Это определение СД отражает только логическую организацию данных (ЛОД), которая должна быть зафиксирована любым подходящим способом в физической организации данных при разработке программного обеспечения.

Физическая организация данных (ФОД) также представляется некоторой СД, которая носит конкретный характер и определяет размещение данных в памяти, методы доступа к ним и способы реализации операций их обработки.

СД рассматривается как конструктивная система (КСД). Внешние объекты взаимодействуют с КСД через интерфейс, предоставляющий доступ к логическому уровню организации данных, который является виртуальным. Реальная организация данных и их обработка осуществляются на физическом уровне, который полностью поддерживает логическое представление данных. Соответственно, нет необходимости организовывать и размещать данные в ОП на логическом уровне, а достаточно формировать их на основе отображения ЛОД-ФОД. Интерфейс доступа к данным в КСД представляется в виде предметно-ориентированного языка (Domain Specific Language, DSL), специфицирующего логическую СД и методы ее обработки.

Поскольку реализация DSL имеет доступ к информации высокого уровня, его оптимизации могут применяться в больших масштабах (например, в глобальных преобразованиях программ) и часто производят более эффективный код чем при работе среднего программиста.

Подобное разделение также используется в [5], где рассматриваются предметно-ориентированные языки, которые позволяют лучше выражать конструкции, присущие заданной предметной области. Вводится понятие генераторов-компиляторов для предметно-ориентированных языков. В статье используется генерирование реализаций на основе компонентной композиции. Основная часть генератора – это распознавание простых блоков для программного обеспече-

ния заданной предметной области. Генератор посредством преобразований осуществляет конвертацию конструкций DSL в компоненты целевого языка. Преимуществом такого подхода является расширяемость. Из небольшого количества компонентов, которые могут быть собраны различными способами, возможно создание большого количества уникальных реализаций конструкций DSL.

Абстрагирование от деталей реализации приводит к более простым и более детальным спецификациям. Основной целью проектирования DSL заключается в повышении уровня абстракции, который используется пользователем.

Таким образом, можно радикально изменить реализацию спецификации без необходимости модифицировать исходный код приложения. Выделение того что должно быть сделано, а не то, как это должно быть сделано, является первым шагом в процессе абстракции. Ни один инструментарий на основе DSL не пригоден для использования, если он не предоставляет приемлемую производительность. В противном случае абстрактная спецификация может использоваться лишь в качестве примера дизайна, а фактическая реализация будет результатом мануального уточнения спецификации. Задача разработчика DSL заключается в выявлении уровня абстракции, который поддается автоматизированной аргументации для контроля ошибок и оптимизации. Таким образом, могут быть получены преимущества как абстрактности, так и эффективности.

Адаптация структур данных в процессе эксплуатации ПО

Иной подход оптимизации структур данных основывается на построении модели системы и ее анализе в разрезе использования структур данных. Например, в [6] описывается построение модели системы реального времени на основе трассировки ее работы. Построенная модель позволяет осуществлять планирование добавления новой функциональности, а также анализ воздействия изменений на модель. Абстрактная модель позволяет отлаживать систему без прямого взаимодействия с системой. Также она позволяет автоматизировано составлять документацию и предоставляет возможность новым сотрудникам быстрее знакомится с системой.

Модель строится на основе языка ART-ML. Её построение выполняется с помощью семплирования работы системы. На основе семплов строится дерево выполнения задач в системе (рис. 1).

рактистик входных данных. Рассматриваются две структуры данных ADJList – представление графа в виде списка, которое оптимально для разреженных графов, и ADJMat – представление в виде матрицы, которое показывает лучшие характеристики для высокоплотных данных. В работе также представлена оценка времени, затрачиваемая на миграцию между представлениями, и ее влияние на общий выигрыш работы алгоритмов обработки графов.

Проектирование структур данных с учетом особенностей аппаратных средств

Разработка новых технических средств позволяет существенно улучшить временные характеристики за счет развития алгоритмов обработки данных. Например, введение новых пакетных наборов инструкций SSE, SSE2, SSE3 позволяет работать с данными как с единым целым и более малым количеством инструкций [9].

Другим способом улучшения временных характеристик является разработка параллельных алгоритмов [10]. Например, в [11] решается прикладная задача по дифракции. Однопоточный код, изначально написанный без оптимизации, работает в 40 раз хуже, чем этот же код, переписанный с использованием библиотеки параллельных программ OpenMP [12] под данную задачу.

Методы и средства оценки временных характеристик алгоритмов и структур данных

Построение автоматизированных систем оптимизации структур данных требует выделение объективных оценок временной эффективности структур данных. Рассмотрим оценки эффективности СД, традиционно использующихся в прикладном программировании.

Теория сложности вычислений возникла из потребности сравнивать быстродействие алгоритмов [13], четко описывать их поведение (время исполнения и объем необходимой памяти) в зависимости от размера входных данных.

Количество элементарных операций, затраченных алгоритмом для решения конкретного экземпляра задачи, зависит не только от размера входных данных, но и от самих данных. Например, количество операций алгоритма сортировки вставками значительно меньше в случае, если входные данные уже отсортированы. Чтобы избежать подобных трудностей, рассматривают понятие временной сложности алгоритма в худшем случае.

Временная сложность алгоритма (в худшем случае) — это функция от размера входных данных, равная максимальному количеству элементарных операций, выполняемых алгоритмом для решения экземпляра задачи указанного размера.

Довольно часто для определения превосходства одного алгоритма относительно другого не нужно знать точную оценку их сложности [14, 15, 16]. Достаточно оценить асимптотику роста времени выполнения предоставленных алгоритмов. Если скорость роста времени выполнения одного алгоритма при увеличении количества входных данных ниже скорости роста времени другого алгоритма, первый алгоритм более эффективен.

Рассмотрим общий принцип асимптотических оценок [16]. Пусть есть некоторые функции $g(n)$ и $f(n)$. Если существуют такие значения c_1 , c_2 и n , и начиная с некоторого n_0 выполняется условие $c_1g(n) \leq f(n) \leq c_2g(n)$, при $c_1 > 0$, $c_2 > 0$ и $n > n_0$, принято говорить, что функция $f(n)$ ограничена функцией $g(n)$. В виде асимптотических обозначений ситуация выглядит следующим образом:

$$f(n) = \Theta(g(n)).$$

Если начиная с n_0 выполняется условие $f(n) \leq cg(n)$, при $c > 0$ и $n > n_0$, принято говорить, что функция $f(n)$ ограничена функцией $g(n)$ сверху. А если выполняется условие $cg(n) \leq f(n)$ — ограничена снизу. Первую оценку принято определять как O , вторую — Ω , и записывать соответственно:

$$f(n) = O(g(n)), \quad f(n) = \Omega(g(n)).$$

Задача определения асимптотической вычислительной сложности может быть решена различными методами. Рассмотрим те, что базируются на рекурсии. Оценка количества вычислений алгоритмом в таких методах может быть представлена как рекуррентное соотношение. Соотношение такого типа связывает оценку для одного количества входных данных и оценки для меньшего количества.

Известны методы, которые позволяют определить соответствующую асимптотической оценку, зная рекуррентное соотношение [15]:

- метод подстановки;
- метод итераций;
- общий метод согласно доказанной теоремы.

Метод подстановки или индуктивный метод заключается в следующем. Сначала нужно допустить возможную асимптотической оценку. Затем допущение доказывается с помощью математической индукции. Допущение делается на основе опыта, по аналогии с подобными методами. Иначе – методом подбора с постепенным уточнением оценки. Этот метод может использоваться как для нижних так и для верхних оценок.

Если допустить оценку не удастся, используется метод итераций. Смысл метода следующий: соотношение подставляется само в себя определенное количество раз, достаточное для того, чтобы представить соотношение в виде ряда или функции.

Амортизационный анализ используется для оценки времени выполнения последовательности взаимосвязанных операций над определенной структурой данных [15-17]. Для определения верхней границы оценки достаточно умножить максимальную продолжительность одной операции на общее количество операций в последовательности. Если операции с большим и малым временем выполнения чередуются, оценка может быть уточнена – она соответствует среднему времени выполнения. Оценки такого рода называются амортизационными.

Для выполнения амортизационного анализа нужно определить некоторую учетную стоимость каждой операции. Учетная стоимость может быть больше или меньше реального время выполнения операции, но такой, что: для любой последовательности операций фактическая суммарная продолжительность их выполнения не должна превышать сумму их учетных стоимостей. Если условие выполняется – учетная стоимость корректна.

Основные методы определения учетной стоимости [15]:

- метод группировки;
- метод предоплаты;
- метод потенциалов.

Метод группировки заключается в следующем: для каждого выполняется оценка времени $T(n)$ в худшем случае, где n – количество операций. Время выполнения одной операции оценивается как $T(n)/n$ и объявляется учетной стоимостью. Учетная стоимость всех операций будет считаться равной.

Метод предоплаты имеет следующее содержание: каждая операция получает свою учетную стоимость, причем полученные стоимости могут быть как больше, так и меньше реальных. Если учетная стоимость превышает реальную, разница рассматривается как резерв. Резерв связывается с другой операцией над структурой данных и считается предоплатой за следующее ее выполнение. Таким образом, за счет резерва компенсируется разница между учетной и реальной стоимостями для операций, чья учетная стоимость ниже реальной.

Метод потенциалов можно охарактеризовать как частный случай метода предоплаты. Разница заключается в том, что резерв не распределен между отдельными операциями, а накапливается в целом для структуры данных. Такой резерв называется «потенциалом» или «потенциальной энергией» структуры.

Структуры данных не обладают функциональностью, поэтому говорить об их временных характеристиках в этом смысле некорректно. Однако физическая реализация структур данных может в значительной степени влиять на временную эффективность программ и программных систем, использующих структурированные данные. В [18, 19] показано, что время операции доступа [20] к позиции в зависимости от физического размещения данных в ОП может отличаться на два порядка.

Под временной эффективностью структур данных будем понимать временную эффективность совокупности операций (алгоритмов) обработки данных.

Временную эффективность структуры данных можно определить на основе временной эффективности алгоритмов вида [21]:

$$A|_X^Y = \prod_i B_i|_{X_i}^{Y_i},$$

где B_i – алгоритмы обработки исследуемой структуры данных; X_i и Y_i – их области определения и значения, соответственно.

Для сравнения временной эффективности двух алгоритмов с учетом размещения и эксплуатации структуры данных в конкретной программно-аппаратной среде и фиксированных типов данных ее элементов воспользуемся следующим показателем степени превосходства одного (i -го) алгоритма над другим (j -тым):

$$SUP_{ij}|\bar{V}, \bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{v \in \bar{V}} \sum_{x \in \bar{X}} \frac{t_j(v, x) - t_i(v, x)}{\max(t_i(v, x), t_j(v, x))}$$

где N – количество выполнений алгоритмов, $\bar{V}$ – множество возможных значений объема данных, $\bar{X}$ – множество возможных значений данных

Воспользуемся предложенным там же [22] методом оценки этого показателя, самой оценкой и оценкой ее доверительного интервала. S-оценка степени превосходства i -го алгоритма над j -м на основании N выполнений алгоритмов в области $\bar{\Omega}$:

$$S_{ij}|\bar{V}, \bar{X} = \frac{1}{\bar{N}} \sum_{k=1}^{\bar{N}} \frac{\bar{t}_{jk}(v, x) - \bar{t}_{ik}(v, x)}{\max(\bar{t}_{ik}(v, x), \bar{t}_{jk}(v, x))} \cdot 100\%,$$

где $\bar{t}_{ik}$ – время выполнения i -го алгоритма при k -й реализации в конкретной программно-аппаратной среде.

Аналогично показатель области превосходства [22] i -го алгоритма над j -м:

$$R_{ij}|\bar{V}, \bar{X} = \frac{1}{\bar{N}} \sum_{k=1}^{\bar{N}} \text{sign}(\bar{t}_{jk}(v, x) - \bar{t}_{ik}(v, x)) \cdot 100\%, \quad \text{sign}(a) = \begin{cases} 1, & \text{если } a > 0 \\ 0, & \text{если } a \leq 0 \end{cases}.$$

Оценка степени превосходства и области превосходства i -й структуры данных над j -й по критерию временной эффективности выполняется в области использования, в которой различие объема и значений данных определяется различным состоянием структуры данных перед и в процессе выполнения различных алгоритмов вида $A|_X^Y$.

Для измерения $\bar{t}_{ik}$ и $\bar{t}_{jk}$ необходимо моделирование среды эксплуатации структуры данных. Естественно, лучшим вариантом является выполнение замеров в той же программно-аппаратной среде, где структура эксплуатируется (ЭВМ, ОС, совместно выполняемые прикладные программы). Остается моделировать лишь процесс работы со структурой, то есть алгоритм $A|_X^Y$.

Выводы

Рассмотренные методы оценки эффективности структур данных и алгоритмов средствами амортизационного анализа, оценки вычислительной сложности требуют участия специалистов в области программирования и прикладной математики, могут применяться

только на этапе проектирования и не подразумевают использование эволюционных адаптивных структур данных.

Рассмотрены направления повышения временной эффективности структур данных, которые позволяют автоматически (адаптивно либо превентивно) формировать эффективные структуры данных в оперативной памяти, основываются не на объективных оценках, а на эмпирических показателях.

Представляется перспективным направление разработки средств адаптации структур данных в оперативной памяти на основе высокоуровневого их проектирования (на абстрактном и логическом уровне) с применением показателей временной эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Michanan J. Predicting data structures for energy efficient computing [Текст] / J. Michanan, R. Dewri, M. J. Rutherford // Green Computing Conference and Sustainable Computing Conference (IGSC). – 2015. – С. 1-8
2. ISO/IEC 9126-1:2001. Software Engineering – Product quality – Part 1: Quality model.
3. ДСТУ 2850-94. Програмні засоби ЕОМ. Показники і методи оцінювання якості.
4. Володин А. М. Конструктивные структуры данных [Текст] / А. М. Володин // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. ВГ Белинского. – 2010. – № 22. – С. 118-122.
5. Smaragdakis Y. Distil: A Transformation Library For Data Structures. [Текст] / Y. Smaragdakis, D. S. Batory // Proceedings of the Conference on Domain-Specific Languages, October 15-17. – 1997.
6. Huselius J. Model synthesis for real-time systems [Текст] / J. Huselius, J. Andersson // Software Maintenance and Reengineering, Ninth European Conference – 2005. – С. 52-60
7. Shacham O. Chameleon: adaptive selection of collections [Текст] / O. Shacham, M. Vechev, E. Yahav // ACM Sigplan Notices. – 2009. – № 44.6. – С. 408-418.
8. Kusum A. Adapting Graph Application Performance via Alternate Data Structure Representation [Текст] / A. Kusum, I. Neamtiu, R. Gupta // 5th International Workshop on Adaptive Self-tuning Computing Systems. – 2015.
9. Streaming SIMD Extensions 3 (SSE3) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
URL: <http://softpixel.com/~cwright/programming/simd/sse3.php>.
10. Analysis of parallel algorithms [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Analysis_of_parallel_algorithms

11. Mishchenko V. Accelerating the computation of the discrete currents method by modification takes into account the architectural features of a modern PCs. [Текст] / V. O. Mishchenko, B. V. ПАТОСНКИН // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління – 2015. – № 26. – С. 129-139.
12. The OpenMP® API specification for parallel programming [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://openmp.org/wp/>.
13. Sipser M. Introduction to the Theory of Computation [Текст] // Boston: Thomson Course Technology. – 2006.
14. Макконнелл Дж. Анализ алгоритмов. Вводный курс / Дж. Макконнелл. – М.: Техносфера, 2002. – 304 с.
15. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест. – М.: МЦНМО, 2001. – 960 с.
16. Шинкаренко В. І. Оцінка часових характеристик структур даних на проектному рівні / В.І. Шинкаренко, Д.О. Петін, Г.В. Забула // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1. – С. 39-46.
17. Amortized Analysis Explained [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: http://www.cs.princeton.edu/~fiebrink/423/AmortizedAnalysisExplained_Fiebrink.pdf
18. Шинкаренко В. И. Экспериментальные исследования алгоритмов в программно-аппаратных средах : монография / В. И. Шинкаренко. – Д.: Изд-во Днепропетр. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2009. – 279 с.
19. Шинкаренко В.И. Временная оценка операций обработки структурированных данных с учетом конвейеризации и кэширования / В.И. Шинкаренко // Проблемы програмування. – 2006 – № 2-3. – С. 43-52.
20. Шинкаренко В. И. Повышение временной эффективности структур данных в оперативной памяти на основе адаптации / В. И. Шинкаренко, Г. В. Забула // Проблемы програмування. – 2012. – № 2-3. – С. 211-218.
21. Шинкаренко В.И. Структурные модели алгоритмов в задачах прикладного программирования Часть I. Формальные алгоритмические структуры / В.И. Шинкаренко, В.М. Ильман, В.В. Скалосуб // Кибернетика и системный анализ. – 2009 – №3. – С. 3-14.
22. Шинкаренко В.И. Сравнительный анализ временной эффективности функционально эквивалентных алгоритмов / В.И. Шинкаренко // Проблемы программирования. – 2001. – № 3-4. – С. 31-39.

Л.О. Кириченко, Ю.А. Кобицкая, А.В. Стороженко

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ХАРАКТЕРИСТИК
ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЕ**

Аннотация. В работе проведен сравнительный анализ вейвлет-характеристик детерминированных хаотических и случайных самоподобных реализаций. Показано, что спектр вейвлет-энергии и вейвлет-энтропия отражают характерные особенности фрактальной и корреляционной структуры реализаций. Предложено использовать вейвлет-характеристики в качестве знаний в экспертной системе для различения временных рядов, обладающих фрактальными свойствами.

Ключевые слова: энтропия подобия, вейвлет-декомпозиция, вейвлет-энтропия, хаотическая реализация, самоподобная стохастическая реализация.

Введение и цель

Многочисленные исследования, проведенные в последние десятилетия, показали, что многие информационные, биологические, физические, технологические процессы обладают сложной фрактальной структурой. Математическими моделями сложных систем, проявляющих нерегулярную динамику, являются как случайные, так и детерминированные хаотические процессы. В последние годы для анализа, моделирования и прогнозирования сложных процессов все большее применение находят методы интеллектуального анализа данных. В работе [1] предложена экспертная система (ЭС), предназначенная для исследования фрактальной структуры временных рядов. Для анализа характерных особенностей рядов в базу знаний добавлен блок знаний, определяющий информационную сложность системы. С помощью модифицированной ЭС были проведены исследования фрактальных временных рядов разной природы, которые показали возможность распознавания различных состояний динамики системы [2-4].

Одним из мощных инструментов исследования и классификации временных рядов является анализ, базирующийся на вейвлет-

преобразованиях. Кратномасштабный анализ позволяет проводить декомпозицию временного ряда на составляющие с различными частотными диапазонами. Использование вейвлет-характеристик в качестве знаний для ЭС дает возможность распознавания характерных особенностей частотного распределения у фрактальных сигналов.

Целью представленной работы является проведение сравнительного анализа вейвлет-характеристик детерминированных хаотических и случайных самоподобных реализаций для выявления характерных особенностей фрактальной структуры.

Методы исследования

Вейвлет-преобразование одномерного сигнала – это его представление в виде обобщенного ряда или интеграла по системе базисных функций $\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$, полученных из материнского вейвлета $\psi(t)$, обладающего определенными свойствами за счет операций сдвига во времени b и изменения временного масштаба a . Дискретное вейвлет-преобразование строится с помощью кратномасштабного анализа, основная идея которого состоит в представлении сигнала в виде совокупности его последовательных приближений [5,6].

Кратномасштабный анализ заключается в разбиении исследуемого сигнала $X(t)$ на две составляющие: аппроксимирующую и детализирующую, с последующим аналогичным дроблением аппроксимирующей до заданного уровня декомпозиции сигнала N . В результате декомпозиции сигнал $X(t)$ представляется в виде суммы аппроксимирующей компоненты $\text{approx}_N(t)$ и детализирующих компонент $\text{detail}_j(t)$:

$$X(t) = \text{approx}_N(t) + \sum_{j=1}^N \text{detail}_j(t) = \sum_{k=1}^{N_a} \text{apr}(N, k) \phi_{Nk}(t) + \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{N_j} \text{det}(j, k) \psi_{jk}(t),$$

где N – выбранный максимальный уровень разложения,

$\text{apr}(N, k) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \phi_{Nk}(t) dt$ – аппроксимирующие вейвлет-коэффициенты

уровня N , $\text{det}(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi_{jk}(t) dt$ – детализирующие вейвлет-

коэффициенты уровня j , N_j – количество детализирующих коэффи-

циентов на уровне j , N_a – количество аппроксимирующих коэффициентов на уровне N .

Величина вейвлет-энергии на заданном уровне вейвлет-разложения j определяется как $E_j = \frac{1}{N_j} \sum_{k=1}^{N_j} \det^2(j, k)$. Набор величин E_j для каждого уровня разложения составляет спектр вейвлет-энергии ряда. Полная вейвлет-энергия спектра представляет собой сумму энергий каждого уровня $E_{tot} = \sum_{j=1}^N E_j$. Относительная вейвлет-энергия показывает распределение энергии по уровням разложения:

$$p_j = \frac{E_j}{E_{tot}}.$$

В настоящее время основными характеристиками сложности динамики систем можно считать различные типы энтропии. Вейвлет-энтропия WE является количественной мерой упорядоченности сигнала и определяется по формуле:

$$WE = - \sum_{j=1}^N p_j \ln(p_j). \quad (1)$$

Существует разные типы энтропии: энтропия подобия, энтропия шаблонов, многомасштабная энтропия, и др. Энтропия подобия $ApEn$ является статистикой регулярности временного ряда, что определяет возможность его предсказания [7]. Рассмотрим временной ряд $\{x_i\}$, $i=1, \dots, N$. Пусть вектор $P_m(i)$ – подпоследовательность значений ряда $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m}\}$ длиной m . Два вектора $P_m(i)$ и $P_m(j)$ будут подобными, если выполняется $|x_{i+k} - x_{j+k}| < \varepsilon$, $0 \leq k < m$.

Для каждого значения $i=1, \dots, N-m+1$ вычисляется величина $C_{im}(\varepsilon) = \frac{n_{im}(\varepsilon)}{N-m+1}$, где: $n_{im}(\varepsilon)$ – число векторов, подобных вектору $P_m(i)$.

Энтропия подобия $ApEn$ определяется по формуле

$$ApEn(m, \varepsilon) = \ln \frac{C_m(\varepsilon)}{C_{m+1}(\varepsilon)}, \quad C_m(\varepsilon) = \frac{1}{N-m+1} \sum_{i=1}^{N-m+1} C_{im}(\varepsilon). \quad (2)$$

Входные данные

Хаотические реализации [8]. Хаос представляет собой сложную форму поведения детерминированной системы в установившемся режиме. Основным свойством таких систем является чувствительная зависимость режима функционирования к сколь угодно малым изменениям начальных условий. Если d_0 – мера начального расстояния между двумя точками, то спустя малое время t расстояние между траекториями, выходящими из этих точек, становится равным $d(t) = d_0 e^{\lambda t}$, где величина λ является показателем Ляпунова. Это обстоятельство ведет к потере детерминированной предсказуемости и хаотическому поведению. Одними из самых простых и наглядных математических моделей, демонстрирующих хаотическое поведение, являются итерируемые отображения вида $x_{n+1} = f(C, x_n)$, где C – управляющий параметр.

Для широкого класса нелинейных функций f последовательность значений $\{x_n\}_{n=0}^{\infty}$ является хаотической. Наиболее известным примером хаотических отображений является логистическое отображение. Это одномерное квадратичное отображение, определяемое следующим образом:

$$x_{n+1} = Ax_n(1 - x_n), \quad (3)$$

где A – управляющий параметр, $A \in (0, 4]$, а значения $x_n \in [0, 1]$.

Стохастические самоподобные реализации [9]. Стохастический процесс $X(t)$ является самоподобным с параметром самоподобия H , если процесс $a^{-H}X(at)$ описывается теми же конечномерными законами распределений, что и $X(t)$. Одной из наиболее известных и простых моделей стохастической динамики, обладающих фрактальными свойствами, является фрактальное броуновское движение (ФБД).

Гауссовский процесс $X(t)$ называется фрактальным броуновским движением с параметром H , $0 < H < 1$, если приращения случайного процесса $\Delta X(\tau) = X(t + \tau) - X(t)$ имеют гауссовское распределение вида

$$P(\Delta X < x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_0\tau^H}} \cdot \int_{-\infty}^x \text{Exp}\left[-\frac{z^2}{2\sigma_0^2\tau^{2H}}\right] dz, \quad (4)$$

где σ_0 - коэффициент диффузии. Приращения ФБД называются фрактальным гауссовским шумом (ФГШ).

ФБД с параметром $H=0.5$ совпадает с классическим броуновским движением. Параметр H , называемый показателем Херста, представляет собой степень самоподобия процесса. Наряду с этим свойством, показатель H характеризует меру долгосрочной зависимости стохастического процесса, т.е. убывание корреляционной функции процесса по степенному закону.

Результаты исследования

Рассмотрим реализации отображения (3) при различных хаотических режимах, которые определяются показателем Ляпунова λ . На рис. 1 слева показаны реализации при значениях управляющего параметра $A=3.7, 3.9, 4$ (сверху вниз). Соответствующие значения показателя Ляпунова равны $\lambda=0.37, 0.5, 0.69$. Большее значение показателя Ляпунова соответствует большей степени хаотичности системы. В правой части рис.1 показаны реализации ФГШ при значениях показателя Херста $H=0.3, 0.9, 0.5$ (сверху вниз). В случае $H=0.5$ реализация представляет собой набор независимых нормальных случайных величин. Случай $H=0.3$ соответствует отрицательной корреляции. При $H=0.9$ реализация обладает сильной долгосрочной зависимостью.

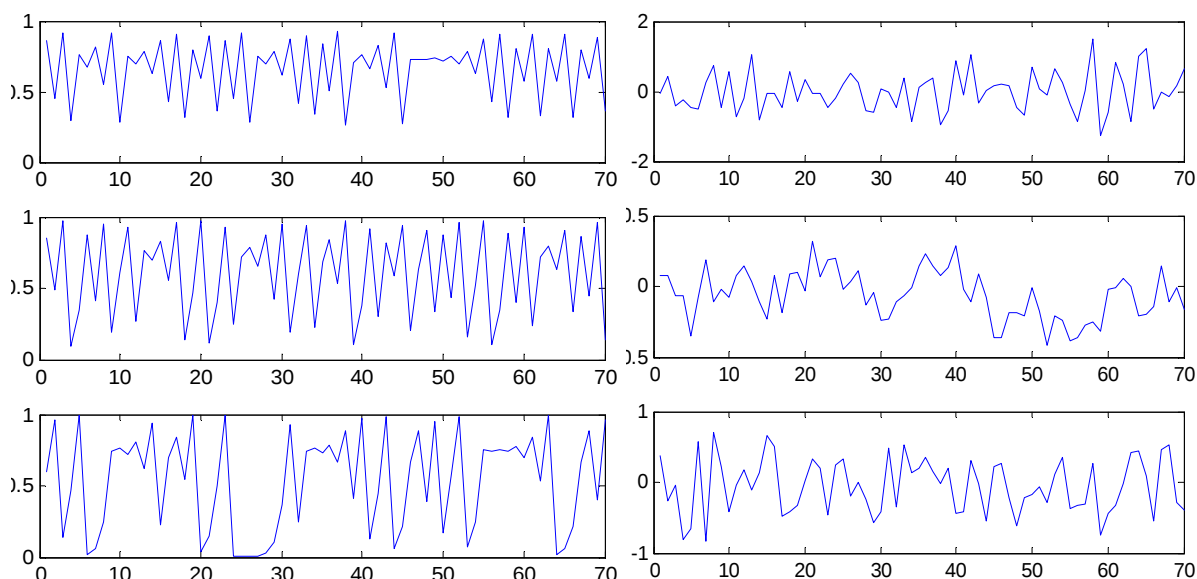


Рисунок 1 – Реализации хаотического отображения при $\lambda=0.37, 0.5, 0.69$ (слева) и реализации ФГШ при $H=0.3, 0.9, 0.5$ (справа)

В верхней части рис.2 показаны спектры вейвлет-энергии хаотических реализаций. Очевидно, что при меньших значениях показателя Ляпунова основная энергия процесса сосредоточена в высокочастотных компонентах (начальные уровни декомпозиции). В случае $\lambda=0.69$ данная система достигает максимального уровня хаотичности и вейвлет-энергия реализаций распределяется по частотам достаточно равномерно.

Спектры вейвлет-энергии ФГШ представлены в нижней части рис.2. В случае $H=0.3$ в реализациях преобладают высокочастотные колебания. При $H=0.9$ процесс обладает долгосрочной зависимостью и вейвлет-энергия сосредоточена на низкочастотных уровнях. В случае $H=0.5$ вейвлет-энергия реализаций равномерно распределяется по уровням.

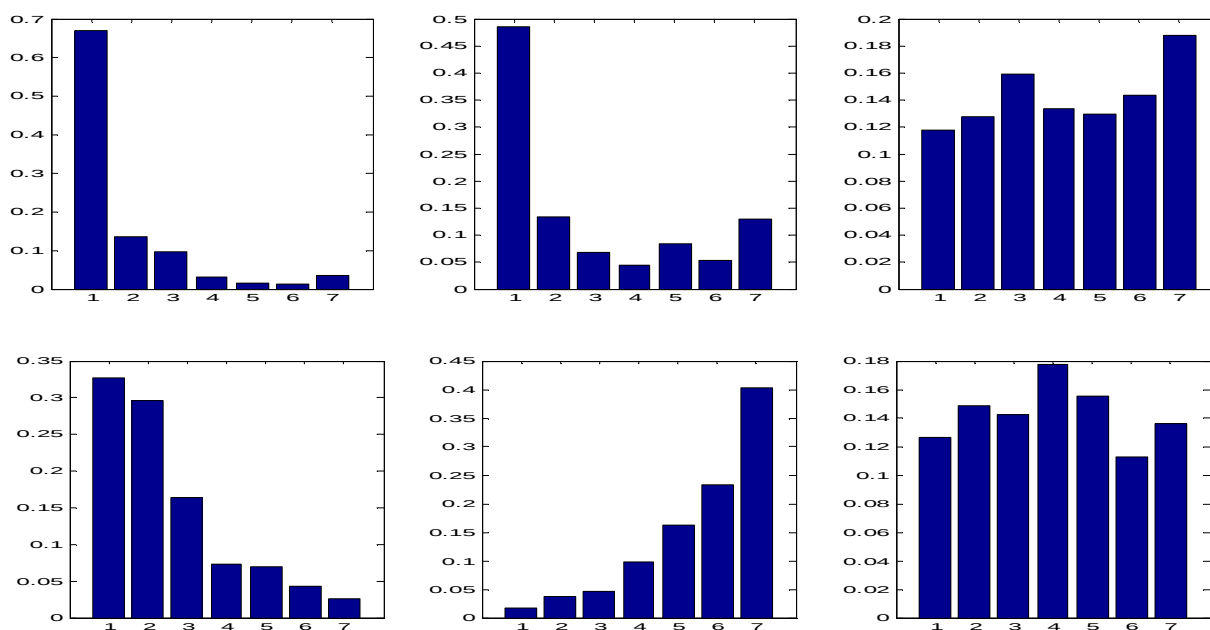


Рисунок 2 – Спектр вейвлет-энергии хаотических реализаций при $\lambda=0.37, 0.5, 0.69$ (вверху) и реализаций ФГШ при $H=0.3, 0.9, 0.5$ (внизу)

В таблице приведены средние значения вейвлет-энтропии (1) и энтропии подобию (2) для хаотических реализаций и реализаций ФГШ. В каждом случае величины энтропии увеличиваются с ростом хаотичности или некоррелированности процесса. Важным аспектом является то, что проведенные исследования выявили некоррелированность величин вейвлет-энтропии W и энтропии подобию ApE . Это

позволяет использовать их как независимые параметры при распознавании временных рядов с помощью ЭС.

Таблица

Числовые характеристики сложности реализаций

Логистическое отображение				Фрактальный гауссовский шум		
A	λ	W	$ApEn$	H	W	$ApEn$
3.7	0.37	1.22	0.35	0.3	1.63	1.88
3.9	0.5	1.46	0.49	0.9	1.56	1.67
4	0.69	1.86	0.62	0.5	1.93	1.9

Выводы

В работе проведен сравнительный анализ вейвлет-характеристик детерминированных хаотических и случайных самоподобных реализаций. Показано, что спектр вейвлет-энергии и вейвлет-энтропия отражают характерные особенности фрактальной и корреляционной структуры реализаций. Использование вейвлет-характеристик для распознавания фрактальных сигналов позволяет применять их в качестве знаний для ЭС, что дает возможность более корректно осуществлять исследование и построение математических моделей временных рядов, обладающих фрактальными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кириченко Л.О. Разработка алгоритмов принятия решений в экспертной системе фрактального анализа / Л.О.Кириченко, О.В.Стороженко, Ю.А. Кобицкая // «Системні технології» - збірник наукових праць. -№3 (86). - 2013. -С.54-61.
2. Kirichenko L. Comparative Analysis of the Complexity of Chaotic and Stochastic Time Series / L. Kirichenko, Yu. Kobitskaya, A. Nabacheva // «Радіоелектроніка. Інформатика. Управління» - №2 (31). - 2014 -С.126-134.
3. Кириченко Л.О. Методы распознавания фрактальных временных рядов с помощью характеристик информационной сложности / Л.О.Кириченко, Ю.А. Кобицкая // Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних

- технологій: VII Міжнар. наук.-практ. конф.: тези доп.-Запоріжжя, 2014. -С. 166-167.
4. Кириченко Л.О. Использование экспертной системы для классификации фрактальных временных рядов / Кириченко Л.О., Кобицкая Ю.А., Калиниченко О.В., Чалая Л.Э. // Теорія прийняття рішень: VII-а міжнар. школа-семінар: праці. – Ужгород, 2014.-С. 124.
 5. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов: Пер. с англ. / С. Малла. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
 6. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
 7. Pincus S.M. Approximate entropy as a measure of system complexity / S.M. Pincus. Proc. // Natl. Acad. Sci. Vol.88, pp. 2297-2301.
 8. Мун Ф. Хаотические колебания / Ф. Мун. – М.: Мир, 1990. –304 с.
 9. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

С.В. Клименко, В.В. Огоренко, В.Д. Халипова

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НОВОЙ МЕТОДИКИ ТЕСТИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАМЕНТА

Аннотация. Предложена новая методика определения типа темперамента. Рассмотрены алгоритмы обработки результатов тестирования и принятия решения о работоспособности новой методики путем сравнения с тестом Айзенка-EPQ на основе критерия хи-квадрат.

Ключевые слова: психометрическое тестирование, статистическая обработка данных, математическое моделирование.

Постановка задачи

На основании психологических теорий и накопленного человеческим опытом известно, что люди с разным темпераментом лучше справляются с определенным видом деятельности. Этому способствует наличие определенных особенностей – свойств темперамента.

Ганс Айзенк известный классик теории темперамента. На основе его методик составлены тесты, один из них Айзенка-EPQ [1]. На основании результатов теста можно определить выраженность нейротизма, психотизма, экстра- и интроверсии у испытуемого. Вопросы теста содержат скрытую зависимость с характеристиками темперамента. Например, «Вы стараетесь быть в тени, находясь в обществе?» – характеризует экстраверсию-интроверсию.

Авторами статьи предложена новая методика диагностирования темперамента, вопросы которой содержат скрытые характеристики темперамента. Испытуемому предлагаются вопросы в ходе тестирования, которые максимально с его точки зрения присущи ему или нет. Например, «Вы человек общительный?» – характеризует экстраверсию-интроверсию. Таким образом, новая методика является самооценкой типа темперамента (меланхолик, флегматик, сангвиник, холерик).

Целью исследования является разработка математического описания теста и обработки результатов тестирования по новой методике самооценки темперамента, сравнения двух тестов (классической и новой методики) на основе анализа результатов тестирования испытуемых.

Математическая модель обработки и сравнения результатов тестирований

На каждый из вопросов испытуемому нужно ответить, согласен ли он с утверждением или свойственна ли ему определенная характеристика психики по новой методике. Каждый ответ оценивается в 1 или 0 баллов, в соответствии с ключом теста. Тип темперамента испытуемого характеризуют показатели в баллах по каждому свойству темперамента (нейротизм, психотизм, экстра- и интроверсия), которые он получает для каждого теста (классический тест и новая методика). Человека характеризует тип темперамента, который определяется по результатам тестирований. Предполагается, что при соответствии тестов: тип темперамента по двум методикам тестирования будет одинаков.

Испытуемый, отвечая на вопросы теста, набирает определенное количество баллов по каждому свойству. Показатели в баллах вычисляются с использованием функции решений $R(k)$ и факторных функций $\Delta(k)$, $N(k)$ и $L(k)$. Функция теста принимает значение $\Phi(k)=1$, если высокая выраженность свойства и $\Phi(k)=-1$, если низкая выраженность того или иного свойства. Факторные функции или ключ теста, принимают значения: «1» и «0», в зависимости от того, к какому свойству принадлежит k -тый вопрос. Результатом тестирования испытуемого – это подсчет баллов при совпадении и несовпадении ответа с ключом теста.

Для графического представления результатов тестирования предложено рассматривать точку на системе координат для определения черты темперамента, отсюда X – это координата соответствующая свойству личности экстра- интроверсия и Y – нейротизм, L – функция лжи.

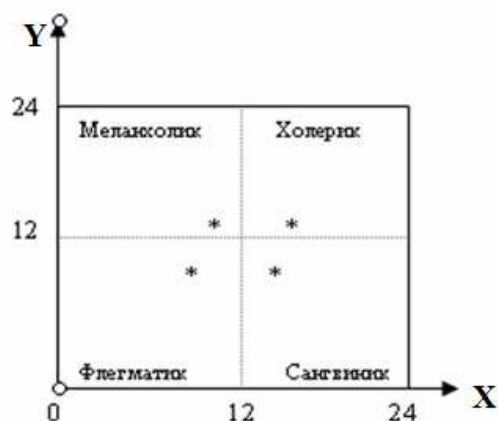


Рисунок 1 - Графическое представление результатов тестирования

Например, для экстра- и интроверсии, нейротизма и психотизма

$$X = 0.5 \sum_{k=1}^n (R(k) \cdot \Phi(k) + 1) \cdot \mathcal{E}(k)$$

$$Y = 0.5 \sum_{k=1}^n (R(k) \cdot \Phi(k) + 1) \cdot N(k)$$

$$L = 0.5 \sum_{k=1}^n (R(k) \cdot \Phi(k) + 1) \cdot L(k)$$

Максимальное значение показателей экстра- и интроверсии, нейротизма для теста Айзенка-EPQ составляет 24 баллов. Максимальное значение показателей экстра- и интроверсии, нейротизма для нового теста составляет 30 баллов.

В зависимости от расположения точки, отражающей результаты тестирования, делаются суждения о темпераменте испытуемого.

Квадрат 24x24 (методика Айзенка-EPQ) или 30x30 (новая методика) разделен на 4 равные части: верхняя, левая часть квадрата соответствует темпераменту меланхолика, левая нижняя - темпераменту флегматика, правая верхняя - темпераменту холерика, правая нижняя - темпераменту сангвиника. В зависимости от расположения точки, отражающей результаты тестирования, делаются суждения о темпераменте испытуемого.

Проверка соответствия двух тестов проводится на основании сравнения результирующего темперамента испытуемого, например, если по классическому тесту человек сангвиник, то останется ли он сангвиником по результатам нового теста; а также на основании

сравнения показателей свойств темперамента методами математической статистики.

Число стимулов в тесте Айзенка $n_1 = 25$ для каждого свойства (экстра-интроверсия, нейротизм, психотизм). В новом тесте $n_1 = 30$ вопросов для свойств экстра-интроверсия, нейротизм, и $n_3 = 14$ для свойства психотизма.

Для проверки соответствия результатов двух тестов используется метод сравнения на основе критерия хи-квадрат. В первом и втором тестах определяется число не совпадающих с ключом решений для каждого свойства: $k_{эи1}, k_{эи2}, k_{н1}, k_{н2}, k_{п1}, k_{п2}$. Для сравнения

двух частот $\frac{k_{эи1}}{n_1}$ и $\frac{k_{эи2}}{n_2}$, $\frac{k_{н1}}{n_1}$ и $\frac{k_{н2}}{n_2}$, $\frac{k_{п1}}{n_1}$ и $\frac{k_{п2}}{n_3}$ можно использовать статистику

$$z = \frac{(k_1 n_2 - k_2 n_1)^2 (n_1 + n_2 - 1)}{n_1 n_2 (k_1 + k_2) (n_1 + n_2) (n_1 + n_2 - k_1 - k_2)} \quad (1)$$

Если $z \leq z_0$, где z_0 – пороговое значение, то показатель определенного свойства темперамента личности при использовании классической методики тестирования соответствует тому же показателю, измеренному с помощью новой методики [2]. Например, высокое значение нейротизма характерно испытуемому по результатам двух методик тестирования.

Пороговое значение

$$z_0 = \psi^2 \left(\frac{1+P}{2} \right)$$

где $\psi(z)$ – функция обратная интегралу вероятности Гаусса.

Чтобы пользоваться этим методом сравнения методик тестирования, достаточно задать только показатель ее надежности (вероятность P , например $P = 0,95$).

Экспериментальное исследование

Проведено тестирование 18 студентов ВУЗа, результаты которых представлены в таблицах 1 и 2. ЭИ – показатель экстраверсии-интроверсии, Н – показатель нейротизма, Тип – тип темперамента (м-

меланхолик, ф-флегматик, с-сангвиник, х-холерик), П – показатель психотизма.

Таблица 1

Результаты тестирования испытуемых по классической методике Айзенка EPQ

№ ис-пыт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ЭИ	9	7	25	13	19	16	20	10	18	17	6	7	10,5	14	18	16	19	14
Н	13	19	10	20	13	6	18	15	6,5	21	19	1	8,5	10	11	14	16	15
Тип	м	м	с	х	х	с	х	м	с	х	м	ф	ф	с	с	х	х	х
П	5	5	13	6	10	8	3	3	8	6	5	2	5,5	8	3	5	6	4

Таблица 2

Результаты тестирования испытуемых по новой методике

№ ис-пыт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ЭИ	8	3	23	19	18	15	20	12	17	19	3	10	9	16	13	17	25	16
Н	14	17	13	17	17	16	19	16	13	18	12	6	8	6	9	13	20	16
Тип	ф	м	с	х	х	х	х	м	с	х	ф	ф	ф	с	ф	с	х	х
П	3	9	9	4	3	3	6	2	5	2	5	2	4	3	4	7	2	4

Таблица 3

Сравнение полученных типов темперамента испытуемых по результатам двух тестов

№ испытуемого	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Классическая методика тестирования	м	м	с	х	х	с	х	м	с	х	м	ф	ф	с	с	х	х	х
Новая методика тестирования	ф	м	с	х	х	х	х	м	с	х	ф	ф	ф	с	ф	с	х	х
Совпадают	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1

Получено, что для 13 человек тип темперамента совпадает и для 5-х не совпадает. Для 1-го испытуемого тип темперамента не имеет большой выраженности, поэтому результат колеблется между меланхоликом и флегматиком. Для 16-го испытуемого нейротизм имеет среднее значение, поэтому тип темперамента колеблется между сангвиником и холериком. У 11-го и 15-го испытуемых по результатам самооценки занижены показатели нейротизма и экстраверсии (по

сравнению с тестом Айзенка-EPQ). У 6-го испытуемого завышен показатель нейротизма сравнению с тестом Айзенка-EPQ. Возможно, у них искажено представление о себе.

В таблице 3 представлено сравнение типов темперамента испытуемых, полученных при обработке результатов тестирования по двум методикам.

Таким образом, при сравнении показателей свойств личности (табл.3) получили 5 несоответствий по типам темперамента. На основе сравнения результатов тестирования по формуле (1) получены следующие статистические данные, представленные в таблицах 3, 4 и 5, с учетом $P = 0,95$.

Таблица 4

Сравнение двух методик тестирования для показателя «экстраверсия-интроверсия» и сравнение с пороговым значением

№ ис- пыт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z_{ЭИ}$	0.54	2.9	4.02	0.7	1.55	1.06	1.20	0	1.36
$z_{ЭИ} \leq z_0$	1	1	0	1	1	1	1	1	1
№ ис- пыт.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$z_{ЭИ}$	0.12	1.92	0.17	0.84	0.04	4.47	0.3	0.45	0.04
$z_{ЭИ} \leq z_0$	1	1	1	1	1	0	1	1	1

Таблица 5

Сравнение двух методик тестирования для показателя «нейротизм» и сравнение с пороговым значением

№ ис- пыт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z_{ЭИ}$	0.15	2.21	20.1	3.31	2.21	0.62	0.46	0.24	1.76
$z_{ЭИ} \leq z_0$	1	1	0	1	1	1	1	1	1
№ ис- пыт.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$z_{ЭИ}$	3.73	7.05	3.08	0.34	2.59	1.13	0.86	0.04	0.24
$z_{ЭИ} \leq z_0$	1	0	1	1	1	1	1	1	1

Сравнение двух методик тестирования для показателя «психотизм»
и сравнение с пороговым значением

№ ис- пыт.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$z_{ЭИ}$	0.01	7.45	0.53	0.09	1.35	0.48	4.69	0.04	0.05
$z_{ЭИ} \leq z_0$	1	0	1	1	1	1	0	1	1
№ ис- пыт.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
$z_{ЭИ}$	0.50	1.13	0.37	0.20	0.48	1.63	0.36	0.50	4.99
$z_{ЭИ} \leq z_0$	1	1	1	1	1	1	1	1	0

По полученным результатам можно судить о работоспособности новой методики тестирования испытуемых.

Выводы

1. Предложена новая методика диагностирования темперамента человека на основе теста-опросника, вопросы которой содержат скрытые характеристики темперамента, которая представляет собой методику самооценки типа темперамента (меланхолик, флегматик, сангвиник, холерик).

2. Для повышения диагностической информативности типа темперамента предложен новый метод обработки результатов тестирования и визуализации (графического представления) результатов психометрического тестирования.

3. Предложен математический метод сравнения результатов классического теста и новой предложенной в статье методики самооценки темперамента на основе критерия хи-квадрат.

4. По результатам проведенного экспериментального исследования можно сделать вывод, что предложенная новая методика самооценки типа темперамента и классическая методика определения типа темперамента показывают практически одинаковые результаты при сравнении их, что подтверждает работоспособность новой методики, использование которой позволяет дополнить психологический портрет испытуемого.

ЛИТЕРАТУРА

1. Райгородский Д.Я. Практическая психодиагностика. Методики и тесты. Учебное пособие. – Самара: Издательский дом «БАХРАХ», 1998-672 с.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006.-816с.

ADAPTIVE SYSTEM OF CONTROLLING THE COARSE CRUSHING PROCESS

Summary. The linear model of a lump crusher KKD 1500/180 based on the comparative analysis of correlation and dispersion functions is proved in this article. To control the crusher performance the adaptive self-adjusted system is applied. The tuning of its parameters is performed on the basis of estimating the functions of spectral density of entrance and exit of the object. A block diagram of an adaptive control system of the crusher providing an aperiodic reaction with preset regulation time is proposed.

Keywords: crushing, adaptive control system, correlation function, dispersion function, spectral density.

Introduction

Automation of technological processes is one of the decisive factors to increase productivity, improve working conditions and increase economic indicators. High-speed and reliable facilities of management and control to provide target quality process are required to create new high-performance technological processes with a high speed of operation performance and considerable unity power.

Technological processes involved in concentrating production are rather typical objects of applying the methods of automatic control theory, but at the same time it is a particular area of automated control development as the called processes are subject to the action of casual indignations and possess considerable unsteadiness.

The process of coarse crushing is one of the main stages within the period of ore preparation. Therefore, organizing an effective control of crushing process is an actual task. In practice, stabilization systems of an active power of a crusher $P(t)$ at the preset level $P_{зад}$ by regulating an initial material stream of a crusher $Q(t)$ are the most widespread [1]. A block diagram of such regulation system is given in Fig. 1.

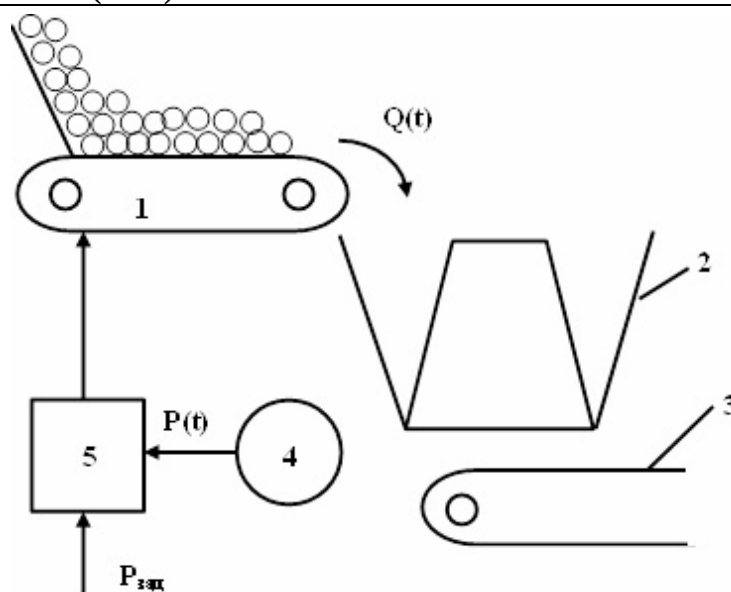


Figure 1—Block diagram of a crusher control system: 1 – a feeder; 2 – a crusher; 3 – an outfeed conveyor; 4 – an engine; 5 – a control unit

However, a rather simple problem of regulation becomes complicated due to the fact that the crusher as an object of control is a non-stationary object, whose parameters significantly depend on crushing material properties and a wear rate of a crusher working body. In such situation applying adaptive control systems is a viable option. [1, 2, 4, 6].

Analysis of current publications and formulation of research problem

Much attention was paid to the problem of developing the systems of automated, in particular, adaptive control of such processes as enrichment and ore preparation by a great number of researchers. So, one of the actual tasks arising while creating control systems is choosing the criteria and technique to identify model parameters. The methods of solving identification problems in an automated system designed to control technological process of ore preparation are analysed in work [3]. The complex method of identifying nonlinear dynamic processes of ore preparation is investigated. The application method to assess technological indicators of primary crushing quality of a jaw crusher of linear and square integrals establishing the connection of technological indicators of primary crushing quality with indirect integrated criteria of estimates and allowing to get sufficient reflection of the process peculiarities while changing unloading productivity and the level of crushing chamber filling is described in [5].

The system stabilizing the active power consumed by a crusher is considered in work [6] and the analytical self-adjusted system with the model of equation variations of the object [4] is applied to control a crusher. The systems of this type are constructed using the principle of forming two channels of signal transmission that allow compensating the indignant movements in the main contour generated by object unsteadiness.

Adaptive control efficiency is known to be defined in many respects by the time of selecting operational information relative to the object within the next quasi-steadiness period [7]. Therefore, the main objective of this work is to justify the structure of a crusher adequate model and organize the processing of operational information to assess its parameters.

Main part

Let us consider the process of creating the model of the crusher KKD 1500/180 along the channel of “ an initial material stream in a crusher $Q(t)$ which is the active power of the driving engine $P(t)$ “. In this case basic data are the processes of changing productivity $Q(t) \left[\frac{T}{c} \right]$ and power $P(t) [kBm]$ on a time interval $0 \div 400 c$. This interval is much less than a quasi-steadiness period and therefore, the processes $Q(t)$ and $P(t)$ can also be considered as stationary. The correlation $k(\tau)$ and dispersion $D(\tau)$ functions constructed by the results of the realization process $P(t)$ are presented in Fig. 2. Dispersive function $D(\tau)$ defines the dependence of the correlative relation between the sections of the process $P(t)$ divided by an interval τ . Following the Fig. 2 we can conclude that $k(\tau)$ and $D(\tau)$ have slight difference. Therefore, it is possible to draw a conclusion that the crusher along a channel « $Q(t) - P(t)$ » can be described by a linear model.

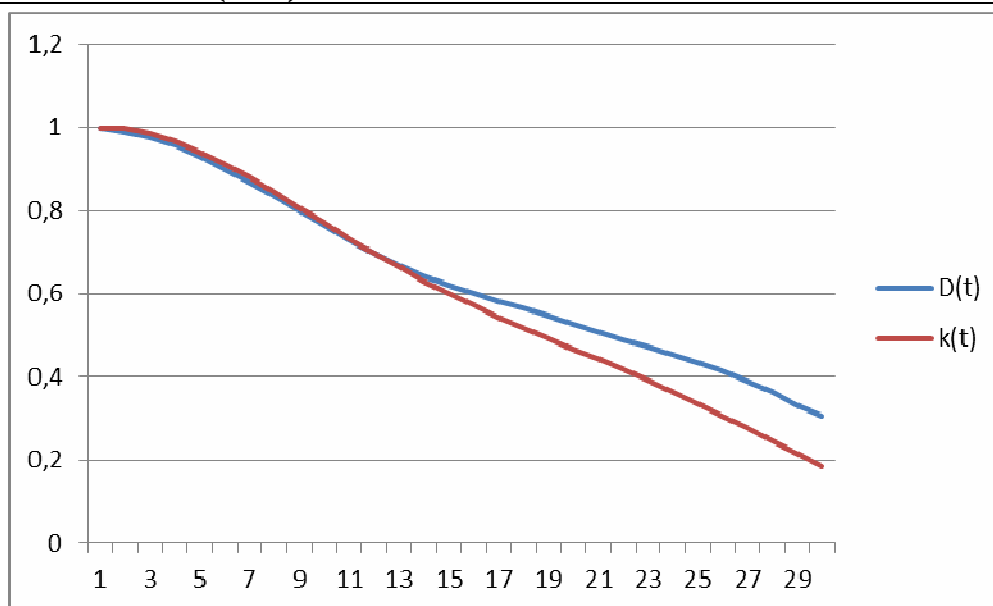


Figure 2– Correlative and dispersive functions of the process $P(t)$

Being directed by the practical expediency, the order of the differential equation of a conical crusher is chosen not higher than the second. Then a crusher transfer function along the channel « $Q(t) - P(t)$ » is written as:

$$W_{BY}(p) = \frac{K}{T_1 p^2 + T_2 p + 1} \quad (1)$$

The graphs of spectral density $S_Q(\omega)$ and $S_P(\omega)$ of the processes $Q(t)$ and $P(t)$ respectively, for a certain quasi-steadiness period are submitted in Fig. 3

By applying the received functions of spectral process densities at the entrance and exit of the object it is possible to identify mathematical model parameters: K, T_1, T_2 . We will designate $T \approx 400$ c as realization length $Q(t)$ and $P(t)$.

Then it is reasonable to estimate the transfer coefficient value K as the ratio of the values of an entrance stream $\bar{Q}$ and power $\bar{P}$ average on time on an interval T , i.e. $K = \frac{\bar{P}}{\bar{Q}}$. The obtained ratio of process spectral densities at the entrance $Q(t)$ and the exit $P(t)$ of a linear object was applied to calculate time constants T_1 and T_2 [2]:

$$S_P(\omega) = |W(j\omega)|^2 S_Q(\omega), \quad (2)$$

where $|W(j\omega)|^2$ is a square of the frequency characteristic module of the control object.

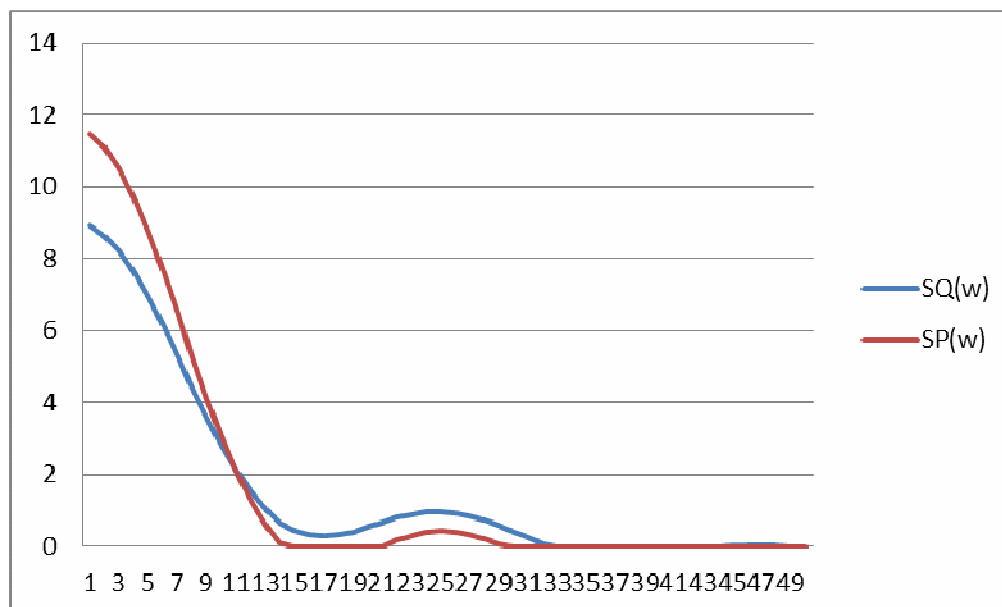


Figure 3– Graphs of the spectral density functions of processes $Q(t)$ and $P(t)$

As function $|W(j\omega)|^2$ depends on model parameters T_1 and T_2 of the object (1), a problem of their identification is reduced to the following optimizing task:

$$I(T_1, T_2) = \left[S_P(\omega) - |W(j\omega)|^2 S_Q(\omega) \right]^2 \rightarrow \min_{T_1, T_2} \quad (3)$$

According to the expression (3) the optimum values of parameters $T_1 = 15$ c; $T_2 = 8$ c providing the minimum value of the criterion $I(T_1; T_2)$ have been defined for spectral density functions presented in Fig. 3 As $T_2 > 2\sqrt{T_1}$ then roots of the characteristic equation of the model (1) are valid, and transfer function of the object can be set as the following:

$$W_{OV} = \frac{K}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}, \quad (4)$$

where $T_3 \approx 5$ c; $T_4 = 3$ c.

The law of controlling the main contour of the adaptive system is chosen to provide good (or optimum) quality of transfer processes at the

exit of the object (4). Fig. 4 demonstrates the block diagram of a control system where the main contour contains management object (4) and additionally two correcting devices W_{K1} и W_{K2} providing so-called aperiodic reaction [4] with reregulation being no more than 2% and preset time regulation.

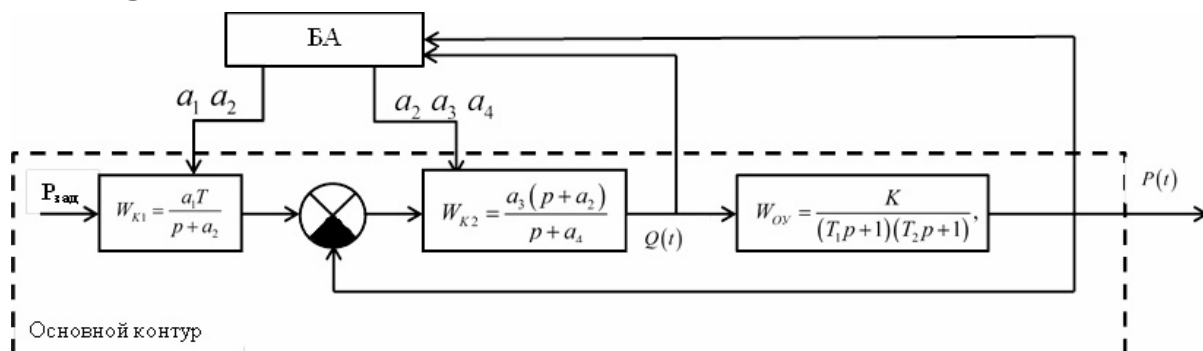


Figure 4– Block diagram of an adaptive control system

Setting parameters a_1, a_2, a_3, a_4 of correcting devices W_{K1} and W_{K2} is carried out at every period of quasi-steadiness in accordance with the estimates of model parameters of object K, T_1, T_2 . Thus, the following operations are periodically performed in the adaptation block (AB):

1. The functions of the spectral planes $S_P(\omega)$ и $S_Q(\omega)$ are calculated after fulfilling the processes $Q(t)$, $P(t)$ within the interval $0 \div T$.
2. The value of object transfer coefficient is estimated by $K = \bar{P} / \bar{Q}$.
3. The values of time constants T_1 и T_2 are calculated by solving an optimizing problem (3).
4. The parameters of the correcting devices a_1, a_2, a_3, a_4 providing aperiodic reaction in the main contour are calculated by applying a technique [4].

Conclusions

A linear structure of the model of a conical crusher KKD 1500/180 is stipulated based on the comparative analysis of correlation and dispersion functions of an object exit. The assessment of model parameters can be carried out based on estimating spectral density functions of a control object. A block diagram of adaptive system providing aperiodic reaction with reset regulation time is proposed.

REFERENCES

1. Automation of technological processes at mining enterprises: Recourse book (in Russian)/ under the editorship of V.S. Vinogradov. – Moscow.: Nedra, 1984. – 167 p.
2. Ventstel E.S. The theory of probability (in Russian)/ Ventstel E.S. – Moscow.: Nauka, 1969. – 576 p.
3. Gerasina A.V. Structural and parameter identification of the processes of ore breaking and reduction: monograph (in Russian)/ A.V. Gerasina, V.I. Kornienko ; – Dnipropetrovsk. :NMU, 2013. – 101 p.
4. Dorf R. Modern control systems (in Russian)/ Richard C. Dorf, Richard H. Bishop. Translation from English. – M.: Laboratory of basic knowledge, 2002. – 832 p.
5. Ilukhin A.V. Criteria choice of assessing quality characteristics of technological crushing processes (in Russian) / A.V. Iluhin, A.V.Kochetkov, Buoy Kong Tkhan, Peng Lin, V.S. Seleznyov // Web journal «Naukovedenie» Volume 7, № 5 (2015) [El. resource] : Available at <http://naukovedenie.ru/PDF/113TVN515.pdf> .
6. Novitsky I.V. Adaptive system of controlling the coarse crushing process. (in Russian)/ I.V. Novitsky, Y.A. Shevchenko I.V. // Mining electrical engineering and automation. – 2012. № 88 (31).– P. 55–58.
7. Reference book on the theory of automation. (in Russian) / Under the editorship of A.A. Krasovsky. – Moscow. : Nauka, 1987. – 712 p.

К.Ю. Островська, І.В. Стовпченко, А.І. Андреев
**РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІНТЕГРАЦІЇ
ІНТЕРНЕТ-КОНТЕНТУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ
КОНКУРЕНТНОГО СЕРЕДОВИЩА РИНКУ ПРАЦІ**

Анотація. Сформульовано критерії оцінювання систем інформаційного моніторингу, до яких належать як критерії функціональної частини, так і критерії оцінювання інтерфейсу. Спроектовано та розроблено повнофункціональну систему інформаційного моніторингу середовища ринку праці за обраною технологією, яка пропонується як вбудований модуль до сайту.

Ключові слова: інформаційний моніторинг, інтерфейс, Internet, ринок праці, модуль, контент.

У сучасних умовах в бізнесі істотне значення набуває аналіз можливих ситуацій, визначення їх тенденцій, оцінка можливих ризиків при прийнятті рішень. Недостатньо володіти інформацією у вигляді маркетингових досліджень або бізнес-довідок про підприємства потенційних партнерів і конкурентів. Важливість вирішення цих завдань стала причиною виникнення інформаційного моніторингу — інструменту інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень.

Сучасний ринок — це найвища ступінь ризику і жорстка конкуренція. Для того, щоб вижити і успішно функціонувати, потрібно оперативно реагувати на події і прораховувати свої дії на кілька кроків вперед, для чого потрібна інформація. Ефективним засобом отримання такої інформації є інформаційний моніторинг, який дозволяє вчасно отримувати потрібну інформацію, аналізувати її та приймати рішення.

У свою чергу для здійснення інформаційного моніторингу необхідною є система інформаційного моніторингу, яка використовує технології інтеграції Інтернет-контенту. Тож для вибору оптимальної системи необхідним є проведення комплексного аналізу усіх технологій інтеграції та обрання доцільнішої.

Концепції та методи аналізу

Основи процедури контент-аналізу було позроблено Гарольдом Ласвеллом. На сучасному етапі існує багато думок щодо почерговості етапів аналізу контенту та ступеня їх важливості.

Виділяють такі стадії аналізу:

1. Підготовка програми аналізу документів (завдання, гіпотези, поняття, об'єкт аналізу і тощо).

На цьому етапі, як правило, формулюється так звана емпірична теорія дослідження. Тобто, в ході підготовки до проведення аналізу, систематизуються гіпотези, існуючі в контексті даної проблематики та відкидаються ті з них, які не піддаються верифікації на даних інформаційного масиву.

2. Відбір джерел аналізу.

Необхідно визначити коло джерел, які містять у собі матеріали по заданій темі. Далі важливо встановити додаткові умови відбору матеріалу: визначити тип джерела (телебачення, преса, рекламні матеріали, радіо та тощо) Потім потрібно визначити вид повідомлення (публіцистичні статті в електронному або в друкованому вигляді, інформаційні замітки, рекламні плакати) роль агента комунікації (відправник або одержувач повідомлення). Визначаються мінімальні та максимальні границі об'єму тексту, їх протяжності, частота, час, місце і засіб трансляції повідомлень цільовій аудиторії. Існують і інші критерії відбору повідомлень, їх кількість і вибір варіюється залежно від поставлених завдань дослідження. Можна виділити такі проміжні етапи:

2.1. Визначення кола і обсягу документів, що є носіями необхідної інформації (найменування, періодичність виходу, період, тиражі);

2.2. Побудова вибірки: які документи та за якими критеріями будуть аналізуватись;

2.3. Перевірка побудови вибіркової сукупності;

3. Визначення емпіричних моделей аналізу, проведення вибірки (тобто підбір комунікаційних органів, вибір матеріалів за ті чи інші періоди часу, визначення видів повідомлень, типу вибірки);

У разі обмеженої кількості матеріалу по заданій темі, вибіркова сукупність може бути еквівалентна генеральній. Класичне трактування методу аналізу контенту передбачає можливість

скорочення вибіркової сукупності повідомлень при їх схожості й однорідності. Це допустимо, якщо обсяг генеральної сукупності дуже великий. Вибірка при дослідженні великих сукупностей даних випадкова. Безумовно, необхідно розрахувати її обсяг так, щоб вона залишалася репрезентативною, важливо визначити допустиму похибку вибірки. Варто додати, що часто обсяг вибіркової сукупності визначається дослідниками, виходячи з понять здорового глузду, доступності матеріалу, терміновості дослідження, а не розрахунком допустимої помилки вибірки та репрезентативності масиву джерел.

4. Розробка методики даного конкретного аналізу.

Можна виділити такі проміжні етапи:

- 4.1. Класифікація соціальних ситуацій відповідно досліджувальних проблем;
- 4.2. Визначення одиниць аналізу;
- 4.3. Перевірка надійності методики.
5. Пілотажне дослідження, перевірка надійності методики.
6. Збір первинної емпіричної інформації.
7. Кількісна обробка зібраних даних.
8. Інтерпретація здобутих результатів, висновки дослідження.

Вибір категорій аналізу

Категорія аналізу контенту — це поняття, яке показує один з аспектів загального напрямку конкретного дослідження документів.

Типовий комплекс контент-моніторингу містить такі автоматизовані підсистеми (рис. 1):

- збору і обробки інформації з мережі Інтернет;
- забезпечення доступу до повнотекстових баз даних;
- аналізу та узагальнення інформації.

У відповідності своєму основному призначенню, перша підсистема забезпечує:

- збір та обробку інформації з різноманітних веб-ресурсів та її форматування;
- виявлення ключових слів та понять;
- автоматичну рубрикацію;
- виявлення змістового дублювання документів;
- вибіркове розповсюдження інформації.



Головна задача другої підсистеми — формування баз даних та забезпечення доступу до неї користувачів, а саме:

- формування оперативних та ретроспективних баз даних;
- ротація баз даних;
- генерація вихідних форм;
- персоналізація роботи користувачів, збереження їх персональних запитів та джерел, ведення статистики роботи;
- забезпечення пошуку в базах даних;
- інформаційна взаємодія з базами даних інших підсистем.

Рисунок 1 - Основні технологічні процеси системи контент-моніторингу

Підсистема аналізу та узагальнення інформації забезпечує:

- формування інформаційних портретів та дайджестів;
- виявлення тематичних сюжетів та побудову таблиць взаємозв'язків понять;
- розрахунок рейтингів понять.

Загальна схема роботи аналізатора (парсера), до якого входить і синтаксичний, і лексичний аналізатор, зображена на рис. 2.

У системах інформаційного моніторингу більш вузько направленою характеру можуть використовуватися більш спрощені способи інтеграції контенту. Для того, щоб виділити в усьому об'ємі інформації потрібні дані використовується синтаксичний аналіз або його ще називають парсингом.

Синтаксичний аналізатор або парсер — це програма або частина програми, що виконує синтаксичний аналіз.

При парсингу вихідний текст перетворюється в структуру даних, зазвичай — в дерево, яке відображає синтаксичну структуру вхідної послідовності і добре підходить для подальшої обробки.



Рисунок 2 - Схема роботи аналізатора (парсера)

Алгоритми аналізу

Інформація, отримана за допомогою регулярних виразів, сортується і записується в базу даних. На екрані користувач системи бачить таблицю з отриманими результатами, в якій присутні колонки з назвою компанії, містом компанії-роботодавця (або декілька міст, якщо компанія має філії), заробітну плату в єдиному шаблоні (національна валюта), статі, посади, віком, освітою та досвідом роботи. Інформація представлена у зручному форматі і наочно демонструє ті чи інші дані по вакансіям.

Інтерфейс надає можливість отримати два типи звітів по результатам за вказаним запитом:

Звіт у вигляді графіків та діаграм, що будуються динамічним шляхом за допомогою спеціальних SQL-запитів та окремою бібліотекою Google Charts.

Звіт у вигляді Excel-файлу, в якому знаходяться оброблені дані, представлені у форматі електронних таблиць. Інформацію в цьому файлі зручно сортувати, фільтрувати та будувати власні звіти.

Для того, щоб побудувати графіки та діаграми, створені SQL-запити до бази даних результатів пошуку, результатом яких є правильна таблична структура, з якої формується асоціативний

масив засобами мови PHP. Асоціативний масив із цією структурою приводиться спеціальними функціями до коректного формату (правильність кодування, округлення дробових чисел) і передається бібліотеці Google Charts, що написана на мові JavaScript. Функції цієї бібліотеки отримують правильну структуру даних з асоціативного масиву і згідно цим даних будують певні графіки, діаграми та гістограми.

Для створення Excel-файлу з обробленими даними був написаний окремий скрипт на мові PHP, який отримує за допомогою SQL-запитів масив з інформацією та ітеративними методами достроково записує цю інформацію у файл. Після створення файлу система пропонує зберегти його на локальному комп'ютері.

Навігаційна схема системи інформаційного моніторингу ринку праці зображена на рис. 3.



Рисунок 3 - Навігаційна схема системи інформаційного моніторингу ринку праці

Висновки

1. Проаналізовано стан інформаційного моніторингу на сьогоднішній день, сфери його використання та його завдання. Його поділяють за сферами застосування, засобами, що використовуються для збору вихідної інформації, потенційними користувачами, засобами вимірів, способами поширення інформації, часом реалізації та широтою охоплення.

2. Проаналізовано та порівняно існуючі системи інформаційного моніторингу в мережі Інтернет, які є оптимальним рішенням завдання орієнтації в інформації з Інтернет в даний час є інформаційні мережеві служби нового типу. Але більшість із них платні та доволі дорогі, а ті, що безкоштовні — не досить

функціональні та усі вони направлені на моніторинг в основному новин та статей.

3. Сформульовано критерії оцінювання систем інформаційного моніторингу, до яких належать як критерії функціональної частини, так і критерії оцінювання інтерфейсу.

4. Спроектовано та розроблено повнофункціональну систему інформаційного моніторингу середовища ринку праці за обраною технологією, яка пропонується як вбудований модуль до сайту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Наталія Костенко, Валерій Іванов. Досвід контент-аналізу: моделі та практики: Монографія. — К.: Центр вільної преси, 2003. — 62 с.
2. Ахо А. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. Т. I. Синтаксический анализ. / А. Ахо, Дж. Ульман. — М.: Мир, 1978. — 650 с.
3. Ландэ Д.В. Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа / Д.В. Ландэ — М.: "Вильямс", 2005. — 272 с.
4. Мещеряков С.В. Эффективные технологии создания информационных систем. / С.В. Мещеряков, В.М. Иванов — СПб.: Политехника. — 2005. — 309 с.
5. Смит П. Коммуникации стратегического маркетинга / П.Смит, К. Берри. — М.: Юнити-Дана, 2001. — 282 с.

УДК 004.93

Э.А. Троценко, Н.А. Миняйло, С.А. Икол, П.Н. Веропотвелян

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БНТС В ДИСТАНЦИОННОМ РЕЖИМЕ ПРИ ПОМОЩИ ЖЕСТОВ

Аннотация. В статье рассматривается подход к построению системы управления беспилотным наземным техническим средством в дистанционном режиме при помощи выдачи жестов. Комплексно решены задачи по обработке видеопотока, сегментации изображений, детектированию движения и выделению объектов в зоне интереса, распознаванию человека-регулирующего. Представлена реализация логических моделей определения управляющих статических и динамических жестов на уровне программируемого логического контроллера.

Ключевые слова: беспилотное транспортное средство, система управления, регулировщик, жест, распознавание, логика, массив, временная булевая функция.

Введение. Одним из способов бесконтактного человеко-машинного взаимодействия (англ. Human-machine interface, HMI) является управление техническим средством в дистанционном режиме при помощи выдачи жестов.

Необходимость реализации данного режима для беспилотных наземных технических средств (БНТС) обоснована управлением машинами в сложных условиях при совершении маневров в ограниченном пространстве, например, на стоянках, в укрытиях (гаражах), при погрузке/разгрузке транспортных средств и т. д. Также при перемещении БНТС по дорогам общего пользования необходимо решать задачу распознавания и определения типов жестов, которые могут выдаваться регулировщиками дорожного движения.

Использование БНТС в аварийно-спасательных подразделениях Министерства чрезвычайных ситуаций и в военной отрасли предполагает движение машин в режиме «тишины», когда выдавать звуковые, световые или другие виды сигналов запрещено или затруднительно.

Поэтому единственным интерфейсом человеко-машинного взаимодействия остаются жесты.

Состояние вопроса. Развитие направления создания беспилотных технических средств и оснащения их различными видами сенсорных устройств предполагает также использование современных подходов в распознавании объектов и их положения в пространстве, построенных на методах и алгоритмах, использующие разные математические аппараты. При решении задач распознавания жестов рук выделяют три основных подхода [1-3].

В основе скелетных методов обычно используются алгоритмы поиска границ объектов с целью определения замкнутого контура. При анализе формы контуров в данном случае учитываются углы, выступы, впадины и другие точки с высокими значениями кривизны. После определения контура объекта строится скелет и находятся опорные точки, за перемещение которых в дальнейшем следит система [1-3].

Более сложными являются методы построения 3D моделей рук в виде трехмерных поверхностей и их классификации с помощью нейронных сетей.

Метод 2D распознавания жестов рук схож с предыдущим, но вместо объемных моделей использует построение двумерных изображений.

На основе разработанных методов на сегодняшний день созданы практические приложения, наиболее значимыми из которых считаются [4]:

- программные библиотеки Kinect SDK (Microsoft), OpenNI/NITE (PrimeSense), PMD SDK и SoftKinetic IISU для распознавания ключевых точек тела человека посредством применения трехмерных сенсоров;
- сенсоры компаний LeapMotion, SoftKinetic для распознавания ключевых точек руки человека;
- компьютерные приложения Flutter, PointGrab HGRS, XTR3D, EyeSight PC для управления компьютером посредством простых жестов рук.

Несмотря на наличие разносторонних подходов к решению задач распознавания жестов, каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Применение подхода построения 3D моделей и

обучение нейронной сети предполагает получение информации со стереокамер с возможностью определения глубины изображения, а также требует значительных ресурсов для выполнения расчетных задач, что усложняет его использование в системах реального времени. Чаще всего используют 2D методы, т.к. для их реализации достаточно информации, поступающей с монокамеры и в результате упрощения расчетных задач снижается вычислительная мощность и скорость обработки данных. При этом, данные методы считаются менее точными и требуют поиска путей усовершенствования алгоритмов распознавания как динамических, так и статических жестов рук.

Таким образом, актуальной является задача создания новых комплексных подходов, методов и алгоритмов распознавания жестов, которые бы также могли учитывать высокую чувствительность изображений, получаемых с видеокамер, к изменениям освещённости, сложность в подборе адаптивных алгоритмов сегментации, частичную потерю данных при бинаризации изображений, а также решать поставленные задачи за минимально возможный период времени.

Постановка задачи. Разработать систему управления (СУ) БНТС в дистанционном режиме при помощи выдачи жестов человеком-регулирующим. При этом обработку видеoinформации с целью распознавания объектов выполнять на уровне ЭВМ, а определение самих жестов, формирование и выдачу управляющих воздействий на исполнительные устройства БНТС осуществлять на уровне программируемого логического контроллера (сокр. ПЛК; англ. programmable logic controller, сокр. PLC).

Основная часть. На первом этапе проектирования системы управления БНТС в дистанционном режиме выдачи жестов была разработана функциональная схема (рис.1).

Предложенная структура СУ включает в себя три базовых узла: персональный компьютер (сокр. РС; англ. personal computer) РС-бокс и два программируемых логических контроллера: PLC1, PLC2. РС-бокс принимает и обрабатывает информацию от системы ориентации БНТС в пространстве, сенсорных устройств ближнего и дальнего действия, а также через каналы связи обменивается данными с устройствами дистанционного управления. PLC1 выполняет функции принятия решения по управлению движением БНТС. Сформированные управляющие воздействия передаются на приводы исполнитель-

ных механизмов транспортного средства. В качестве обратной связи на контроллер поступают сигналы о положении всех механических устройств, входящих в состав БНТС. Второй PLC2 выполняет обработку информации с радаров, установленных спереди и сзади БНТС.

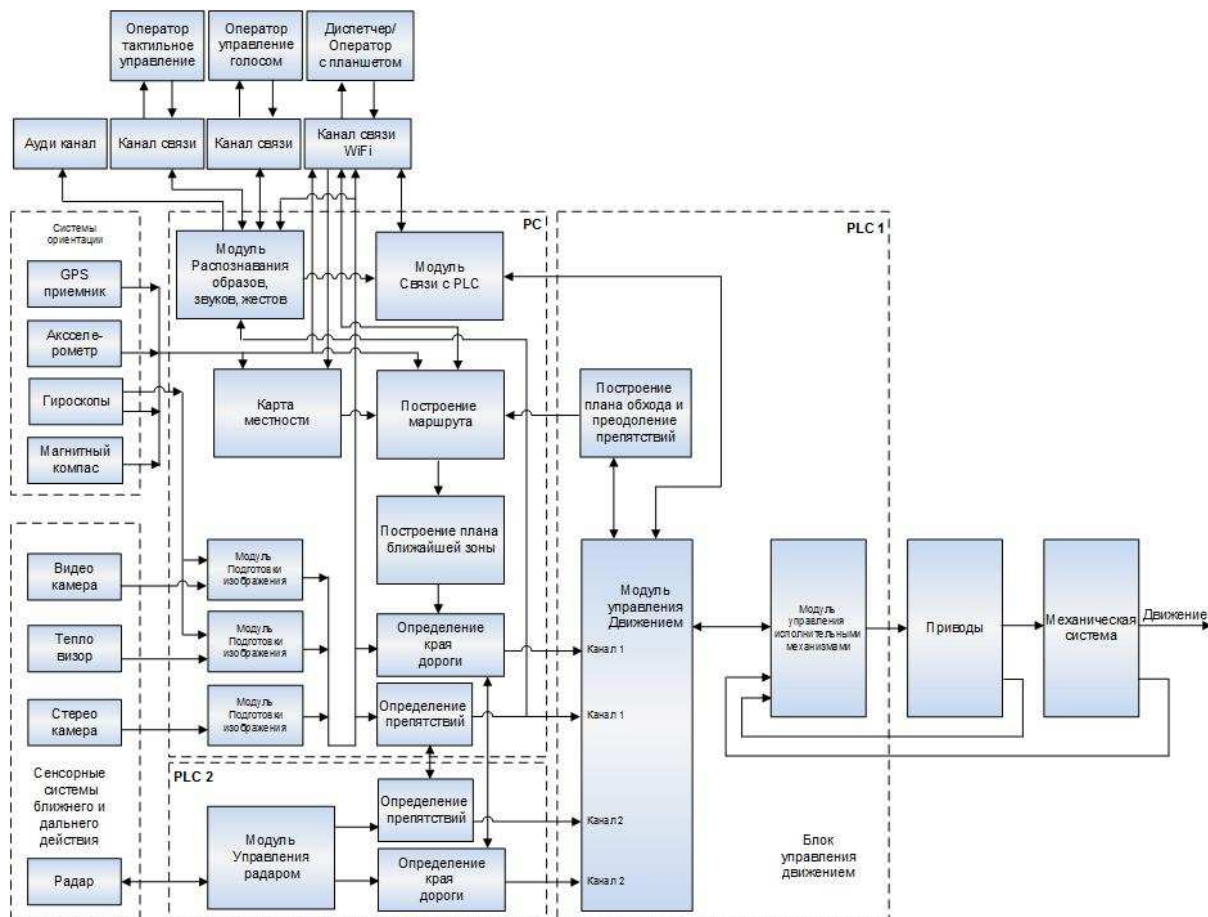


Рисунок 1 – Функциональная схема управления движением БНТС

Как говорилось ранее, одним из необходимых режимов управления движением БНТС является дистанционная выдача команд при помощи жестов человеком-регулирующим. Переключение СУ БНТС в данный режим может осуществляться диспетчером/оператором с РС планшета либо в условиях автономного движения по сигналу наличия человека-регулирующего от программного модуля распознавания препятствий.

Выбор сигналов управления БНТС, подаваемых снаружи руками, основывался на общепринятых правилах управления машинами на стоянках, для постановки их в укрытие, при погрузке и т. д. В качестве основных приняты команды «Внимание», «Заводи», «Глуши двигатель», «Вперед», «Направо», «Налево», «Меньший ход», «Стоить», «Задний ход» (таблица 1).

Типы и коды жестов для управления БНТС

Жест													Произвольное положение рук
Имя	Нет фигуры	Ожидание	Внимание	На лево	На право	Заводи	Меньше ход	Стой	Глуши двигатель	Ко мне вперед	Задний ход	Идентификация человека	Ошибка жест
Код F_	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	FF

Исходя из правил подачи каждого из жестов их можно разделить на простые и комплексные, а также на статические и динамические [2]. Статические жесты характеризуются четкой фиксацией по времени крайних положений рук. Динамические жесты выполняются непрерывно на протяжении всего времени их выдачи, или до момента пока они не будут приняты системой для выполнения.

Согласно принятым правилам, управление движением машины при помощи жестов должно осуществляется человеком-регулирующим, находящимся на расстоянии не ближе, чем 5м от транспортного средства. Для исключения вероятности выдачи команд управления посторонним человеком, а также человеком находящимся на опасном расстоянии от машины, в системе введено понятие «зоны интереса» (рис.2). Эта область пространства, которая ограничивается расстоянием до БНТС от 5 до 10 метров. Также принято, что выдавать команды в виде жестов может человек, находящийся ближе всего к оптической оси видеокамеры, т.е. попадающий в область на изображении $A_1A_2D_2D_1$.

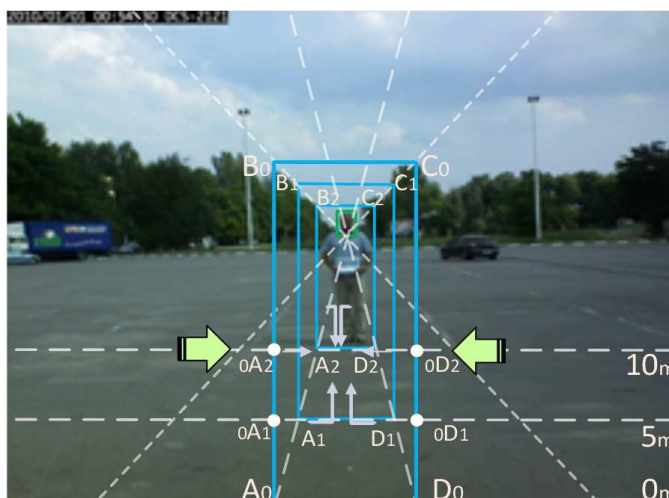


Рисунок 2 – Определение на изображении «зоны интереса»

Для выполнения функций по распознаванию положения человека-регулировщика на уровне PC-box разработано программное обеспечение, которое включает два основных модуля: модуль определения зоны интереса и распознавания движущихся объектов в данной области (рис.3), а также модуль построения и анализа изменения полей динамической сетки с целью формирования битового массива для дальнейшего определения типа жеста (рис.4).



Рисунок 3 – Структурная схема программного модуля определения зоны интереса и распознавания движущихся объектов

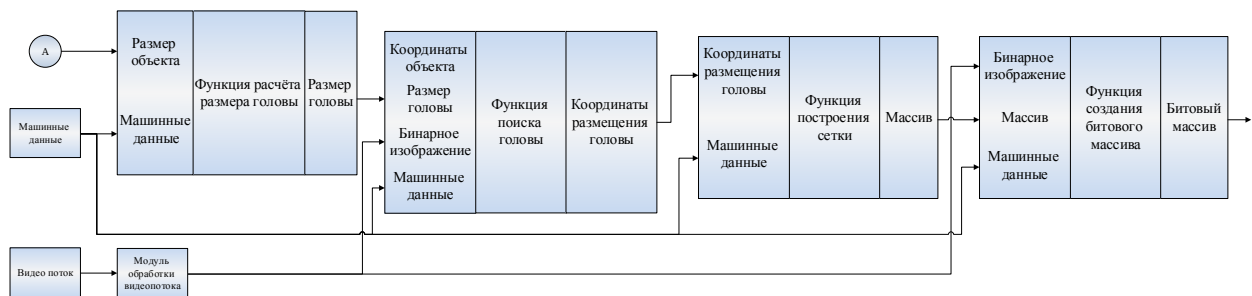


Рисунок 4 – Структурная схема программного модуля построения и анализа изменения полей динамической маски и формирования битового массива

Исходными данными для модуля определения зоны интереса и распознавания движущихся объектов в данной области являются параметры фокальной плоскости и вес пикселей в видеокдрах, которые рассчитываются на основании данных о расположении камеры и ее технических характеристиках.

Для построения зоны интереса вначале производится расчет ее ширины A_0D_0 и с учетом особенностей построения изображений оптической системой, ее проекция A_2D_2 на расстоянии A_0A_2 , D_0D_2 . Определение координат точек A_1, A_2, D_2 и D_1 позволяет получить уравнение двух прямых A_0A_2 , D_0D_2 , которые ограничивают зону интереса справа и слева.

Поскольку координата Y меняется дискретно (координаты нижней и верхней границ строки виртуальной сетки), находятся координаты столбцов, которые будут принадлежать прямым A_0A_2, D_0D_2 .

Используя уравнения прямых A_0A_2, D_0D_2 , проходящих через координаты нижних и верхних точек, ограничивающих зону безопасности, и зная координаты, ограничивающие высоту каждой строки, определяются координаты крайних левых и правых ячеек сетки (рис.5а). Далее для всей «зоны интереса» строится статическая сетка (рис.5б), которая для расчетов представляется как массив данных $B(i,j)$.



Рисунок 5 – Определение зоны интереса (а) и разбиение ее на отдельные области (б)

Распознавание движущихся объектов в области интереса происходит на основании бинарного изображения и анализа изменения степени заполнения отдельных ячеек сетки белыми пикселями (рис.6):

$$B(i, j) = \begin{cases} 1, & R_{ij} > 20\%; \\ 0, & R_{ij} < 20\%, \end{cases} \quad (1)$$

где $B(i,j)$ – i,j -ая ячейка сетки; R_{ij} – суммарное количество белых пикселей в i,j ячейке сетки, pix .

Если $B(i,j)=1$, то система выполняет анализ наличия таких же ячеек в соседних областях сетки по 8-ми направлениям относительно первой найденной заполненной ячейки. Поиск объекта продолжается до тех пор, пока по тем же направлениям будут найдены области с $R_{ij}<20\%$. По координатам крайних ячеек строится прямоугольная об-

ласть, в которой был определен объект и рассчитываются ее параметры: R^x_{object} , R^y_{object} – координаты (x, y) верхней левой точки; w – ширина прямоугольника (объекта), pix ; h – высота прямоугольника объекта, pix (рис.6.).

В качестве исходной информации для модуля построения динамической сетки является бинарное изображение и параметры области, в которой определен человек-регулирующий (рис.6).

Принцип построения динамической сетки основан на физиологических особенностях строения тела человека и пропорциях его фигуры [6]. Обычно за единицу измерения человеческого тела принимается «длина головы». Рост человека в среднем равен 7,5 – 9 длины головы, ширина в плечах – 2 длины [6].

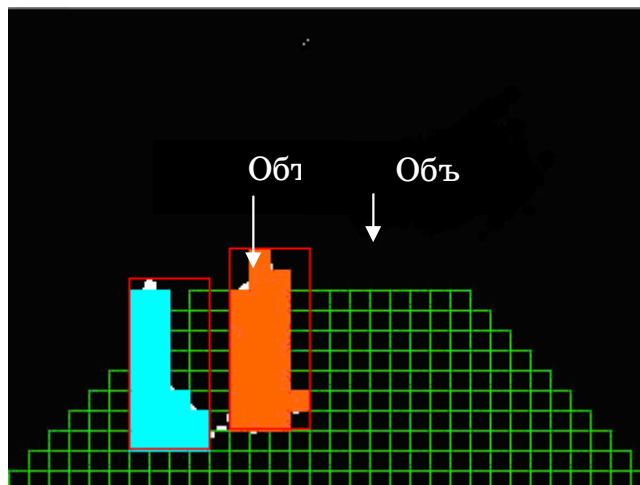


Рисунок 6 – Результат обработки изображения модулем определения зоны интереса и распознавания двух движущихся объектов

При управлении БНТС в режиме выдачи жестов в качестве регулировщика может быть человек любого телосложения, поэтому на начальном этапе в разработанной системе предусмотрена функция инициализации его параметров. Уточнение пропорций человека выполняется на основе информации об изменении ширины (w) и высоты (h) области, в которой определен регулировщик, при исходном его положении (рис.7а), в момент максимального размаха рук в сторону (рис. 7б) и при поднятии рук вверх (рис. 7в):

$$w = \max\{w_1, w_2, \dots, w_n\}; \quad h = \max\{h_1, h_2, \dots, h_n\} \quad (2)$$

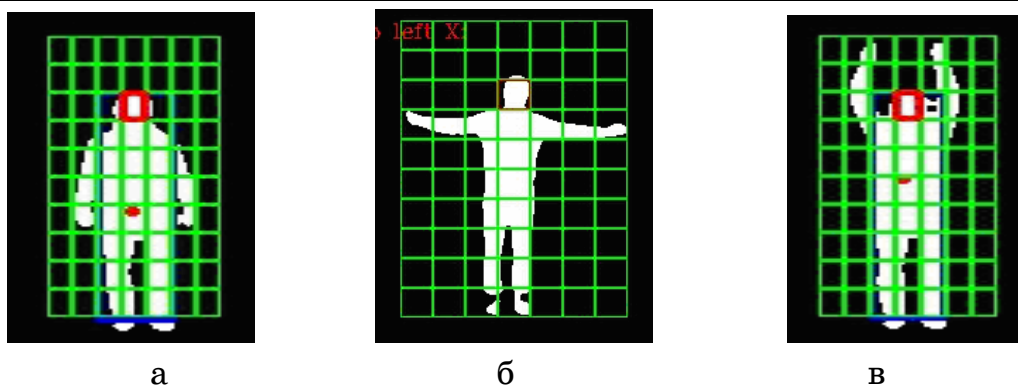


Рисунок 7 – Основные этапы инициализации пропорций регулятора: а – исходное положение человека; б – положение человека с максимальным размахом рук в сторону; в – положение человека с максимально поднятыми руками вверх

В разрабатываемом подходе за базовую точку расчета построения динамической сетки выбрано расположение головы человека. Данное решение обосновывается следующими положениями:

- голова является неотъемлемой частью человека;
- высота и ширина человека пропорционально соотносится с размерами головы;
- регулятор выдает жесты в положении стоя-прямо, что обуславливает нахождение головы в верхней части туловища;
- голова имеет наименьшую степень свободы перемещения по сравнению с руками и ногами.

Поиск расположения головы регулятора начинается с определения точки, которая соответствует середине туловища (рис.7а). Координаты данной точки на первом этапе рассчитываются по формулам:

$$P_{center}^x = \frac{R_{object}^x + w}{2} ; \quad (3)$$

$$P_{center}^y = \frac{R_{object}^y + h}{2} , \quad (4)$$

где P_{center}^x и P_{center}^y – координаты середины объекта; R_{object} , $R_{yobject}$ – координаты вершины прямоугольника описывающего объект; h , w – высота и ширина прямоугольника, px .

В связи с тем, что человек в выделенной области может располагаться не по центру, производится уточнение его ширины и высоты

относительно найденной точки (P_{center}^x и P_{center}^y). Для этого в направлении вправо и влево производится анализ бинарного изображения и находятся координаты крайних точек туловища человека P_{right}^x, P_{right}^y и P_{left}^x, P_{left}^y . Далее уточняются координаты середины объекта:

$$P_{centerObj}^x = \frac{P_{right}^x - P_{left}^x}{2}; \quad (5)$$

$$P_{centerObj}^y = P_{center}^y. \quad (6)$$

Аналогичным путем выполняется уточнение координат точки ($P_{centerObj}^x$ и $P_{centerObj}^y$) по оси ОУ, в результате анализа бинарного изображения вверх и вниз (рис.7в). После уточнения расположения туловища человека находим координаты соответствующего ему прямоугольника:

$$R_{human}^x = P_{right}^x; \quad (7)$$

$$R_{human}^y = P_{top}^y; \quad (8)$$

$$w_{human} = P_{right}^x - P_{left}^x; \quad (9)$$

$$h_{human} = (R_{object}^y + h_{object}) - P_{top}^y, \quad (10)$$

где R_{human}^x, R_{human}^y – координаты верхней левой вершины прямоугольника; w_{human} – ширина прямоугольника, рix; h_{human} – высота прямоугольника, рix; P_{top}^y – координата ОУ верхней точки объекта.

Исходя из указанных ранее пропорций человека, голова соответствует области размером:

$$w_{head} = \frac{w}{7}; \quad (11)$$

$$h_{head} = \frac{h}{9}, \quad (12)$$

где w_{head} – ширина области головы, рix; h_{head} – высота области головы, рix.

Поиск координат головы производится в 1/7 верхней части прямоугольника R_{human} , вдоль координатной оси ОХ :

$$R_{head}^x = \begin{cases} R_{human}^x + \left(\frac{w_{human}}{2} - \frac{w_{head}}{2} \right), & \max = R_{head}^1 \\ R_{head}^x - w_{head}, & \max = R_{head}^2 \\ R_{head}^x + 2w_{head}, & \max = R_{head}^3 \end{cases}, \quad (13)$$

где $R_{head}^1, R_{head}^2, R_{head}^3$ – степень заполнения области головы белыми пикселями при расположении прямоугольника R_{head} в 1, 2 и 3 позиции соответственно; $\max = \max \{R_{head}^1, R_{head}^2, R_{head}^3\}$ – максимальное значение степени заполнения области головы белыми пикселями относительно трех позиций прямоугольника.

Поскольку анализ проводится вдоль оси ОХ, то во всех случаях координата по ОУ равняется $R_{yhead} = R_{yhuman}$.

Далее относительно найденных координат расположения области головы регулировщика строится динамическая сетка (рис.7), которая представляет собой двумерную матрицу, каждый элемент которой является прямоугольником на изображении:

$$A = \begin{pmatrix} R_{1A} & R_{1B} & \dots & R_{1G} \\ R_{2A} & R_{2B} & \dots & R_{2G} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{9A} & R_{9B} & \dots & R_{9G} \end{pmatrix} \quad (14)$$

Формирование из матрицы (14) битового массива для контроллера осуществляется согласно формуле:

$$C(i, j) = \begin{cases} 1, & R_{ij} > 20\% \\ 0, & R_{ij} < 20\% \end{cases} \rightarrow$$

	A	B	C	D	E	F	G
1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	1	1	0
3	0	0	0	1	1	1	0
4	0	0	1	1	1	0	0
5	0	0	1	1	1	0	0
6	0	0	1	1	1	0	0
7	0	0	1	1	1	0	0

Распознавание типа жеста на уровне контроллера осуществляется в результате последовательной обработки бинарных массивов, которые поступают с PC-box. Каждый жест описан логической моделью на основе временных булевых функций и состояний [7]. Например, для жеста «Стой» определено три состояния: S0 – исходное положение регулировщика, руки опущены вниз; S1 – второе состояние, левая рука поднята вверх; S3 – исходное положение, руки опущены вниз, но в отличие от S0 данному состоянию должно обязательно

предшествовать состоянию S_1 (рис.6б). В модели учитывается также время перехода из одного состояния в другое (t_1 , t_2):
 $S_0 \xrightarrow{t_1} S_1 \xrightarrow{t_2} S_2$.

Для учета возможных вариаций положения рук относительно туловища в момент выдачи жестов в каждом состоянии рассматривается несколько комбинаций по схеме «ИЛИ». При описании логики обработки массивов жеста «Стой» в состоянии S_1 за истинное значение принимается любая из следующих комбинаций заполнения «1» ячеек сетки: $(E_4, E_3, E_2) \mid (E_4, F_3, F_2) \mid (E_4, E_3, F_2)$ (рис.8а).

В логических моделях комплексных динамических жестов учитывается также то, что регулировщик может повторять некоторые положения рук (состояния) N -ое количество раз.

Программная реализация логики распознавания статических и динамических жестов выполнена с применением стандартных функциональных блоков (Function blocks – FB) языка STEP 7.

Каждому жесту в соответствие поставлен код (таблица 1), на основании которого формируется набор управляющих команд и выполняется передача их на исполнительные устройства БНТС.

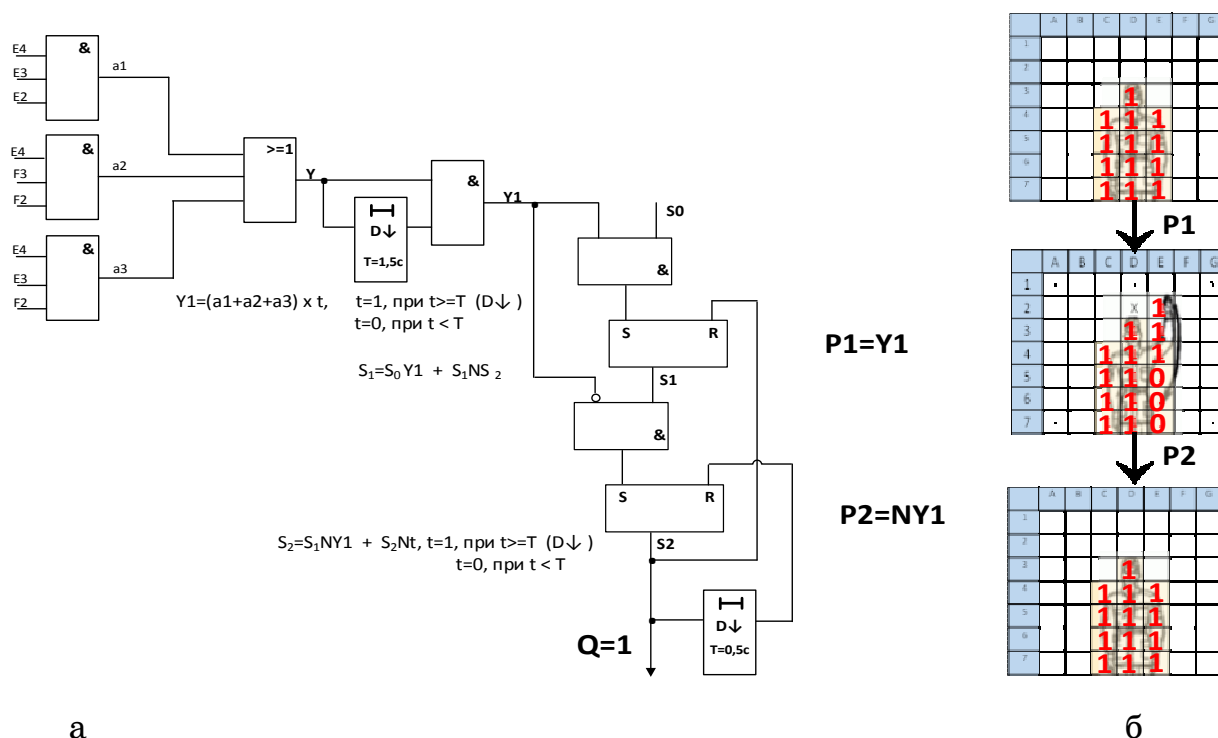


Рисунок 8 – Жест «Стой»: а – логика обработки данных с помощью временных булевых функций; б – соответствие позиций регулировщика состояниям и бинарным массивам

Разработанная система управления БНТС с помощи жестов тестировалась в условиях дневного освещения, когда информация об окружающем пространстве поступает через видеопоток стереокамеры и в ночное время, когда основным источником данных является видео с тепловизора (рис.9а,б). Отличительной особенностью работы с видеоизображениями различных сенсорных систем является процедура предварительной обработки кадров и применение алгоритмов сегментации изображений, а представленное в работе комплексное решение задач построения зоны интереса, выделения человека-регулирующего и распознавания жестов остается для всех условий одинаковым (рис.9в-д).

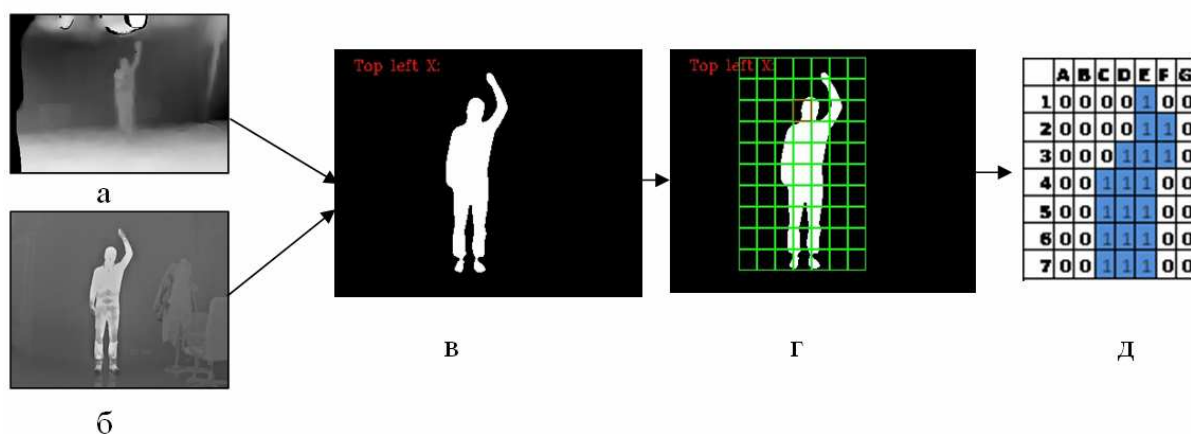


Рисунок 9 – Результаты работы программного обеспечения на уровне PC-box: а – исходное изображение со стереокамеры; б – исходное изображение с тепловизора; в – бинарное изображение; г – построение динамической сетки; д – сформированный массив данных для уровня PLC.

Таким образом, предложенный подход к распознаванию команд человека-регулирующего на уровне логических функций позволил распределить задачи между базовыми узлами системы управления БНТС, повысить скорость обработки данных, формирования и выдачи управляющих команд, что особенно актуально при управлении движущимся транспортным средством.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мурлин А.Г. Алгоритм и методы обнаружения и распознавания жестов руки на видео в режиме реального времени / А.Г. Мурлин, Д.Л. Пиотровский, Е.А. Руденко, М.В. Янаева [Электронный ресурс] // Научный журнал КубГАУ – 2014. – № 97(03). – С.284 – 293. // Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/20.pdf>.
2. Антощук С.Г. Людино-машинний інтерфейс на основі розпізнавання жестів /С.Г. Антощук, О.С. Яровенко [Електронний ресурс]// Електромашинобудування та електрообладнання. – 2010. – № 76. – С. 15-20. // Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2010_76_5.
3. Кладов С.А. Распознавание жестов / С.А. Кладов, О.В. Rogozin [Электронный ресурс] // Молодежный научно-технический вестник. Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". – 2013. – № 05. // Режим доступа: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/568859.html>
4. Нагапетян В.Э. Методы распознавания жестов руки на основе анализа дальностных изображений: дис. канд. физ.-матем. наук: 05.13.17 / Нагапетян Ваагн Эдвардович. Российский университет дружбы народов – Москва, 2013. — 117 с.
5. Fast and Accurate Hand Pose Detection for Human-Robot Interaction / Luis Antyn-Canalns, Elena Sónchez-Nielsen, Modesto Castrillyn Santana // IbPRIA – 2005. – S. 553-560.
6. Хамм Д. Как рисовать голову и фигуру человека [Текст] / Джек Хамм. – Минск, 2007. – 126 с.
7. Поляков В.Е. Теоретические основы построения логической части релейной защиты и автоматики энергосистем [Текст] / Поляков В.Е., Жуков С.Ф., Троценко А.А. и др.; Под ред. В.Е. Полякова. – М.: «Энергия». – 1979. – 240с.

УДК 621.774.35

В.Ф. Балакин, И.А. Соловьева, Ю.Н. Николаенко, А.А. Байримов

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ
И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РАСЧЕТА МАРШРУТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ
ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ ОПРАВОЧНЫМ ВОЛОЧЕНИЕМ**

Аннотация. Разработан экспертный и учебный программный комплекс, содержащий теоретический материал по всем видам волочения с методиками, алгоритмами, чертежами, 3-D моделями, базами данных оборудования и их параметров и всеми необходимыми расчетами для действующих волочильных производств, проектирования новых участков волочения.

Ключевые слова: волочение, методика расчетов, алгоритм, компьютерная программа, расчет параметров, технологическая карта, длинная оправка, волочение на короткой оправке, волочение на самоустанавливающейся оправке.

Постановка проблемы. Холодное волочение труб – многопроходный процесс, цикличность которого и параметры каждого прохода устанавливаются конечными размерами необходимой трубы и начальными размерами заготовки. При волочении труб используется ряд вспомогательных операций: травление, термообработка, нанесение технологических смазок, подсмазочных и консервационных покрытий, обезжиривание и т.д. Расчет маршрутов и технологических карт – сложный и долгий процесс, допущение ошибок в котором может привести к повышенному количеству брака, либо невозможности изготовить трубу по заданному маршруту. Использование специализированного программного обеспечения при проектировании маршрутов и технологических карт позволяет упростить и ускорить этот процесс, просчитать все возможные варианты маршрутов и выбрать самый оптимальный.

Основные публикации и научные исследования по теме [1-5] направлены на усовершенствование технологии, разработку математических моделей процессов. На настоящий момент комплексного

программного обеспечения, включающего методики, расчеты маршрутов, проектирование технологических карт и 3-Dмоделей процессов и оборудования не существует.

Целью научной работы был анализ технологии производства труб волочением на оправках, а также различных методик расчета маршрутов и технологических карт. На основании анализа теоретических и практических данных разработан алгоритм и компьютерная программа, предназначенная для расчета основных параметров, маршрутов и технологических карт волочения на оправках.

Технологическая карта – нормативный документ, в котором содержатся необходимые данные о производстве труб, т.е. параметры трубы, коэффициент вытяжки, типоразмер стана, промежуточные операции, длина труб и их масса, а также потери по массе после каждой промежуточной операции производства труб.

На кафедре технологического проектирования НМетАУ проведены работы по исследованию параметров деформации, используемых маршрутов и технологических карт при производстве труб волочением из различных марок сталей. Марки стали с близкими деформационными свойствами были объединены в группы. Для всех, используемых на предприятиях Украины, марок сталей были установлены максимально допустимые обжаты по диаметру, аппроксимированные математическими моделями.

В разработанной программе рассчитываются размеры заготовки, инструмента, напряжение в трубе, вышедшей из волоки и необходимое тяговое усилие стана. Напряжение в трубе сравнивается с предельно допустимым для выбранной марки стали и, если возможен обрыв, программа сообщает об этом пользователю. Кроме этого рассчитывается необходимое тяговое усилие стана и программа сообщает, какой стан подойдет для осуществления процесса. На рисунках 1-3 представлены окна разработанной программы.

Технологічні розрахунки процесу оправочного волочіння труб

Головна | Проміжні дані | Розрахунок розмірів волоки

Маршрути: 103x9 > 92x6

Марка сталі: 20

Тип мастила: Мильний порошок

Кут нахилу стінки волоки: 13°

Тип оправки

- ☐ Довга
- ☒ Коротка
- ☐ Самовстановлювальна

Сброс

Розрахунок

OK

Вихід

Дані для розрахунків

	[D]	[S]	
Заготовка	114	7.5	м
Труба	92	6	м

Розрахунок розмірів заготовки

За експериментальними даними

За пропорційністю

Кінцеві дані

Напруження, яке виникне у кінці труби, який вийшов з волоки, становлює **148,84** МПа

Мінімальне тягове зусилля, яке необхідне для волочіння, становлює **200,55** кН

Для здійснення процесу з такими параметрами, підійде стан, зусиллям **300** кН та більше

Коефіцієнт витягу (μ) **1.54**

Процес волочіння пройде нормально.

Технологічні розрахунки процесу оправочного волочіння труб

Головна | Проміжні дані | Розрахунок розмірів волоки

Параметри для побудовання моделі

Dв =	130	мм
dв =	91.9	мм
dвнх =	95	мм
h =	10	мм
h1 =	6	мм
hк =	10	мм
hб =	45	мм
ϕ =	13	°

Побудувати модель

Загальний вигляд тривимірної моделі

Ізометрія

Перетин

Закрити

Рисунок 1 – Окна программы со всеми входными параметрами, расчетом и данными расчетов для проектирования волоки

Методики розрахунків

Силкові параметри | Розр. p-рів заготовки за методикою І.А. Соловйової | Розр. p-рів заготовки за пропорційністю | Розрахунок розмірів волоки

Розрахунок розмірів заготовки по методикі І.А. Соловйової

Перший етап розрахунку – перевірка дотримання граничних умов, тобто оцінюється приналежність розміру, що аналізується (D , t) області оправочного волочіння

$$\begin{cases} 0,5 \leq t \leq 13 \\ 15 \leq D \leq 102 \\ t \leq 0,26 \cdot D \\ t \geq 0,013 \cdot D - 0,014 \end{cases}$$

При розрахунках розмірів заготовки використовуються коефіцієнти, отримані експериментальним методом, які приведені у таблиці 1 (для волочіння на короткій нерухомій оправці) і у таблиці 2 (для волочіння на самовстановлювальній оправці). Розміри заготовки для волочіння на оправці повинні задовольняти наступним умовам:

$$\begin{cases} t_0 = \min \left\{ t + \Delta t_{\max}; t \cdot \left(\frac{t_0}{t} \right)_{\max} \right\} \\ D_0 = \min \left\{ D + \Delta D_{\max}; D \cdot \left(\frac{D_0}{D} \right)_{\max} \right\} \\ \frac{t_0 (D_0 - t_0)}{t (D - t)} \leq \mu_{\max} \end{cases}$$

Таблиця 1 – Допустимі параметри деформації при волочінні труб на короткій нерухомій оправці

Група сортamentу	ΔD , мм	D_0 / D	Δt , мм	t_0 / t	$\mu_{\max}$
Ст. 10 – 20, 15Х – 20Х, 20А по ДСТУ 8734-75	19	1,5	1,2	1,5	1,8
Ст. 35 – 45 по ДСТУ 8734 – 75, 10 – 20 по ТУ 14 – 3 – 134 – 75	19	1,45	1,2	1,5	1,75
Ст. 30ХГСА по ДСТУ 6734 – 75, 35 – 45 по ТУ 14 – 3 – 134 – 75	15	1,36	1	1,4	1,6
Ст. 20К, 15ХМ, 12ХМФ, 38ХА, 38ХС, 30ХМА, 12ХНЗА, 40ХНМА, 40ХН2МА	15	1,3	1	1,35	1,55

Таблиця 2 – Допустимі параметри деформації при волочінні труб на короткій самовстановлювальній оправці

Група сортamentу	ΔD , мм	D_0 / D	Δt , мм	t_0 / t	$\mu_{\max}$
Ст. 10 – 20, 15Х – 20Х, 20А по ДСТУ 8734-75	22	1,6	1,5	1,7	2,1
Ст. 35 – 45 по ДСТУ 8734 – 75, 10 – 20 по ТУ 14 – 3 – 134 – 75	22	1,5	1,5	1,7	1,9
Ст. 30ХГСА по ДСТУ 6734 – 75, 35 – 45 по ТУ 14 – 3 – 134 – 75	15	1,5	1,3	1,7	1,9
Ст. 20К, 15ХМ, 12ХМФ, 38ХА, 38ХС, 30ХМА, 12ХНЗА, 40ХНМА, 40ХН2МА	15	1,4	1,1	1,4	1,7

Технологічна карта

Проектування технологічної карти виробництва труб оправочним волочінням

Операція	Обладнання	Параметр 1	Параметр 2	Параметр 3	Параметр 4	Параметр 5
1. Забивка голівки	Кувальна машина AVS-25 MB	0	0	0	0	0
2. Термообробка	Газова роликівка прохідна піч без з/а, 5 т/ч с D<=50мм L<=10м	0	0	0	0	0
3. Травлення	Ванна для серносоляного розчину	1	50	3	1	1
4. Міднення	Ванна для розчину, що омідняє	0	0	0	0	0
5. Змащування	Ванна з мастилом для волочіння до 6м	50	50	3	1	1
6. Сушка труб	Установка для сушки труб завдовжки до 5м	50	50	3	1	1
7. Волочіння	Стан трьохнітковий волочильний зусиллям 50 кН	0	0	0	0	0
8. Різання і торцювання	Трубообрізний станок 9A11M	1	50	3	1	1
9. Обрізання голівки	Алігаторні ножиці	50	50	3	1	1
10. відсутнє						
11. відсутнє						
12. відсутнє						
13. відсутнє						
14. відсутнє						
15. відсутнє						
16. відсутнє						

Сортування обладнання:

Стандартні технологічні карти:

Без термообробки	3 термообробкою	На готовий розмір	Карта 4
Карта 5	Карта 6	Карта 7	Карта 8

Параметри вибору: Σ , AVG, X, min, max

Рисунок 2 – Окна програми з методиками расчетов, используемых в программе и проектированием технологической карты



Рисунок 3 - Окно программы - Модель цеха

Выводы. Программный комплекс содержит теоретический материал с методиками, алгоритмами, чертежами, 3-D моделями, базами данных оборудования и их параметров и всеми необходимыми расчетами (рис.4) для действующих производств, проектирования новых участков волочения и использования комплекса в учебных целях, как электронное учебное пособие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева И.А. Разработка многовариантной технологии, исследование и внедрение рациональных режимов производства холоднодеформированных труб. – Дис. на соиск. ст. к. т. н. - Днепропетровск, 1987.
2. Кучеренко В.Р., Кондратьев Е.В., Соловьева И.А. Анализ существующих режимов деформации при волочении и разработке рекомендаций по их оптимизации: Отчет о НИР – ДМетИ, – Днепропетровск, - 1976. – 91 с.
3. В.Ф.Балакин, И.А. Соловьева, О.В. Сергеева, А.С. Голубицкий, Н.А.Кащенко. Проектирование маршрутов безоправочного волочения на основе уточненной математической модели. //Теория и практика металлургии. №1-2, 2012 .-С.60-64.
4. Анализ на ПЭВМ маршрутов волочения, холодной прокатки и прессования труб / А.А. Богатов, Н.А. Смирнов, В.В. Харитонов, Г.А. Орлов, А.В. Тропотов – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ–УПИ, 2005. – 31 с.
5. Стасовский Ю.Н., Гаврюшов А.А. Современный уровень техники технологии для производства труб волочением на короткой закрепленной оправке // Металлургическая и горнорудная промышленность - 2012 - № 7. - 208-215с.

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВИБРОАКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМА УДЕРЖАНИЯ СТЕРЖНЯ ОПРАВКИ ПРОШИВНОГО СТАНА

Аннотация. Приведены результаты параметрической идентификации виброактивности опорных узлов центрователей механизма удержания стержня оправки на выходной стороне прошивного стана трубопрокатного агрегата на основе данных об экспериментальных исследованиях, амплитудно – частотных характеристиках механизмов и информации о параметрах самой стержневой системы. Установлено, что динамика стержня механизма удержания оправки и его подсистем имеют ступенчатую форму и колебания могут быть описаны матрицами диссипации системы и квазиупругими коэффициентами опорных механизмов. Определены коэффициенты дифференциальных уравнений движения механической системы, которые являются базовыми для выбора конструктивных параметров опорных механизмов и узлов центрователей стержня оправки прошивного стана. Показано, что высокая точность построения математической модели динамической системы обеспечивается на стадии проектирования опорных механизмов центрователей выходной стороны прошивного стана выбором параметров всех вспомогательных подсистем.

Ключевые слова: прошивка, динамика, колебания, стержень, оправка, центрователь, дифференциальное уравнение, идентификация, математическая модель.

Построение рациональной математической модели отдельных сложных механических систем, к которым относится тяжелонагруженное оборудование выходной стороны прошивного стана трубопрокатного агрегата (ТПА) представляет комплексную задачу.

Корректный подход и дальнейшее решение задачи о параметрической идентификации динамической модели механизма удержания оправки трубопрокатного агрегата с учетом многофакторных технологических и динамических воздействий может быть осуществлено,

от простого к сложному, путем поэтапной оценки параметров рассматриваемой механической системы (рис.1) [1, 2] .

Анализ динамического состояния оборудования выходной стороны прошивных и раскатных станов, как правило, сводится к исследованию линейной и нелинейной моделей системы удержания оправки. Систему удержания стержня оправки с опорными механизмами центрователей представляем в виде сложной многорядной механической системы со ступенчатым расположением подсистем, соединенных упруго-фрикционными, упруго-вязкими элементами или их произвольными сочетаниями (рис. 2) [3, 4].

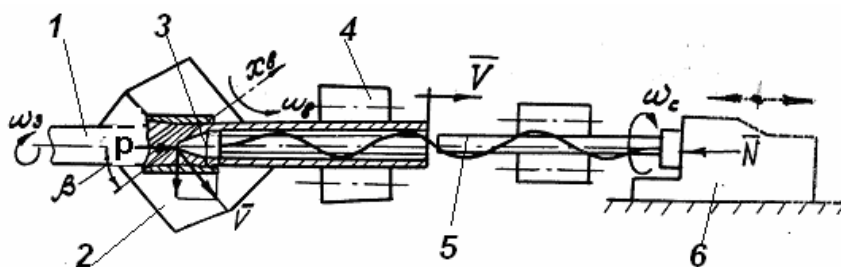


Рисунок 1 – Схема процесса прошивки трубной заготовки на прошивном стане ТПА: 1 – трубная заготовка; 2 – рабочий валок; 3 – оправка; 4 – центрователь; 5 – стержень оправки; 6 – упорно – регулировочный механизм

Рассмотрим задачу о построении динамической и математической моделей механизма удержания стержня оправки прошивного стана с рядом расположенными опорными механизмами (центрователями) на основании данных, полученных экспериментальным путем. Для решения задачи параметрической идентификации в первом приближении проанализируем колебания только тех подсистем опорных механизмов центрователей стержня оправки, которые связаны между собой механической связью типа «упруго – вязко – фрикционные» элементы.

В соответствии с рассматриваемой расчетной схемой стержневая система стана в продольном направлении подвергается воздействию осевой составляющей усилия прошивки $\bar{P}(t)$ и подвижной нагрузки прокатываемой трубы интенсивности $\bar{q}_0$.

В рамках рассматриваемой модели и расчетной схемы подсистема механизма удержания стержня оправки, имеющая $n(0)$ степеней свободы, соединена S связью типа «упруго – вязко – фрикционные»

элементы опорных узлов центрователей и упорно-регулирующего механизма со станиной выходной стороны прошивного станок ТПА.

Для простоты решения задачи предположим, что демпфирование колебаний механизма удержания оправки в подсистеме имеет форму ступенчатого расположения и может быть описано известными методами. Отметим, что в этом случае, согласно [1, 2], матрицы диссипации и квазиупругих коэффициентов для механической системы пропорциональны друг другу.

Тогда дифференциальные уравнения, описывающие колебания опорных узлов центрователей механизма удержания стержня оправки представим в виде:

$$\begin{aligned}
 m_k(0)\ddot{q}_k + \left[1 + \alpha(0)\frac{d}{dt}\right] \sum_{n=1}^{n(0)} C_{kn}(0)q_n(0) = \\
 = \sum_{\lambda=1}^S \delta^0(\lambda) [q_0(\lambda) - q_\lambda(0)]k + \beta [\dot{q}_0(\lambda) - \dot{q}_\lambda(0)] + \\
 + H \operatorname{sign}[\dot{q}_0(\lambda) - \dot{q}_\lambda(0)] ; \\
 k = \left[1, n(0)\right],
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $q_k(\lambda)$ – перемещение точки k – ой подсистемы (центрователя с номером λ ; $m_k(0)$ и $C_{kn}(0)$ – соответственно инерционные и квазиупругие коэффициенты подсистем центрователей механизма удержания стержня оправки; $\alpha(0)$ – коэффициент пропорциональности; δ^0 – символ Кронкера; k, β, H – соответственно параметры жесткости, вязкого и сухого трения опорных механизмов, значения которых следует определить для оптимального проектирования параметров и расположения центрователей стержня оправки вдоль оси прокатки трубы.

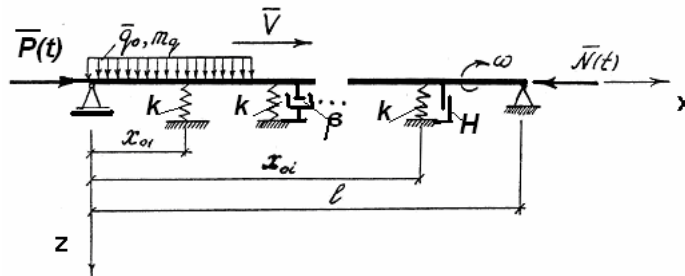


Рисунок 2 – Расчетная схема прошивного и раскатного стана

В первом приближении решения поставленной задачи параметры подсистем центрователей выходной стороны и опорных механизмов системы приняты равными.

Умножая систему дифференциальных уравнений (1) на матрицу взвешенных векторов для упругих систем механизма удержания стержня оправки, запишем:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_j(0) + \alpha(0) \cdot \nu_j(0) \cdot \dot{q}_j(0) + \nu_j(0) q_i = \\ + \sum_{\lambda=1}^s \gamma_{\lambda j}(0) [k(q_0(\lambda) - q_\lambda(0))] + \beta [\dot{q}_0(\lambda) - \dot{q}_\lambda(0)] + \\ + H \operatorname{sign} [\dot{q}_0(\lambda) - \dot{q}_\lambda(0)]; \\ \left[\overline{j=1, n(0)} \right]. \end{aligned} \quad (2)$$

Необходимо отметить, что матрица собственных векторов для системы удержания стержня оправки прошивного стана нормирована таким образом, чтобы коэффициенты обобщенных масс системы в уравнениях (2) были равны единице.

Для случая, когда в системе непропорциональны жесткости опорных узлов, колебания механизма удержания стержня оправки следует разложить в ряд Фурье по процедуре, согласно [5, 7], используя комплексные собственные векторы.

Используя результаты работ [6, 8] установившееся движение k -ой массы опорных механизмов (центрователей) рассматриваемых подсистем можно представить следующим образом:

$$q_k(\lambda) = A_k(\lambda) \cos[\omega t + \mu_k(\lambda)], \quad (3)$$

где $A_k(\lambda)$ – амплитуда; $\mu_k(\lambda)$ – начальная фаза колебаний механической системы.

Подставляя (3) в уравнения (2), более проанализируем слагаемое, содержащее параметр трения опорных механизмов центрователей механизма удержания стержня оправки.

Далее, разложив полученное в ряд Фурье и ограничиваясь первой гармоникой колебательной системы, имеем следующее:

$$\begin{aligned} H \operatorname{sign} [\dot{q}_0(\lambda) - \dot{q}_\lambda(0)] = \\ = H \operatorname{sign} [A_k(0) \omega \sin[\omega t + \mu_\lambda(0)]] - \\ - A_0(\lambda) \omega \sin[\omega t + \mu_0(0)] = \\ = \frac{4H}{\pi} \sin[\omega t + \psi(\lambda)], \end{aligned} \quad (4)$$

где $\psi(\lambda) = \arctg \left[\frac{A_\lambda(0) \sin \mu_\lambda(0) - A_0(\lambda) \sin \mu_0(\lambda)}{A_0(\lambda) \cos \mu_\lambda(0) - A_0(\lambda) \cos \mu_0(\lambda)} \right]$.

Следовательно, уравнение (3) с учетом выражений (4) можно записать в следующей форме:

$$\ddot{q}_j(0) + \alpha(0) \nu_j(0) \cdot \dot{q}_j(0) + \nu_j(0) \cdot q_j(0) = G_j \sin(\omega t) + D_j \cos(\omega t), \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} G_j &= \sum_{\lambda=1}^s Y_{\lambda j}(0) \left[R(A_\lambda(0) \sin \mu_\lambda(0) - A_0(\lambda) \sin \mu_0(\lambda)) + \right. \\ &\quad \left. + \beta \omega (A_\lambda(0) \cos \mu_\lambda(0) - A_0(\lambda) \cos \mu_0(z)) + \frac{4H}{\pi} \cos \psi(\lambda) \right]; \\ D_j &= \sum_{\lambda=1}^s Y_{\lambda j}(0) \left[R(A_0(\lambda) \cos \mu_0(\lambda) - A_\lambda(0) \cos \mu_\lambda(0)) + \right. \\ &\quad \left. + \beta \omega (A_\lambda(0) \sin \mu_\lambda(0) - A_0(\lambda) \sin \mu_0(z)) + \frac{4H}{\pi} \sin \psi(\lambda) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Частное решение системы дифференциальных уравнений (2) представим в виде:

$$q_j(0) = P_j \cdot \sin(\omega t) + Q_j \cdot \cos(\omega t), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{где } P_j &= \left[G_j \cdot (\nu_j(0)^2 - \omega^2) + D_j \cdot \alpha(0) \nu_j(0) \omega \right] / R_j; \\ Q_j &= \left[D_j \cdot (\nu_j(0)^2 - \omega^2) - G_j \cdot \alpha(0) \nu_j(0)^2 \omega \right] / R_j; \\ R_j &= \left[\nu_j(0)^2 - \omega^2 \right]^2 + \alpha(0)^2 \nu_j(0)^2 \cdot \omega^2. \end{aligned} \quad (8)$$

В дальнейшем построим решение задачи параметрической идентификации математической модели механизма удержания стержня оправки в принятых для механической системы обобщенных координатах.

Последовательно проанализируем вышеприведенную математическую модель процесса параметрической идентификации механизма удержания стержня оправки. Следовательно, для этого запишем выражение, определяющее перемещения основных масс системы (масс присоединенных опорных механизмов центрователей с учетом соответствующих масс подвижных узлов и оборудования выходной стороны прошивного стана ТПА) в виде

$$\begin{aligned}
q_{\lambda}(0) &= A_{\lambda}(0) \cos(\omega t) \cos \mu_{\lambda}(0) - A_0(\lambda) \sin(\omega t) \sin \mu_0(\lambda) = \\
&= \sum_{j=1}^{n(0)} Y_{\lambda j}(0) [P_j \sin(\omega t) + Q_j \cos(\omega t)], \\
&\quad [\lambda = \overline{1, S}].
\end{aligned} \tag{9}$$

Особенности нагружения строжневой системы со стороны очага деформации определяются, как уже отмечалось, условиями реализации технологических процессов прошивки трубной заготовки, что является основным источником вынужденных колебаний стержня механизма удержания оправки. Динамические процессы заключаются преимущественно в гармоническом возмущении всех подсистем выходной стороны прошивного стана. Характер возмущений в данном случае имеет экспериментальный вид и подчиняется закону $e^{i\omega t}$ [2, 4].

При этом необходимо отметить, что в задаче параметрической идентификации рассматриваемой континуальной системы, согласно [8] имеет место

$$\begin{cases} A_k(\lambda) \cos \mu_k(0) = \operatorname{Re} W_k(\lambda); \\ A_k(\lambda) \sin \mu_k(0) = \operatorname{Im} W_k(\lambda). \end{cases} \tag{10}$$

Здесь $W_k(\lambda)$ – частотная характеристика соответствующей k – ой точки стержня оправки, соединенной с опорными узлами подсистем центрователей механизма удержания строжневой системы вдоль оси прокатки трубы по всей выходной стороне прошивного стана.

Приравнивая соответствующие множители при гармонических составляющих $\sin(\omega t)$ и $\cos(\omega t)$ в уравнениях (9), с учетом выражений (10) имеем систему уравнений следующего вида

$$\begin{cases} \ell(\lambda)k + f(\lambda)\beta + u(\lambda)H = -\operatorname{Im} W_{\lambda}(0), \\ V(\lambda)k + Y(\lambda)\beta + Z(\lambda)H = \operatorname{Re} W_{\lambda}(0), \\ \quad [\lambda = \overline{1, S}]. \end{cases} \tag{11}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
\ell(\lambda) &= \sum_{j=1}^{n(0)} Y_{\lambda j}(0) \left[\Omega_j \sum_{\ell=1}^S Y_{\ell j}(0) \operatorname{Im} \Delta W_{\ell 0} - \right. \\
&\quad \left. - Q_j \sum_{\ell=1}^{n(0)} Y_{\ell j}(0) \operatorname{Re} \Delta W_{\ell 0} \right] / R_j;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V(\lambda) = & - \sum_{j=1}^{n(0)} Y_{\ell j}(0) \left[\Omega_j \sum_{\ell=1}^s Y_{\ell j}(0) \operatorname{Re} \Delta W_{\ell 0} + \right. \\
& \left. + Q_j \sum_{\ell=1}^s Y_{\ell j}(0) \operatorname{Im} \Delta W_{\ell 0} \right] / R_j; \\
u(\lambda) = & \frac{4}{\pi} \sum_{j=1}^{n(0)} Y_{\lambda j}(0) \left[\Omega_j \sum_{\ell=1}^s Y_{\ell j}(0) \cdot \cos \psi(\ell) + \right. \\
& \left. + Q_j \sum_{\ell=1}^s Y_{\ell j}(0) \sin \Psi(\ell) \right] / R_j; \\
Z(\lambda) = & \frac{4}{\pi} \sum_{j=1}^{n(0)} Y_{\lambda j}(0) \left[\Omega_j \sum_{\ell=1}^s Y_{\ell j}(0) \cdot \cos \psi(\ell) - \right. \\
& \left. - Q_j \sum_{\ell=1}^s Y_{\ell j}(0) \sin \Psi(\ell) \right] / R_j; \\
V(\lambda) = & \omega \ell(\lambda); \quad f(\lambda) = -\omega V(\lambda); \\
\Omega_j = & v_j(0)^2 - \omega^2; \quad Q_j = \alpha(0) v_j(0)^2 \omega; \\
\Delta W_{\ell 0} = & W_{\ell}(0) - W_0(\ell).
\end{aligned}
\tag{12}$$

Система линейных уравнений (11) для механизма удержания стержня оправки, представляет коэффициенты k , β , H – соответствующие характеристикам опорных механизмов центрователей.

Таким образом, для определения параметров математической модели виброактивности центрователей стержня оправки необходима и достаточна минимальная экспериментальная информация о параметрах самой стержневой системы и частотных характеристиках опорных механизмов центрователей оборудования выходной стороны, с помощью которых подсистемы динамической модели объединяются в целостную систему.

Однако, как показывают результаты экспериментальных исследований [5, 7] и тестовые расчеты, качественная идентификация параметров всей системы по соответствующим частотным характеристикам не достигается ввиду того, что наблюдаются противоречивые движения опорных узлов центрователей стержневой системы. Это говорит о необходимости целенаправленного уточнения математической модели в рамках рассматриваемой задачи. Очевидно, при этом необходим переход к рассмотрению многомерной задачи и анализу пара-

метрической идентификации нелинейной динамической модели механизма удержания стержня оправки.

К изучению особенности динамики механизма удержания стержня оправки следует перейти путем параметрической идентификации системы с нелинейной жесткостью опорных механизмов центрователей.

Предлагаемый подход весьма удобен для исследования динамических особенностей механизма удержания стержня, представляющего сложную континуальную систему с многочисленными изменяющимися параметрами. При этом необходимо и достаточно иметь ряд достоверных экспериментальных данных о виброактивности механизма удержания стержня прошивного стана ТПА.

Определение оптимальных, в математическом смысле, коэффициентов дифференциальных уравнений является базовым для выбора конструктивных параметров опорных механизмов и узлов центрователей стержня оправки при реализации необходимых технологических процессов на прошивном стане ТПА.

Например, для оборудования выходной стороны прошивного стана ТПА 140 анализ полученных решений и выбор параметров подсистем центрователей стержневой системы механизма удержания оправки удобно осуществлять на основе данных экспериментальных исследований, приведенных ранее в работе [5].

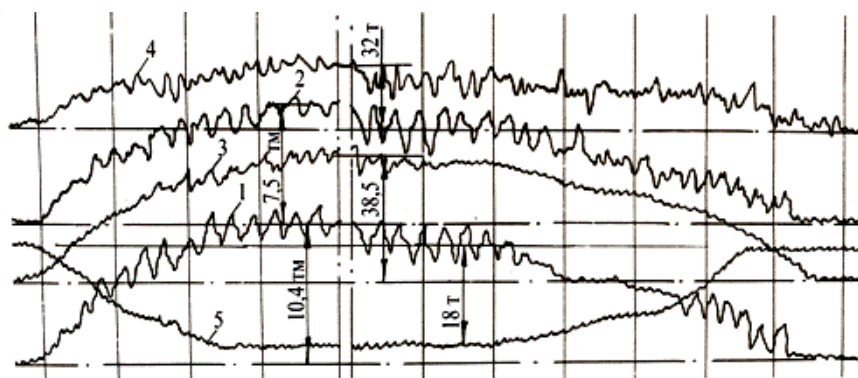


Рисунок 3 – Осциллограмма экспериментальных исследований прошивного стана ТПА 140: 1 – момент сил упругости на нижнем шпинделе привода валков; 2 – момент сил упругости на верхнем шпинделе привода валков; 3, 4 – давление металла на валки; 5 – усилие на стержень оправки (интервал времени 0,1с)

Пусть поведение стержневой системы при прошивке трубных заготовок на прошивном стане описывается дифференциальным урав-

нением второго порядка с переменными коэффициентами и правой частью, согласно [7] в виде:

$$m(t)\ddot{T}(t) + \beta(t)\dot{T}(t) + c(t)T(t) = X(t),$$

где $m(t) = 1 + \sin^2(Vt/l)$ – переменная масса системы с присоединенными опорными механизмами; $\beta(t) = (Vt/l)\sin(2Vt/l)$ – параметр демпфирования опорных механизмов стержневой системы и упорно-регулирующего механизма; $c(t) = \omega_0^2 - (Vt/l)^2 \sin(Vt/l)$ – переменная жесткость механической системы; $X(t) = \frac{2P}{m_0 l} \sin(Vt/l)$ – силы, действующие на стержневую систему с опорные механизмы в процессе прошивки трубной заготовки; V – скорость прошивки заготовки или раскатки гильзы; l – базовая длина стержня оправки; P – осевая составляющая усилия прошивки; m_0 – погонная масса стержня; ω_0 – частота свободных колебаний системы

Сравнительные результаты параметрической идентификации систем прошивного стана представлены в таблице 1

Таблица 1

Результаты идентификации динамической модели механизма удержания стержня оправки прошивного стана ТПА140

Наименование стана ТПА-140	Параметры рассматриваемой модели							
	$m(t), кг$		$\beta(t), кН с / м$		$C(t) \cdot 10^3, кН / м$		$X(t), кН$	
	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.	Расч.	Эксп.
Прошивной стан	376,2	347,4	127,8	105,4	75,3	77,4	570,2	524,5

В таблице приведены данные параметров рассматриваемых моделей для маршрута прокатки труб Ш133Ч8 из стали 20. Анализ таблицы показывает, что параметрическая идентификация математической модели виброактивности стержневой системы достоверна для выбранных динамических моделей выходной стороны прошивного станок ТПА 140.

Анализ полученных результатов показывает, что погрешности соответствующих коэффициентов системы дифференциальных уравнений рассматриваемой системы (аналитических решений) и идентифицируемой модели в пределах 7 – 10%. Это вполне допустимо для

тяжелонагруженных сложных механизмов и систем, к которым относятся механизм удержания стержня оправки прошивного стана ТПА 140.

Располагая требуемыми параметрами, полученными экспериментальным путем для оборудования выходной стороны прошивного стана, и феноменологической моделью областей желаемых состояний механической системы на основании вышеприведенных результатов можно создать эффективные конструкции опорных механизмов центрователей стержня оправки, удовлетворяющие всем необходимым требованиям.

Особенно удобно пользоваться разработанной моделью параметрической идентификации при выборе основных параметров автоматизированной системы стабилизации виброактивности оборудования выходной стороны, согласно существующей технологической схеме прокатки труб на прошивном стане ТПА.

Выводы

1. Построена метаматематическая модель механизма удержания стержня оправки прошивного стана путем параметрической идентификации виброактивности опорных механизмов центрователей выходной стороны прошивного стана.

2. Определены параметры математической модели центрователей стержня оправки на базе экспериментальной информации о виброактивности самой стержневой системы и частотно – амплитудных характеристиках опорных механизмов центрователей оборудования выходной стороны.

3. Установлено, что демпфирование колебаний механизма удержания оправки в подсистемах выходной стороны стана имеет форму ступенчатого расположения. При этом решение задачи представлено матрицами диссипации и квазиупругими коэффициентами системы.

4. Определены коэффициенты дифференциальных уравнений, которые являются базовыми для выбора конструктивных параметров опорных механизмов и других узлов центрователей стержня оправки прошивного стана.

5. Высокая точность построения математической модели динамической системы обеспечивается на стадии проектирования опорных

механизмов (центрователей) выходной стороны выбором параметров всех вспомогательных подсистем прошивного стана ТПА.

6. Выявлено, что при противоречивых движениях опорных узлов центрователей стержневой системы (когда происходит резкий отрыв опорных роликов от стержня оправки) качественная идентификация модели механической системы по соответствующим частотным характеристикам не достигается, что требует уточнения постановки и решения задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н. Технология трубного производства. Учебник для вузов. /В.Н. Данченко, А.П. Коликов, Б.А. Романцев, С.В. Самусев // . – М.: Интермет - Инжиниринг, 2002. – 640 с.
2. Потапов И.Н., Полухин П.И. Новая технология винтовой прокатки. – М.: Металлургия, 1975. – с. 344.
3. Оклея Л.Н. Качество горячекатаных труб. М.: Металлургия, 1986. – с. 144.
4. Лордкипанидзе Д.Л., Чхартисвили И.В. Исследование колебаний стержня стана винтовой прокатки. Сообщение Академии Наук Грузинской ССР, вып. 88, №1, 1977. С. 145 – 148.
5. Рахманов С. Р. Динамика стержневой системы механизма удержания оправки прошивного стана трубопрокатного агрегата. Материалы Международной конференции «Современные направления производства сварных и бесшовных труб из черных и цветных металлов», Днепропетровск. – 2007. С. 45 – 51
6. Вибрации в технике. Справочник в 6-ти томах. Том 3 /под ред. Ф.М. Диментберга. К.С. Колесникова. – М.: Машиностроение, 1980. – 544 с.
7. Тавхелидзе С.И. и др. Устойчивость стержней станов винтовой прокатки под действием осевых сил. Сообщение Академии Наук Грузинской ССР, вып. 73, №2, 1974, С. 135 – 139.
8. Справочник по специальным функциям. /Под ред. М.А Абрамовича и И.Стиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.

НАДБУДОВА MS EXCEL ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ

Анотація. Виконано розробку надбудови Excel (XLA), яка може бути використана для аналізу даних в електронних таблицях. Модулі надбудови надають можливість перегляду даних, експоненціального згладжування, нелінійного перетворення Бокса-Кокса та згладжування даних з використанням алгоритмів цифрової фільтрації. Алгоритми реалізовані в окремих вікнах, надбудова має зручний інтерфейс. Проведено перевірку роботи модулів.

Ключові слова: MS Excel, надбудова, часові ряди, експоненційне згладжування, перетворення Бокса-Кокса, КІХ-фільтри.

Постановка проблеми

Табличний процесор Microsoft Excel широко використовується для вирішення різноманітних задач, в тому числі і при дослідженні часових рядів та прогнозуванні. Функції, які вбудовані в MS Excel, можуть бути також поширені за допомогою модулів, які надаються в табличний процесор у вигляді нових надбудов [1]. Excel, як і інші програмні пакети, використовує роботу з надбудовами дуже широко, тому що надбудови поширюють можливості основних пакетів.

Актуальність розробки такого програмного забезпечення обумовлена, з одного боку, розповсюдженням MS Excel і зручністю його використання, а з другого - відсутністю низки вбудованих функцій, які необхідні для аналізу часових рядів.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи було поширення можливостей електронних таблиць MS Excel при вирішенні задач аналізу часових рядів, а саме, додавання модулів експоненційного згладжування, перетворення Бокса-Кокса та згладжування цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) у вигляді надбудови Excel.

Основна частина

Надбудова MS Excel, яку розроблено, містить кілька модулів для аналізу часових рядів. На рисунку 1 представлено діаграму UML, на який показані алгоритми модулів.

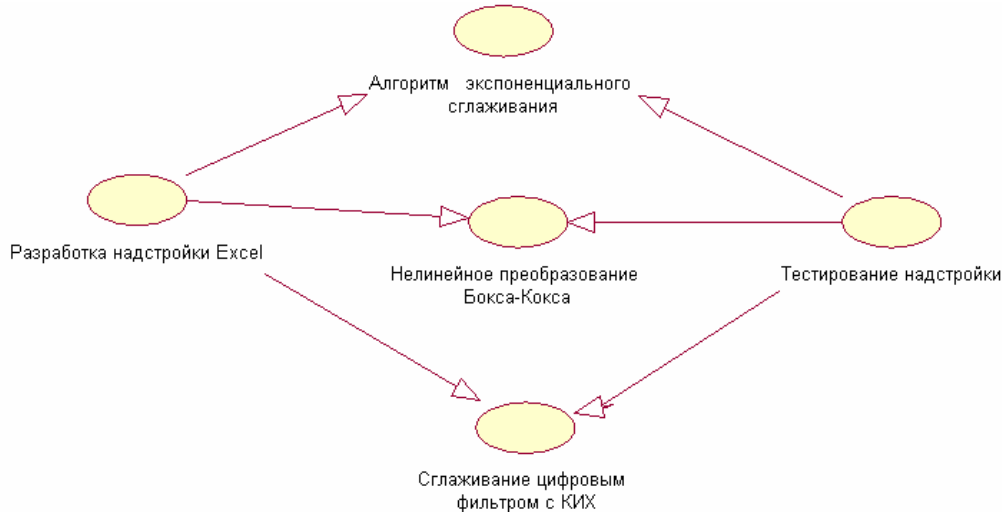


Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання для надбудови Excel

Проведено розробку модулів експоненційного згладжування, нелінійного перетворення Бокса-Кокса та згладжування цифровим фільтром. При розробці надбудови використано C++ Builder, Visual Basic for Application (VBA), MS Excel.

У роботі [2] представлені попередні результати розробки надбудови MS Excel. Продемонстровано структуру надбудови як програмного засобу та зовнішній інтерфейс. Наведено приклади аналізу часових рядів методом експоненційного згладжування, та перетворенням Бокса-Кокса. В наступній роботі для дослідження часових рядів доданий модуль згладжування з використанням КІХ- фільтрів.

Розглянемо згладжування шляхом лінійної фільтрації даних цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою. Лінійну фільтрацію доцільно проводити також і у частотній області [3,4], де можливо виявити періодичні коливання даних.

Нехай $X=\{x_1, x_2, x_3 \dots x_N\}$ – часовий ряд (сигнал), який надано, $Y=\{y_1, y_2, y_3 \dots y_N\}$ – часовий ряд (сигнал) після згладжування.

Згортка сигналу має вигляд

$$y(n) = \sum_{m=0}^{\infty} h(n-m)x(m) = \sum_{m=0}^{\infty} h(m)x(n-m),$$

де m - затримка послідовності, $h(n)$ – імпульсна характеристика (ІХ).

$H(z)$ — z -зображення ІХ, $h(n)$ — обчислюється за формулою

$$H(z) = \sum_{n=0}^{\infty} h(n) z^{-n}.$$

Передавальна функція $H(z)$ дорівнює

$$H(z) = Y(z)/X(z).$$

де $X(z)$, $Y(z)$, — z - зображення сигналу до- і після обробки.

Нехай $H(e^{j\hat{\omega}})$ - Фур'є - зображення ІХ $h(n)$, де $\hat{\omega}$ — нормована частота.

Для частотної характеристики $H(e^{j\hat{\omega}})$ і передавальної функції $H(z)$ справедливо співвідношення

$$H(e^{j\hat{\omega}}) = H(z) \Big|_{z=e^{j\hat{\omega}}}$$

Таким чином, маємо змогу проводити аналіз даних у частотній області.

У модулі надбудови реалізовано кілька варіантів згладжування сигналу. До простих алгоритмів згладжування належать 15 і 21 точкова формула згладжування по Спенсеру. Використані формули згладжування за методом найменших квадратів, які отримані при проведенні параболи через кілька рівновіддалених значень $X(k)$, з подальшим використанням в якості згладженої величини значення параболи в середній точці (фільтри Савицького-Голєя).

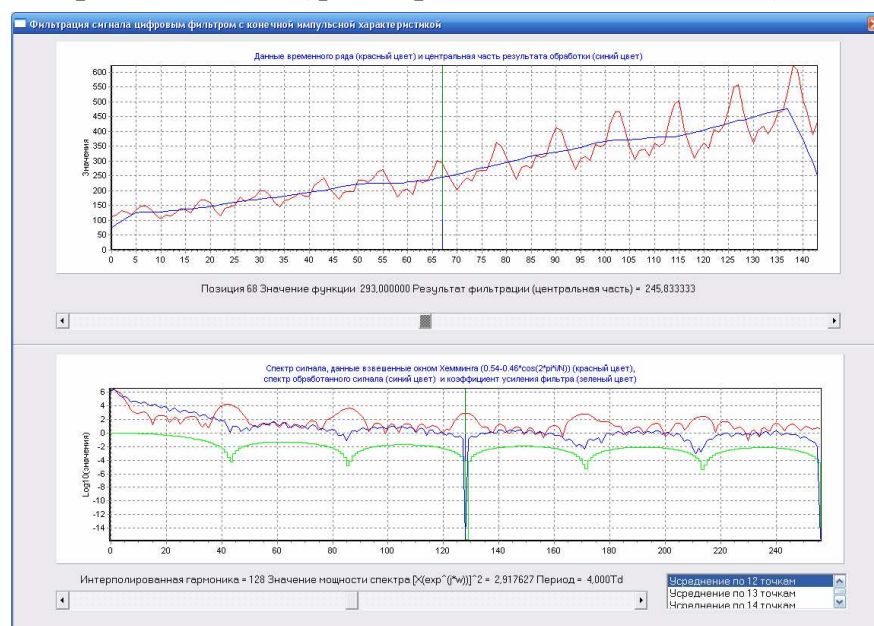


Рисунок 2 – Результати цифрової фільтрації

На рисунку 2 показані результати згладжування та згортки з кінцевою імпульсною характеристикою цифрового фільтра усереднення по 12 точкам відповідно формулі

$$Y(n) = (X(n-6) + X(n-5) + X(n-4) + X(n-3) + X(n-2) + X(n-1) + X(n) + X(n+1) + X(n+2) + X(n+3) + X(n+4) + X(n+5)) / 12.$$

Результатом лінійної фільтрації (згортки), є послідовність чисел, число яких дорівнює

$$N_CONVOL = N_DATA + N_FIR - 1.$$

де N_DATA - число даних часового ряду, N_FIR - довжина кінцевої імпульсної характеристики цифрового фільтра.

Перевірку алгоритмів, які запропоновано, проведено з використанням часового ряду, що характеризує чисельність пасажирів, які використовували повітряний транспорт із січня 1949 року по грудень 1961 року (за 12 років щомісячно) у США. Дані представлені у вигляді стовпця чисел і показують кількість тисяч пасажирів на місяць. Усього 144 точки. Дані взяті з файлу `airpass.dat` [5] і є відомим тестовим сигналом.

Алгоритми експоненційного згладжування та нелінійного перетворення Бокса-Кокса протестовані з використанням широко відомого пакету ITSM 2000 [5, 6], згладжування цифровим фільтром з кінцевою імпульсною характеристикою – з використанням MatLab [7].

На рисунках 3 і 4 показані види екранів додатку ITSM2000 [9] та надбудови Excel для алгоритму експоненційного згладжування. Графіки на рисунках – ідентичні.

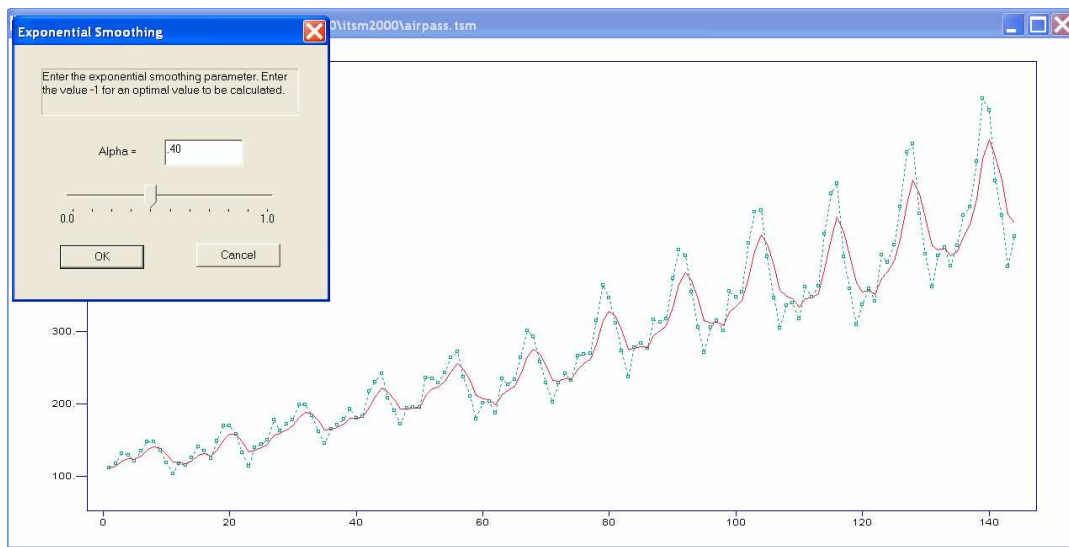


Рисунок 3 - Експоненціальне згладжування в ITSM 2000

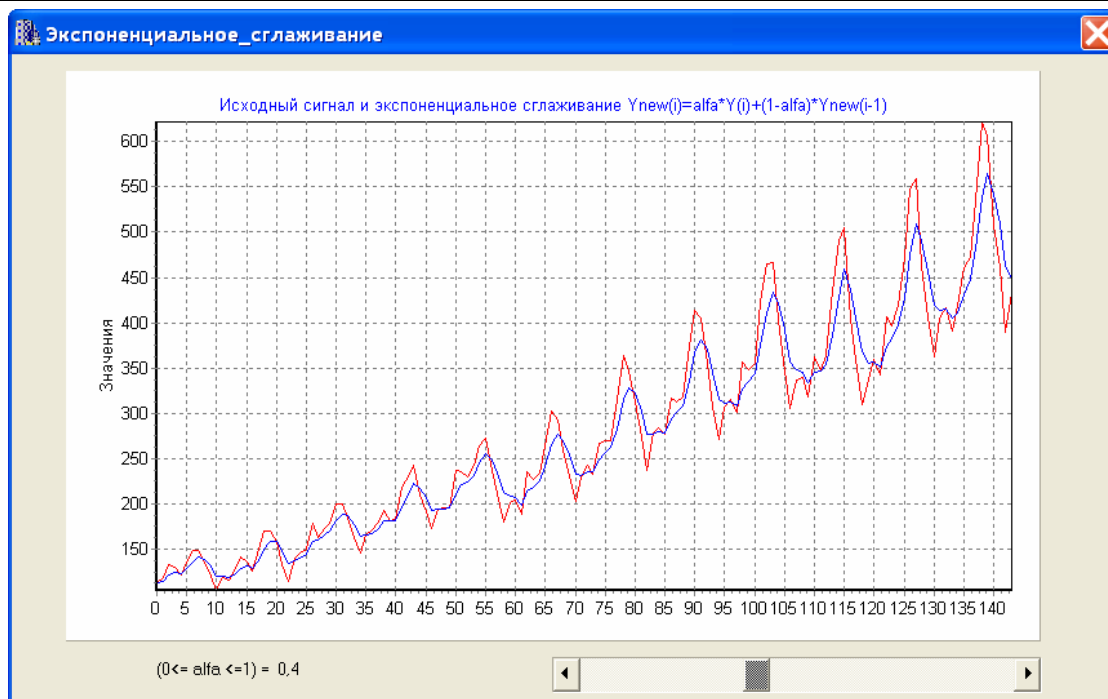


Рисунок 4 - Экспоненціальне згладжування у «Надбудові»

На рисунках 5 і 6 показані види екранів додатку ITSM2000 [9] та надбудови Excel для алгоритму нелінійного перетворення Бокса-Кокса. Результати у графічному вигляді схожі.

Для тестування алгоритму згладжування цифровим фільтром використано MatLab. Використані функції БПФ (Швидкого перетворення Фур'є – fft) та згортки двох послідовностей (conv). Отримана якісна збіжність результатів (Таблиця 1).

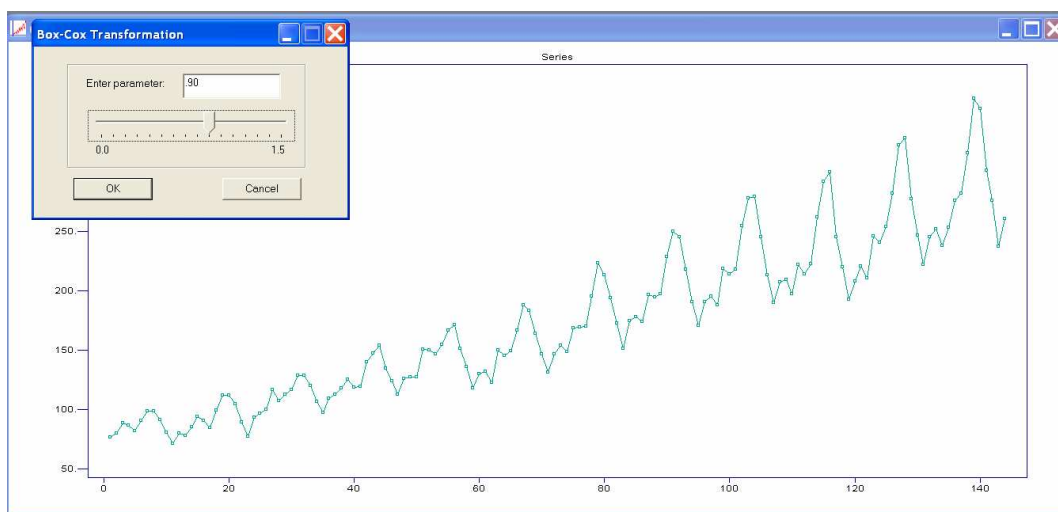


Рисунок 5 - Нелінійне перетворення Бокса-Кокса в ITSM 2000

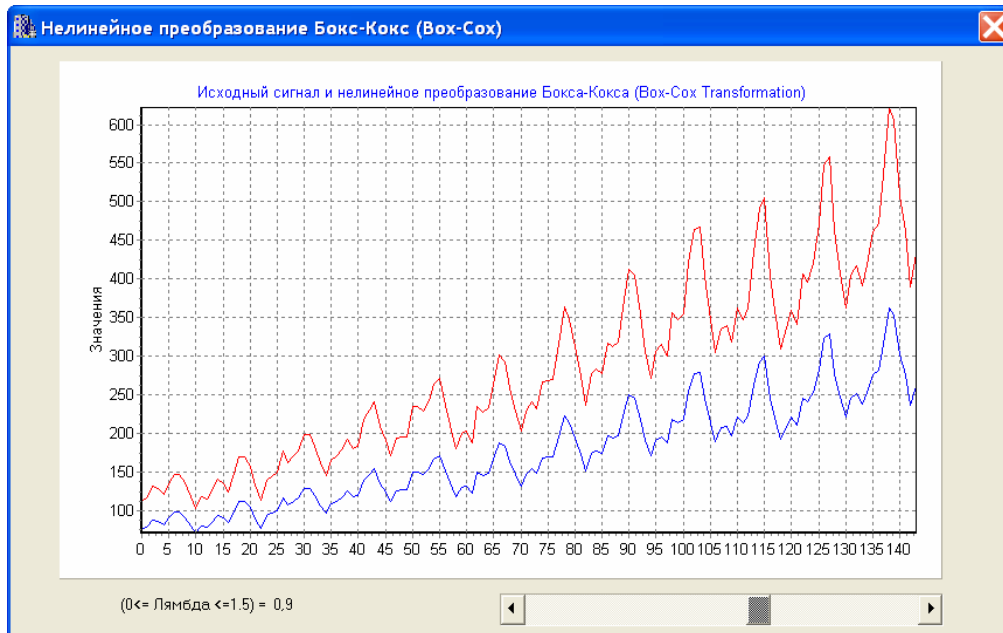


Рисунок 6 - Нелінійне перетворення Бокса-Кокса в «Надбудові»

Порівняльний аналіз тестування алгоритмів експоненціального згладжування, нелінійного перетворення Бокса-Кокса та алгоритму згладжування цифровим фільтром представлений у таблиці 1. Якісну оцінку результатів показує значення Δ - абсолютна похибка.

Висновки

Розроблена надбудова Excel (XLA), для обробки часових рядів в електронних таблицях MS Excel.

Модулі надбудови надають можливість перегляду даних та їх аналізу. Алгоритми реалізовані в окремих вікнах і мають зручний інтерфейс. За допомогою функцій надбудови перетворені (згладжені) дані часового ряду експортуються до комірок Excel.

Реалізовані функції згладжування даних методами експоненційного згладжування, нелінійного перетворення Бокса-Кокса та цифрової фільтрації.

При цифровій фільтрації передбачені декілька методів усереднення, в тому числі фільтрами Савицького-Галея і фільтрами Спенсера (15 і 21 точкове усереднення). Показано, що при лінійній фільтрації зручно використовувати частотну область, в якій можливо виявити періодичні коливання даних.

Проведено перевірку модулів надбудови Excel. Доведено, що модулі роботають якісно.

**Результати порівняльного аналізу функцій надбудови
та відомих пакетів**

Сигнал	Надбу- дова	ITSM 2000	Δ exp sm	Надбу- дова	ITSM 2000		Надбудова	Mat Lab	
air pass	Expsmooth $\alpha=0,4$			BoxCox $\lambda=0,9$		Δ Box Cox	KIX фільтр (центральна частина)		Δ KIX
112	112,00	112,00	0,00	76,52	76,52	0,00E+00	74,58	74,58	5,97E-13
118	114,40	114,40	0,00	80,26	80,26	0,00E+00	86,92	86,92	1,56E-12
132	121,44	121,44	0,00	88,90	88,90	1,56E-13	98,25	98,25	-4,41E-13
129	124,46	124,46	0,00	87,05	87,05	0,00E+00	108,17	108,17	2,42E-13
121	123,08	123,08	0,00	82,12	82,12	0,00E+00	116,83	116,83	6,68E-13
.....									
472	447,33	447,33	0,00	282,23	282,23	6,25E-13	473,92	473,92	-1,31E-12
535	482,40	482,40	0,00	316,05	316,05	5,12E-13	476,17	476,17	-3,01E-12
622	538,24	538,24	0,00	362,11	362,11	0,00E+00	441,42	441,42	0,00E+00
606	565,34	565,34	0,00	353,69	353,69	0,00E+00	408,83	408,83	-1,42E-12
508	542,41	542,41	0,00	301,60	301,60	7,96E-13	373,92	373,92	-1,65E-12
461	509,84	509,84	0,00	276,28	276,28	5,68E-13	335,50	335,50	-3,41E-12
390	461,91	461,91	0,00	237,51	237,51	6,25E-13	296,17	296,17	-6,25E-13
432	449,94	449,94	0,00	260,52	260,52	0,00E+00	251,58	251,58	-2,10E-12

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайдышев И.П. Решение научных и инженерных задач средствами Excel, VBA и C/C++. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 512с.
2. Дорош Н.Л., Храпач Ю.О. Результаты розробки надбудови MS Excel для обробки часових рядів // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (97). – Дніпропетровськ, 2015. – С. 8-12.
3. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. Пер. с англ. /Под ред. А. М. Трахтмана. – М. – Сов. радио, 1980.- 224с.
4. Отнес Р., Эноксон Л. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. Пер. с англ. /Под ред. В. И. Хохлова. – М. – Мир, 1982. – 428с.
5. Peter J. Brockwell, Richard A. Davis. ITSM for Windows. A User's Guide to Time Series Modelling and Forecasting. – Springer-Verlag New York, Ins., 1994.
6. ITSM 2000 Professional Version 6.0, developed by Peter J. Brockwell and Richard A. Davis, B&D Enterprises, Inc., Copyright 1999.
7. Цифровая обработка сигналов и MATLAB: учеб. пособие / А. И. Солонина, Д.М. Клионский, Т.В. Меркучева, С.Н. Перов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 512 с.

А.М. Алексеев, С.М. Мацюк

СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ ГЛОБАЛЬНОЙ И ЛОКАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Аннотация. Предложена структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических процессов, включающая процедуры генерирования структур, селекцию моделей и оптимизацию их параметров на основе алгоритмов глобальной и локальной оптимизации, что позволяет получить интеллектуальные прогнозирующие модели нелинейных динамических процессов повышенной точности.

Ключевые слова: идентификация, динамический процесс, точность, алгоритм, оптимизация.

Введение. Сложные динамические объекты управления (ОУ) имеют нестационарные параметры, нелинейные зависимости и стохастические переменные, что обуславливает наличие у них разных динамических режимов функционирования. К таким ОУ относятся, например, подвижные объекты, технологические процессы рудоподготовки (дробление и измельчение) и др. Для управления ими используется априорная информация в виде математической модели ОУ, как на стадии проектирования, так и в процессе функционирования. Поэтому важной проблемой создания эффективных систем управления является идентификация ОУ.

Актуальность исследований. Процесс структурно-параметрической идентификации включает операции определения структуры, оценки и оптимизации параметров модели ОУ [1]. Первые две операции решаются путем генерирования (с помощью базисных функций) моделей-претендентов разной сложности и настройки их параметров с последующей селекцией лучших из них по избранным критериям (результат – оптимальная структура). Операция определения оптимальных параметров решается методами параметрической оптимизации путем уточнения полученных ранее значений парамет-

ров по критериям регулярности на всей выборке исходных данных (результат – оптимальная модель).

При этом актуальными проблемами является выбор базисных функций, в терминах которых осуществляется идентификация, выбор способа генерирования и селекции структур разной сложности (метод структурной оптимизации), а также выбор метода параметрической оптимизации и эффективных критериев селекции и оптимизации.

Традиционно для аппроксимации базисных функций используются полиномы Лежандра, Колмогорова-Габора и др. [2-3]. Коэффициенты этих полиномов образуют неизвестные параметры, значения которых выбираются так, чтобы наилучше отвечать наблюдаемым временным реализациям.

Более продуктивным является использование нейронных сетей (НС) или гибридных НС с нечеткой логикой, которые являются универсальными и эффективными аппроксиматорами.

Эффективным методом структурно параметрической идентификации является метод группового учета аргументов (МГУА) [2-3]. Его алгоритмы реализуют схему массовой селекции путем генерирования моделей – частных описаний (скрещивание) и отбора лучших из них (селекция). Но значительной проблемой применения МГУА является правильное соотношение сложности модели с объемом обучающей выборки. Синтезированная модель ОУ, которая правильно передает динамику одного режима функционирования, может быть неадекватной к описанию другого режима. Поэтому необходима реализация адаптивной идентификации ОУ в процессе функционирования системы управления. Таким образом, нерешенной задачей является разработка малозатратных и эффективных методик структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических ОУ, которые имеют переменные режимы функционирования.

Постановка задачи. Целью статьи является разработка методики структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических ОУ в классе прогнозирующих нейросетевых моделей на базе композиции методов глобальной и локальной оптимизации, а также оценка эффективности применения этой методики на примере технологического процесса рудоподготовки.

Результаты исследований. Жесткие требования к знанию статистических свойств временных рядов экспериментальных сигналов в

системах управления ограничивают возможности методов математической статистики, теории распознавания образов, теории случайных процессов и др.

Многие реальные процессы не могут адекватно быть описаны с помощью традиционных статистических моделей, поскольку являются существенно нелинейными и имеют или хаотичную, или квазипериодическую, или смешанную динамику [4].

Для построения и реализации структуры динамической прогнозирующей модели ОУ могут использоваться разные подходы. При этом известно [5], что нелинейная динамическая система (модель ОУ) может быть представлена путем композиции линейного динамического (ЛДЗ) и нелинейного статического (НСЗ) звеньев, например, в виде модели Винера-Гаммерштайна (Wiener-Hammerstein), которая приведена на рис. 1.

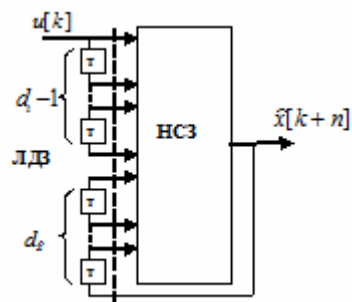


Рисунок 1 – Структура Винера-Гаммерштайна прогнозирующей модели нелинейного динамического ОУ

Здесь $u[k]$, $\hat{x}[k+n]$ – вход процесса и оценка прогноза его выхода; k, n – текущий такт времени и глубина прогноза. ЛДЗ является линиями задержки, величины которых (глубина памяти) определяются размерностью входных $d_i - 1$ и выходных d_x переменных [6], а в качестве НСЗ могут использоваться как традиционные средства (полиномы Лежандра, Вольтерра, Колмогорова-Габора и др.), так и интеллектуальные (НС, гибридные НС с нечеткой логикой и др.).

Задача идентификации ОУ формулируется таким образом [7]: на основании экспериментального множества функций (временных рядов) возмущений, управлений и выходов в условиях помех определить структуру (обобщенную функцию $F_{\hat{x}}$) и вектор параметров $a_{\hat{x}}$ модели ОУ, которая достаточно точно (в смысле некоторого критерия)

аппроксимирует его относительно входных и выходных величин во всем функциональном пространстве.

Формирование оценки структуры $F_{\bar{x}}$ (структурная идентификация) и параметров $a_{\bar{x}}$ (параметрическая идентификация) модели ОУ осуществляется на основе векторов сигналов наблюдения путем минимизации принятого функционала $J\{F_{\bar{x}}, a_{\bar{x}}\}$.

В общем случае функционал $J\{F_{\bar{x}}, a_{\bar{x}}\}$ полимодальный (имеет несколько локальных минимумов), что требует использования методов глобальной оптимизации, среди которых наиболее эффективными являются поисковые методы [8]. В них алгоритм поиска оптимального решения связывает следующие друг за другом решения таким образом, чтобы получить новое лучшее решение.

В алгоритмах прямого случайного поиска (ПСП) задаются направления поиска и определяются значения функционала J в точках $\Psi(j) \pm \gamma$. Решение состоит в выборе шага в направлении уменьшения этого функционала:

$$\Psi(j+1) = \Psi(j) - \omega \zeta \{J[\Psi(j) - \gamma] - J[\Psi(j) + \gamma]\} \quad (1)$$

где $\Psi(j) \subset \{F_j, a_j\}$ – значения функции и параметров на j -м шаге поиска; ω, ζ, γ – параметры, которые определяют сферы принятия решения (ω) , сбора информации (γ) и единичное случайное направление (ζ) . В общем случае параметры в (1) могут изменяться – адаптироваться к процедуре поиска и виду гиперповерхности принятого функционала.

Развитием поисковых методов являются эволюционные алгоритмы, среди которых наиболее распространены генетические алгоритмы (ГА), моделирующие развитие биологической популяции на уровне геномов: мутации структуры и параметров $\delta\Psi$, их скрещивание (размножение) [9]:

$$\Psi(j+1) = \Psi(j) + \delta\Psi(j) \quad (2)$$

и правило отбора, что позволяет обнаруживать их благоприятные вариации, с помощью которых строится последовательность улучшенных решений.

Большинство задач, решаемых при помощи ГА, имеют один критерий оптимизации. Многокритериальная оптимизация (МО) основана на отыскании решения, одновременно оптимизирующего более чем одну функцию. В этом случае ищется некоторый компромисс, в роли которого выступает решение, оптимальное в смысле Парето. При МО, использующей ГА выбирается не одна хромосома, представляющая собой оптимальное решение в обычном смысле, а множество хромосом, оптимальных в смысле Парето. Пользователь имеет возможность выбрать оптимальное решение из этого множества:

$$m \cdot \Psi(j+1) = m \cdot [\Psi(j) + \delta\Psi(j)], \quad (3)$$

где $m \geq 2$ – число рассматриваемых критериев.

Для идентификации эффективны внешние критерии, адекватные задаче построения моделей с минимальной дисперсией ошибки прогноза, которые делятся на критерии регулярности и критерии несмещенности [2].

Критерий регулярности основан на разделении данных на обучающую A и проверочную B выборки:

$$J_{\text{рег}} = \frac{\|x_B^*[d+n] - \hat{x}_B[d+n]\|}{\|x_B^*[d+n]\|}, \quad (4)$$

где $x_B^*, \hat{x}_B$ – экспериментальные и полученные по модели значения выхода ОУ; d – глубина памяти, n – глубина прогноза. Оптимизация модели осуществляется на обучающей, а проверка ее эффективности (величины ошибки) на проверочной выборке. Вся выборка $N = A + B$.

Более стойкие к помехам критерии минимума смещения (несмещенности). Например, критерий несмещенности, основанный на анализе решений имеет вид:

$$J_{\text{см}} = \frac{\|\hat{x}_A[d+n] - \hat{x}_B[d+n]\|}{\|x^*[d+n]\|}, \quad (5)$$

где $\hat{x}_A, \hat{x}_B$ – выходы моделей ОУ, которые обучены на выборках A и B , соответственно. Вычисление критерия $J_{\text{см}}$ осуществляется на всей выборке N .

Критерий минимума смещения позволяет выбрать модель наименее чувствительную к изменению множества точек, по которым она

получена. Такая модель должна давать одинаковые результаты на выборках A и B . Поэтому, этот критерий рекомендуется для решения задач структурной идентификации.

Выбор метода локальной (параметрической) оптимизации определяется выбором типа базисных функций.

Для прогнозирующих систем на базе НС наилучшие качества показывает гетерогенная сеть, которая состоит из скрытых слоев с нелинейной функцией активации нейронов и выходного линейного нейрона [10].

Базисная функция в виде НС прямого распространения (НСПР) со скрытым слоем представляется как [10]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\theta \in P} F_l \left\{ \sum_{l \in Q} v_l[\theta] \cdot F_y \left(\sum_{m \in Q} v_{l,m}[\theta] \cdot y_m[k-\theta] \right) \right\}, \quad (6)$$

где P – множество глубин памяти соответствующих входов; F_l – активационная функция выходного слоя НС; Q – множество входов нейронов; l – порядковый номер входа выходного слоя НС; v_l – весовые коэффициенты выходного слоя; F_y – активационная функция нейронов скрытого слоя; m – порядковый номер входа НС; $v_{l,m}$ – весовые коэффициенты связи m -го входа и l -го нейрона; y_m – вход НС.

Параметрами настройки (обучения) этой НС являются $\{v_l, v_{l,m}\} \subset a_{\bar{x}}$. В общем случае структурными характеристиками НС (6) являются $\{T_s, P, F_y, F_l, r_s, M_{po}\} \subset F_{\bar{x}}$, где T_s – тип структуры, $r_s \subset Q$ – размер скрытого слоя, M_{po} – метод параметрической оптимизации (функция обучения НС).

Базисная функция в виде НС с радиальными базисными функциями (РБФ) представляется как [10]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\theta \in P} F_l \left\{ \sum_{l, m \in Q} v_l \cdot F_y(v_l, \|y_m[k-\theta] - v_l\|) \right\}, \quad (7)$$

где v_l, v_l – параметры РБФ -го нейрона скрытого слоя.

Параметрами настройки НС (7) являются $\{v_l, v_l, v_l\} \subset a_{\bar{x}}$, а ее структурными характеристиками – $\{T_s, P, F_y, F_l, r_s, M_{po}\} \subset F_{\bar{x}}$.

Теоретически, системы с нечеткой логикой и НС эквивалентны друг другу, однако на практике у них есть свои преимущества и недостатки. В связи с этим получили развитие гибридные НС, в которых выводы делаются на основе аппарата нечеткой логики, а функции принадлежности подстраиваются с использованием алгоритмов обучения НС. Такие системы не только используют априорную информацию, но могут приобретать новые знания и для пользователя являются логически прозрачными [11].

Базисная функция в виде гибридной НС с нечеткой логикой (Anfis) представляется как [10]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\theta \in P} \sum_{m \in Q} \beta_m[\theta] \cdot \alpha_m[k-\theta], \quad (8)$$

где $\beta_m[\theta] = U_m^{-1}(\alpha_m[\theta] / \sum_m \alpha_m[\theta])$; $\alpha_m[k-\theta] = Tn_{l,m \in Q}\{L_{l,m}(y_m[k-\theta])\}$;
 $U = U(a_U)$; $L = L(a_L)$.

Здесь U_m^{-1} – функция, обратная функции принадлежности промежуточного выхода m сети с параметрами a_U ; α_m – значение промежуточного выхода; Tn – произвольная t -норма моделирования логической операции «И»; $L_{l,m}$ – функция принадлежности нечеткого правила l входа m с параметрами a_L .

Параметрами настройки НС (8) являются $\{a_U, a_L\} \subset a_{\bar{x}}$, а структурными характеристиками – $\{T_s, P, F_y, F_l, r_s, M_{po}\} \subset F_{\bar{x}}$, где $r_p \subset Q$ – количество правил разложения по входам.

Идентификация параметров (обучение) НСПР (6) осуществляется с помощью градиентных алгоритмов обучения: алгоритмов метода сопряженных градиентов, алгоритмов обратного распространения ошибки или квазиньютоновских алгоритмов. При обучении НС с РБФ (7) сначала определяются центры и отклонения для радиальных элементов, после чего оптимизируются параметры линейного выходного слоя. Обучение гибридной НС (8) выполняется аналогично НСПР (6) путем оптимизации параметров функций принадлежности с помощью гибридного алгоритма или алгоритма обратного распространения ошибки [12]. Преимуществом этих алгоритмов параметрического обу-

чения НС является их простота и быстродействие, а недостатком – их локальность.

Рассмотрим разработку интеллектуальной прогнозирующей модели процесса крупнокускового дробления руд (ККД), выходной координатой которого является содержание в дробленой руде класса $+100 \text{ мм } \Gamma_{+100}$.

Для идентификации процесса ККД в качестве входных сигналов использовались экспериментальные временные последовательности средневзвешенной крупности $\Gamma_{\text{ср}}$ и крепости K_p входной руды, а также управляющего воздействия – размера разгрузочной щели дробилки Π .

При этом, в соответствии с динамическими свойствами процесса ККД глубина прогноза составляла $n=3$ такта (для компенсации запаздывания и времени на выработку и реализацию управляющего воздействия), а глубина памяти – 4 такта. Погрешность измерения переменных процесса ККД не превышала 10%, а размер реализаций составил $N=60$ тактов (порций руды).

При идентификации в качестве глобальных методов оптимизации применялись ПСП и ГА. При этом использовалась структура моделей Винера-Гаммерштейна (см. рис. 1) с базисными функциями в виде НС: каскадной НСПР (6), НС РБФ (7) и НС Anfis (8).

В целом установлено, что минимуму критерия несмещенности для процесса ККД отвечают базисные функции в виде каскадной НСПР. При этом количество нейронов в скрытом слое составляет 26, функция активации скрытого слоя – сигмоидальная, выходного слоя – линейная, алгоритм обучения НС – метод Флетчера-Ривса (Fletcher-Reeves).

Модели в виде НС с РБФ (7) требуют гораздо меньше вычислений, но их значение критерия (5) существенно выше, что можно объяснить плохой прогностической способностью этих НС.

Модели в виде НС с нечеткой логикой Anfis (8) имеют достаточную точность, но у них очень низкое быстродействие при размерностях вектора входов больше 5 (суммарное количество входов модели ККД составляет 10).

В качестве меры точности параметрической идентификации модели оптимальной структуры использовался критерий регулярно-

сти (4), значение которого для модели процесса ККД составило 0,0357.

Адекватность полученной интеллектуальной прогнозирующей модели процесса ККД проверялась по непараметрическому критерию знаков [13]. Установлено, что разработанная модель с идентифицированными структурой и параметрами адекватна с уровнем значимости 0,01 динамике процесса ККД.

Выводы. Предложена методика структурно-параметрической идентификации нелинейных динамических процессов, включающая процедуры генерирования структур, селекцию моделей и оптимизацию их параметров. При этом для решения задачи идентификации используются алгоритмы глобальной и локальной оптимизации. В целом это позволяет получить интеллектуальные прогнозирующие модели нелинейных динамических процессов повышенной точности.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку алгоритмов управления сложными процессами с использованием предложенной методики структурно-параметрической идентификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корниенко В.И. Интеллектуальные методы структурно-параметрической идентификации технологических процессов рудо-подготовки / В.И. Корниенко, А.В. Пивоварова // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2008. – Вып. 80.– С. 71-77.
2. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – К.: Техніка, 1975. – 312 с.
3. Mueller J.-A, Lemke F. Self-Organising Data Mining. An Intelligent Approach To Extract Knowledge From Data. – Berlin, Dresden, 1999. – 225 p.
4. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов – М.: Физматлит, 2002. – 296 с.
5. Nelles O. Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural and Fuzzy Models / O. Nelles. – Berlin: Springer, 2001. – 785 p.
6. Малинецкий Г.Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г.Г. Малинецкий, А.Б. Потапов // М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с. – ISBN 5-8360-0110-3.

7. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
8. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / J.H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
9. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.Н. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.
10. Кузнецов Г.В. Композиційна структурно-параметрична ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів керування / Г.В. Кузнецов, В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 5. – С. 69-75.
11. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.
12. Нейронные сети. МАТЛАБ 6 / Под ред. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496с.
13. Ван дер Варден Б.Л. Математическая статистика / Б.Л. Ван дер Варден. – М.: Изд-во иностр. лит., 1960. – 436 с.

А.И. Деревянко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ КУСКОВ АГЛОМЕРАТА

Аннотация. Thermodynamic and thermosystem basis of optimum conditions of melting and crystallization.

Ключевые слова: модель агломерации, распределение Больцмана, температура термического шока, золотое сечение.

Постановка проблемы. Агломерация – традиционный метод подготовки металлургического сырья требует оценки прочности окомкованного материала для прогноза влияния внешних факторов на эффективность его использования. Особый интерес для металлургического производства представляет термическая прочность непосредственно при температурном воздействии.

Целью работы является разработка математической модели процесса разрушения кусков агломерата в результате термического воздействия и оценка оптимальных значений температуры внешней среды.

Основная часть. Равновесное распределение частиц по кинетическим энергиям (теплового) движения, т.е. вероятность P_i существования N_i частиц с энергией e_i было установлено Больцманом

$$P_i = N_i / N = \exp(-\varepsilon_i / kT) / \sum_{i=1}^m \exp(-\varepsilon_i / kT), \quad (1)$$

где N_i - число частиц с энергией e_i ; N - общее число частиц; k - константа Больцмана; m – общее количество уровней энергии частиц.

Из распределения (1) следует: во-первых, запрет на увеличение заселенности последующего уровня энергии в сравнении с предшествующим $P_{i+1} < P_i$; во-вторых, повышение равномерности заселения уровней с увеличением температуры.

Распределение P_a доли частиц, имеющих энергию неменьшую, чем энергия барьера связности ϵ , равна сумме распределений вероятностей P_i выше барьера ϵ .

В тоже время вероятность того, что кинетическая энергия частицы ϵ определяется распределением Максвелла

$$\omega(\epsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \frac{\sqrt{\epsilon}}{(kT)^{3/2}} \exp(-\epsilon/kT) \quad (2)$$

При переходе от дискретного распределения энергии к непрерывному распределение P_a будет иметь вид:

$$P_a = \frac{\int_a^{\infty} \exp(-\epsilon/kT) d\epsilon}{\int_0^{\infty} \exp(-\epsilon/kT) d\epsilon} \quad (3)$$

Из (3) следует, что при повышении температуры доля сверхбарьерных частиц увеличивается.

Числитель и знаменатель в выражении (3), соответственно, имеют вид:

$$\int_a^{\infty} \exp(-\epsilon/kT) d\epsilon = kT \exp(-a/kT) \quad (4)$$

$$\int_0^{\infty} \exp(-\epsilon/kT) d\epsilon = kT \quad (5)$$

В итоге выражение (3) преобразуется к виду

$$P_a = \exp(-a/kT) \quad (6)$$

Следует отметить, что распределение Больцмана было получено применительно к идеальному газу, т.е. к кинетической энергии движения частиц, создающих за счет столкновений тепловую энергию системы. Однако возможности теории и уравнения Больцмана гораздо шире.

Обоснования применимости распределения Больцмана для моделирования процессов в твердых телах были получены в работе, где было показано, что распределение частиц по кинетическим энергиям в твердом теле подчиняется распределению Больцмана, характеризующему тепловое колебание частиц в узлах кристаллической решетки прежде всего по квантовым условиям применимости статистики Больцмана [2].

$$\frac{N}{V} \left(\frac{h^2}{m_a kT} \right)^{3/2} \ll 1, \quad (7)$$

где N/V - концентрация; m_a - масса частицы; h - постоянная Планка. Так, при комнатной температуре для лития (в твердом состоянии) численное значение этого критерия равно $4,095 \cdot 10^{-2}$, а для америдия - $8,630 \cdot 10^{-5}$.

Таким образом, формального запрета на применение статистики Больцмана для элементов в твердом состоянии при температурах выше комнатной нет. Как следует из неравенства (7), повышение температуры, будет ослаблять действие условия (7), тем более в области плавления.

Доля надбарьерных частиц в точке плавления (T_m – температура плавления), т.е. на границе области структурной устойчивости кристалла, когда он является одновременно и твердым и жидким телом, практически совпадает с долей бесструктурной составляющей в пропорции золотого сечения:

$$P_a = \exp(-T_m/T_m) \cong 0,37 \quad (8)$$

и определяет подавляющую долю структурной составляющей, равной 0,62.

Таким образом, в случае разрушения кристалла при плавлении не требуется разрывать все связи, а необходимо лишь обеспечить нарушение дальнего порядка с сохранением ближнего. В точке плавления, когда нарушается целостность кристаллической решетки, дальний порядок устраняется лишь частично, достигая критического значения на уровне пропорции золотого сечения по соотношению долей свободных и связанных частиц с сохранением в жидкости кристаллитов и короткоживущих зародышей твердой фазы [3].

При температуре ниже точки плавления в кристалле статистически рассеянно возникают сверхбарьерные относительно энергии плавления частицы, нарушающие дальний порядок и обеспечивающие пластичность твердого тела [3].

Термическая прочность, помимо прочностных характеристик, должна определять и температуру шока конгломератов, т.е. резкого падения прочности в процессе нагревания до температуры размягчения.

С помощью математических моделей термического воздействия на конгломераты можно осуществить прогноз значения температуры шока.

Как было показано в [3], оптимальное значение показателя пластичности соответствует максимальному приращению доли сверхбарьерных частиц с повышением температуры, т. е. наибольшему значению первой производной P_a по T в

$$P_a = \exp(-RT_m / RT) = \exp(-T_m / T) \quad (9)$$

Из равенства нулю второй производной выражения (9) следует $T_{\text{опт}}=0,5T_{\text{м}}$.

Для определения температуры наибольшего прироста разрушения кусков агломерата, которую в термическом приближении можно отнести к температуре шока $T_{\text{ш}}$, преобразуем температурную зависимость термической прочности, в термическую разрушаемость, которая является противоположной случайной величиной

$$P_{\tau,p} = 1 - P_{\tau} = \exp(-T_s / T), \quad (10)$$

где T_s - температура солидуса. При комнатной температуре запас тепловой энергии, ослабляющий прочность связей, равен 298°К . Следовательно, для определения термического фактора следует исключить влияние комнатной температуры

$$P_{\tau,p} = \exp\left(\frac{298 - T_s}{T - 298}\right) \quad (11)$$

Вторая производная, приравненная к нулю:

$$\frac{d^2 P_{\tau,p}}{dT^2} = \frac{298 - T_s}{(T - 298)^3} \left(2 - \frac{T_s - 298}{T - 298}\right) \exp \frac{298 - T_s}{T - 298} = 0 \quad (12)$$

содержит три сомножителя.

Сомножитель $(298 - T_s)/(T - 298)^3$ стремиться к нулю при $T \rightarrow 298$.

Сомножитель $\exp\left(\frac{298 - T_s}{T - 298}\right)$ при $T \rightarrow 298$ стремиться к значению 0, и служит началом температурной шкалы в (11).

Приравнивание нулю значения среднего сомножителя определяет значение максимума первой производной для (11)

$$T_{\text{max}} = \frac{T_s + 298}{2}, \quad (13)$$

которое является теоретической температурой термического шока $T_{\text{ш,т}}$.

Таким образом, такая температура термического шока, представляет собой среднее арифметическое между температурами солидуса и комнатной, что соответствует реальной области проявления "шокового" процесса для конгломерата.

Подстановка $T_{\text{max}} = T_{\text{ш,т}}$ в (11) дает универсальное значение степени разрушения кусков конгломерата при термическом шоке

$$P_{\tau,p,\text{ш}} = e^{-2} \cong 0,135, \quad (14)$$

что соответствует выходу разрушенных кусков конгломерата к моменту шока на уровне 13,5% и близко к реальным показателям.

В процессе диффузии, вызванной эффектом фазовой синхронизации элементов распределенной хаотической колебательной системы, синергетические переходные процессы приводят к образованию устойчивых пространственных структур, которые растут, оставаясь самоподобными. Такая модель формирования, например структуры кусков агломерации, создает предпосылки для использования фрактально-кластерного анализа структуры, основным свойством которых является пространственная (пространственно-временная) масштабная инвариантность.

В реализованной имитационной модели диссипативного процесса “слипания” частиц, их количество определяется до начала эксперимента. Для динамического фрактального кластера, при сохранении условий роста, фрактальная размерность остается неизменной во времени.

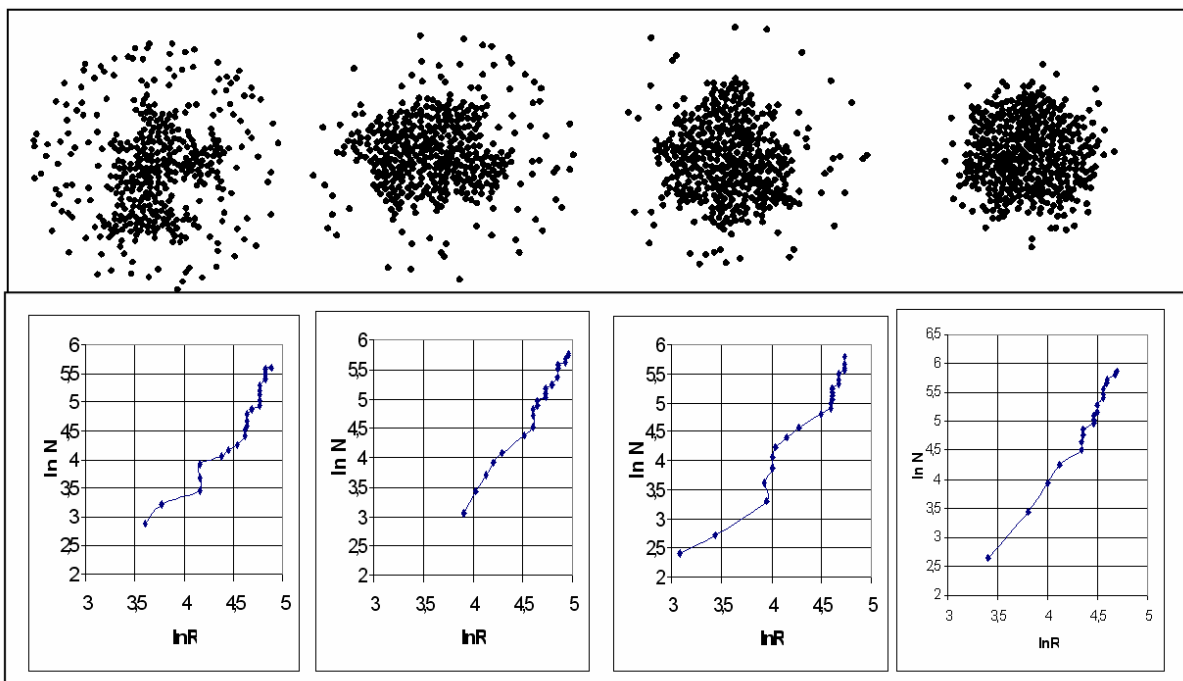


Рисунок 1 – Влияние коэффициента диффузии χ на фрактальную размерность D кластера

- а) $\chi=10$, $D=1.7299$; б) $\chi=40$, $D=2.3101$; в) $\chi=50$, $D=2.1794$;
г) $\chi=100$, $D=2.6062$

Для вычисления фрактальной размерности в разработанной программе имитационной модели использовался метод «Triangular prism surface area», предназначенный для обработки растрового изображений в градациях серого.

Выводы

Проведенные исследования дали возможность:

- во-первых, оценить значение степени разрушения кусков конгломерата при термическом шоке;
- во-вторых, получить на основе разработанной компьютерной модели роста кластеров в среде хаотически движущихся частиц ряд эффектов, недоступных для наблюдения в случае использования модели ограниченной диффузной агрегации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. – М. «Наука». 1973, 424с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. –М. «Наука». 1964, 567с.
3. Малышев В.П., Бектурганов И.С., Турдукожаева А.М. Вязкость, текучесть и пластичность вещества как мера их хаотизации. –М. «Научный мир». 2012, 285с.

СОДЕРЖАНИЕ

Костецкий Ю.В., Мач А.В.

Исследование эффективности процесса флотации неметаллических включений твердыми частицами.....3

Поливода В.В., Рудакова Г.В., Поливода О.В.

Задачі оптимізації управління виробництвом хлібопродуктів із заданими властивостями 10

Сухомлин Р.А., Михалев А.И., Гуда А.И., Прядко Н.С., Терновая Е.В.

Определение гранулометрического состава материала в потоке воздуха с использованием диаграмм Пуанкаре..... 18

Дегтярев Д.А., Семененко В.П., Тарасов С.В.

Собственные частоты колебаний лопасти вертикально-осевых ветроустановок 25

Журавлёв В.Н., Критская Т.В., Папчёнков А.В.

Влияние длительности окна анализа на точность оценки спектров зубчатых передач ГТД 35

Забула Г.В.

Методы и средства повышения временной эффективности структур данных 43

Кириченко Л.О., Кобицкая Ю.А., Стороженко А.В.

Использование вейвлет-характеристик временных рядов в экспертной системе..... 54

Клименко С.В., Огоренко В.В., Халипова В.Д.

Математическое обоснование работоспособности новой методики тестирования темперамента..... 62

Novitstky I.V., Us A.M.

Adaptive system of controlling the coarse crushing process 69

Островська К.Ю., Стовпченко І.В., Андрєєв А.І.

Розробка системи інтеграції Інтернет-контенту для дослідження конкурентного середовища ринку праці 76

Троценко Э.А., Миняйло Н.А., Икол С.А., Веропотвелян П.Н.

Система управления БНТС в дистанционном режиме при помощи жестов 83

Балакин В.Ф., Соловьева И.А., Николаенко Ю.Н., Байримов А.А.

Усовершенствование методики и разработка программного обеспечения расчета маршрутов и технологических карт производства труб оправочным волочением 97

Рахманов С.Р.	
Параметрическая идентификация виброактивности механизма удержания стержня оправки прошивного стана.....	102
Дорош Н.Л.	
Надбудова MS Excel для дослідження часових рядів	113
Алексеев А.М., Мацюк С.М.	
Структурно - параметрическая идентификация нелинейных динамических процессов на основе алгоритмов глобальной и локальной оптимизации	120
Деревянко А.И.	
Математическая модель процесса термического разрушения кусков агломерата	130

РЕФЕРАТЫ

УДК 669.046.522

Костецкий Ю.В., Мач А.В. **Дослідження ефективності процесу флотації неметалевих включень твердими частинками** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.3 - 9.

Запропоновано методику розрахунку ефективності процесу флотації неметалевих включень твердими рафінуються частинками. Шляхом комп'ютерного моделювання досліджено ефективність процесу флотації неметалевих включень твердими частинками в залежності від їх діаметру і щільності. Зіставлені ефективності флотації включень твердими частинками і бульбашками газу.

Бібл. 8.

УДК 65.012.122:664.76

Поливода В.В., Рудакова Г.В., Поливода О.В. **Задачі оптимізації управління виробництвом хлібопродуктів із заданими властивостями** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.10 - 17.

Виконаний аналіз задач оптимізації, що вирішуються при управлінні виробництвом хлібопродуктів із заданими властивостями. Доведено, що задачі управління виробництвом необхідно вирішувати з використанням систем підтримки прийняття рішень (СППР) в складі інтегрованих автоматизованих систем управління (ІАСУ) підприємством, яка призначена для оцінювання потенційної можливості виконання замовлень і прогнозу строків їх виконання, організації технологічних процесів виробництва і управління ними.

Бібл. 6, іл. 2.

УДК 622.7, 004.942

Сухомлин Р.О., Михальов О.І., Гуда А.І., Прядко Н.С., Тернова К.В. **Визначення гранулометричного складу матеріалу у повітряному потоці з використанням діаграм Пуанкаре** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.18 - 24.

Основною метою роботи є визначення фракцій, які входять до складу суміші по акустичному сигналу, записаного в потоці повітря при транспортуванні матеріалу. Аналіз проводився за допомогою діаграми Пуанкаре і методів аналізу зображень. В цілому запропонований метод дозволив визначити склад досліджуваної суміші кварцового піску. Результати роботи можуть бути застосовані на підприємствах, які займаються виробництвом тонкоподрібнених матеріалів.

Бібл. 2, іл. 3.

УДК 593.3

Дегтярьов Д.А., Семененко В.П., Тарасов С.В. **Власні частоти коливань лопаті вертикально-осьових вітроенергоустановок** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.25 - 34.

Для лопаті з двома симетричними відносно її центральної частини точками опори розроблений інженерний метод визначення власних частот коливань лопаті при її пруж-

ному з'єднанні з траверсою. Основою розробленої методики є розрахункові формули та графіки. З їх допомогою можна простежити тенденцію зміни власних частот коливань лопаті від характеристик жорсткості, масових і геометричних параметрів лопаті та траверси. Визначено область значень безрозмірної відстані між опорами лопаті, при якому реалізуються екстремальні значення власних частот коливань лопаті. При $\bar{a} \approx 0.27 \dots 0.28$ перша частота має максимум, другої – мінімум.

Бібл.2, іл.4.

УДК 621.01621.833:24:539.3

Журавльов В.Н., Критська Т.В., Папчонков А.В. **Вплив тривалості вікна аналізу на точність оцінки спектрів зубчастих передач ГТД** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.35 - 42.

Проведений аналіз тривалості вікна аналізу спектральної обробки сигналів датчиків вібрацій зубчастих передач газотурбінних двигунів. Теоретично обґрунтована й експериментально підтверджена методика, заснована на критерії мінімальної дисперсії математичного очікування максимуму спектральної щільності потужності сигналу зубцової частоти. Запропоновані математичні моделі критерію оптимізації тривалості вікна аналізу квазистохастичного сигналу вібрацій деталей зубчастих передач ГТД у першому наближенні адекватні фізичним процесам пересполучення зубів коліс редуктора й дозволяють статистично визначити точність методів цифрової обробки.

Бібл. 5, іл. 7.

УДК 004.4'24

Забула Г.В. **Методи та засоби підвищення часової ефективності структур даних** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.43 - 53.

Виконано огляд і аналіз відомих методів проектування і реалізації структур даних, що використовуються у інформаційних системах з підвищеними вимогами до часових характеристик. Розглянуто методи і засоби проектування на високому рівні абстракції, що дозволяють формувати ефективні структури даних на фізичному рівні в оперативній пам'яті. Виділено три напрямки об'єктивних показників оцінки тимчасових характеристик структур даних: амортизаційний аналіз, обчислювальна складність, засіб на основі обчислювальної складності та часової ефективності.

Бібл. 22, іл. 1.

УДК 519.2:004.9

Кіріченко Л.О., Кобицька Ю.О., Стороженко О.В. **Використання вейвлет-характеристик часових рядів у експертній системі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.54 - 61.

У роботі проведено порівняльний аналіз вейвлет-характеристик детермінованих хаотичних та випадкових самоподібних реалізацій. Показано, що спектр вейвлет-енергії та вейвлет-ентропія відображають характерні особливості фрактальної та кореляційної

структури реалізацій. Використання вейвлет-характеристик як знання для експертної системи дає можливість розрізняти часові ряди, які володіють фрактальними властивостями.

Бібл.9, рис. 2, табл.1.

УДК 004.94

Клименко С.В., Огоренко В.В., Халіпова В.Д. **Математичне обґрунтування працездатності нової методики тестування темпераменту** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.62 - 68.

Запропонована нова методика самооцінки типу темпераменту, математична обробка результатів тестування і метод графічного подання отриманих результатів тестування. Розглянут новий метод порівняння класичної методики тестування за тестом Айзенка-EPQ і нової методики самооцінки темпераменту на основі критерію χ^2 -квадрат. На основі експериментальних досліджень підтверджена працездатність нового метода самооцінки типу темпераменту.

Бібл.2, іл. 1, табл.6

УДК 519.876

Новицький І.В., Ус А.М. **Самоналагоджувальна система керування процесом крупнокускового дроблення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.69 - 75.

На основі порівняльного аналізу кореляційних і дисперсійних функцій обґрунтовано лінійну модель дробарки крупнокускового дроблення ККД 1500/180. Для керування дробаркою застосовано адаптивну самоналагоджувальну систему, налаштування параметрів якої виконується на основі оцінок функцій спектральних щільностей входу і виходу об'єкта. Запропоновано структурну схему адаптивної системи керування дробаркою, що забезпечує аперіодичну реакцію із заданим часом регулювання.

Бібл. 7, іл. 4.

УДК 004.738

Островська К.Ю., Стовпченко І.В., Андрєєв А.І. **Розробка системи інтеграції інтернет-контенту для дослідження конкурентного середовища ринку праці** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.76 - 82.

Сформульовано критерії оцінювання систем інформаційного моніторингу, до яких належать як критерії функціональної частини, так і критерії оцінювання інтерфейсу. Спроектовано та розроблено повнофункціональну систему інформаційного моніторингу середовища ринку праці за обраною технологією, яка пропонується як вбудований модуль до сайту.

Бібл. 5, рис. 3.

УДК 004.93

Троценко Е.А., Міняйло Н.О., Ікол С.О., Веропотвелян П.М. **Система управління бнтз в дистанційному режимі за допомогою жестів** // Системные технологии. Региональный

межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.83 - 96.

У статті розглядається підхід до побудови системи управління безпілотним наземним технічним засобом у дистанційному режимі за допомогою видачі жестів. Комплексно вирішені задачі з обробки відеопотоку, сегментація зображень, детектуванню руху та виділенню об'єктів у зоні інтересу, розпізнаванню людини-регулювальника. Представлена реалізація логічних моделей визначення управляючих статичних та динамічних жестів на рівні програмуємого логічного контролера.

Бібл. 7.

УДК 621.774.35

Балакин В.Ф., Соловьева И.А., Николаенко Ю.Н., Байримов А.А. **Усовершенствование методики и разработка программного обеспечения расчета маршрутов и технологических карт производства труб оправочным волочением** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.97 - 101.

Розроблений експертний і учбовий програмний комплекс, що містить теоретичний матеріал по усіх видах волочіння з методиками, алгоритмами, кресленнями, 3 - D моделями, базами даних устаткування і їх параметрів і усіма необхідними розрахунками для діючих волочильних виробництв, проектування нових ділянок волочіння.

Бібл. 5, іл.3

УДК 621.774.28

Рахманов С.Р. **Параметричної ідентифікації віброактивність механізму утримання стержня оправках прошивному стані** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.102 - 112.

Наведено результати параметричної ідентифікації віброактивності опорних вузлів центрователів механізму утримання стрижня оправки на вихідній стороні прошивного стану трубопрокатного агрегату на основі даних про експериментальні дослідження, амплітудно - частотних характеристиках механізмів та інформації про параметри самої стрижневий системи. Встановлено, що динаміка стрижня механізму утримання оправки і його підсистем мають ступінчасту форму і коливання можуть бути описані матрицями диссипации системи і квазіупругая коефіцієнтами опорних механізмів. Визначено коефіцієнти диференціальних рівнянь руху механічної системи, які є базовими для вибору конструктивних параметрів опорних механізмів і вузлів центрователів стрижня оправки прошивного стану. Показано, що висока точність побудови математичної моделі динамічної системи забезпечується на стадії проектування опорних механізмів центрователів вихідний боку прошивного стану вибором параметрів всіх допоміжних підсистем.

Бібл.8.

УДК 681.3.06

Дорош Н.Л. **Надстройка MS Excel для исследования временных рядов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.113 - 119.

Представлены результаты разработки надстройки MS Excel для сглаживания временных рядов. Надстройка включает модули просмотра данных, экспоненциального сглаживания, нелинейного преобразования Бокса-Кокса и цифровой фильтрации с конечной импульсной характеристикой. Проведено тестирование модулей надстройки Excel, приведены количественные результаты тестирования.

Библ. 7, ил. 6.

УДК 681.515: 519.7: 62-52

Алексеев О.М., Мацюк С.М. **Структурно-параметрична ідентифікація нелінійних динамічних процесів на основі алгоритмів глобальної та локальної оптимізації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.120 - 129.

Запропоновано структурно-параметричну ідентифікацію нелінійних динамічних процесів, яка включає процедури генерування структур, селекцію моделей та оптимізацію їх параметрів на основі алгоритмів глобальної та локальної оптимізації, що дозволяє отримати інтелектуальні прогнозуючі моделі нелінійних динамічних процесів підвищеної точності.

Бібл. 13, рис. 1.

УДК 616.12

Дерев'янюк О.І. **Математична модель процесу термічного руйнування шматків агломерату** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 4 (105). - Днепропетровск, 2016. - с.130 - 135.

Розглянута модель процесу руйнування шматків (кластерів) агломерації і отримана оптимального значення температури зовнішнього впливу.

Бібл. 3, рис. 6.

UDC 669.046.522

Kostetsky Y.V., Mach A.V. **Investigation of the efficiency of the flotation process of nonmetallic inclusions by solid particles** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.3 - 9.

The method of calculating the efficiency of the flotation of non-metallic inclusions with refining the solid particles. Through computer simulations to study the process efficiency of the flotation of non-metallic inclusions solid cha-cles, depending on their diameter and density. We compared the effectiveness of flo-tation inclusions solid particles and gas bubbles.

Ref. 8.

UDC 65.012.122:664.76

Polivoda V.V., Rudakova G.V., Polivoda O.V. **Production control optimization tasks of grain products with desired properties** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.10 - 17.

The analysis of optimization problems in the control of grain products production with desired properties is performed. It is proved that the production control problem must be solved with the use of Decision Support Systems (DSS) as part of the Integrated Automated Control Systems (IACS) of the enterprise, that are designed to estimate the execution potential of orders and predict the timing of their execution, the organization of technological processes of production and its control.

Bibl. 6, il. 2.

UDK 622.7, 004.942

Sukhomlin R.A., Mikhalev A.I., Guda A.I., Pryadko N.S., Ternovaya E.V. **Determination of particle size distribution of the material in air flow with a Poincare's diagram use** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.18 - 24.

The work main purpose is to determine the fractions that are part of mix on acoustic signals recorded in an air flow at the material transportation. The analysis was conducted with the Poincare's diagram use and image analysis methods. In general, the proposed method allowed determining the composition of the test quartz sand mix. The work results can be applied at the enterprises which produce the fine materials.

Bibl. 2. Il. 3

UDK 593.3

Degtyarjov D.A., Semenenko V.P., Tarasov S.V. **The natural frequences of the oscillations of the blade in vertically-axial wind turbines** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.25 - 34.

For a blade with two symmetric, as to its central part, points of support there was worked out the engineering method for the determination of a values of the natural frequences of oscillations of the blade under its elastic junction with the cross-piece. The method worked out are based on the computation formulas and graph. They make it possible to analyse the tendency of the changes of the natural frequency values of the blade from rigidity, mass and geometric parametres of the blade and the cross-piece. The range of the values of the nondimensional distance between the blade supports at which the extremal values

of the natural frequency of the blade oscillations are realized was determined. At $\bar{\alpha} \approx 0.27...0.28$ the value of the first frequency is maximal which the value of the second one is minimal.

Bibl. 2.

UDC 621.01621.833:24:539.3

Zhuravlyov V.N., Kryts'ka T.V., Papchyonkov A.V. **Influence of analysis window duration on accuracy of gas turbine engine gear train spectra assessment** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.35 - 42.

The paper reviews window duration analysis of spectral processing of signals from vibration pick-ups of gas turbine engine gear trains. Theoretical justification and experimental proof of the technique based on the criterion of minimum dispersion of maximum expected value of the power spectral density of the tooth mesh frequency signal is given. Suggestion that mathematical models of the criterion of optimization of analysis window duration of quasistochastic vibration signals of gas turbine engine gear train parts in first approximation equivalent to physical processes of reduction gear teeth reengagement and allow determining statically the digital processing accuracy was made.

Bibl. 5, silt. 7.

UDK 004.4'24

Zabula H.B. **Methods and means of improving of the time efficiency of data structures** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.43 - 53.

The review and analysis of existing methods for the design and implementation of data structures used in information systems with high demands on time characteristics was given. Methods and means of designing at a high level of abstraction, allowing to generate an effective data structure on the physical level in the RAM are considered. Three areas of objective indicators to measure the temporal characteristics of data structures: amortized analysis, computational complexity, computational complexity and time efficiency based are distinguished.

Refs. 22, figs. 1.

UDC 519.2:004.9

Kirichenko L.O., Kobytska Yu.O., Storozhenko O.V. **Using the wavelet characteristics of time series in the expert system** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.54 - 61.

In this paper comparative analysis of wavelet characteristics of deterministic chaotic and random self-similar implementations was carried out. It is shown that the spectrum of the wavelet energy and wavelet entropy reflects features of fractal and correlation structure of realization. Using the wavelet characteristics as knowledge for expert system allows distinguish time series that have fractal properties.

Ref.9, fig. 2, tab.1.

UDC 004.94

Klymenko S.V., Ogorenko V.V., Khalipova V.V. **A mathematical justification of new testing method operability of temperament** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.62 - 68.

The new method of the temperament type self-rating, mathematical processing of the testing results and the method of graphical representation of the test results are offered. The new method of comparison on the chi-square criterion between classic method of testing (Eysenck-EPQ) and new method based on self-rating is considered. The operability of the new method of temperament self-rating is confirmed due to the experimental research.

Bibl.2, il.1, tab.6

UDC 519.876

Novitskiy I.V., Us O.M. **Adaptive control system for process of lumpy crushing** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.69 - 75.

Linear model of the crusher for lumpy crushing KKD 1500/180 was justified on the basis of comparative analysis of the correlation and dispersion functions. Adaptive self-adjusting system is used to control the crusher. For this system parameter setting is carried out based on estimates of the spectral density of the object's input and output. As a result, the block diagram of the adaptive control system of the crusher is proposed. This diagram provides an aperiodic response with a given time of regulation, is proposed.

Ref. 7, fig.4

UDC 004.738

Ostrovskaya K.Y. Stovpchenko I.V., Andreev A.I. **Development of the system integration of Internet content for the study of the competitive environment in the labor market** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.76 - 82.

Criteria for evaluation of information monitoring systems, which include a functional part of the criteria, and interface evaluation criteria. Design and develop a comprehensive system for monitoring the labor market information on the chosen environmental technology, which is offered as a plug-in to the site.

Bibl. 5, fig. 3.

UDK 004.93

Trotsenko E., Minyailo N., Ikol S., Veropotvelyan P. **Control system for driving unmanned ground technical mean in remote mode via issuing gestures** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.83 - 96.

In the article approach is shown for build in a control system for driving unmanned ground technical mean in remote mode via issuing gestures. Tasks of video stream processing, images segmentation, motion detection and indicating objects in zone of interest, identification of man-traffic-controller are solved in complex. Realization of logic models of identification of control static and dynamic gestures on the level of programmed logic controller is shown.

Bibl. 7.

UDK 621.774.35

Balakin V.F., Solovyova I.A., Nikolaenko Y.N., Bayrimov A.A. **Improved techniques and the development of pro-software routing and flow charts drawing mandrel pipe production** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.97 - 101.

An expert and educational programmatic|programmability| complex, containing|maintain| theoretical material|fabric| on all of types of dragging with methods, algorithms, drafts|dwg|, 3-D| models, databases equipment|EQP| and their parameters and all of necessary calculations|computation| for operating wire-drawing productions, planning of new|firsttime| areas of dragging, is developed.

Bibl.5, ill.3

UDC 621.774.28

Rakhmanov S.R. **Parametric identification vibroaktivnosti holding mechanism of the mandrel bar piercing mill** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.102 - 112.

Results of parametrical identification of vibroactivity of sentry of a midstream of a mandrel of the output party of a camp of the pipe-rolling unit on the basis of data on pilot studies, information on parameters of the most rod system are given and is amplitude – frequency characteristics of basic mechanisms of sentry. It is established that fluctuations of a core of the mechanism of deduction of a mandrel and their subsystems have a form of a step arrangement and can be described by matrixes of dissipation of system and quasi-elastic coefficients of basic mechanisms. Coefficients of the differential equations which are basic for a choice of design data of basic mechanisms and other knots of sentry of a core of a mandrel of a camp are defined. It is shown that high precision of creation of mathematical model of dynamic system is provided at a design stage of basic mechanisms (sentry) output party of a camp, a choice of parameters of all auxiliary subsystems.

Bibl.8.

UDC 681.3.06

Dorosh N.L. **MS Excel add-in for time series studies** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.113 - 119.

Presented MS Excel add-in development results to smooth the time series. MS Excel add-in includes modules data viewer, exponential smoothing, non-linear Box-Cox transformation, and digital filtering with finite impulse response. Testing of Excel add-in modules are given quantitative test results.

Bibl. 7, il. 6.

UDC 681.515:519.7:62-52

Aleksieiev O.M., Matsiuk S.M. **Evaluation method for the nonlinear characteristics of the dynamic processes on temporary implementations** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.120 - 129.

The paper proposes a structural and parametric identification of nonlinear dynamic processes, generating structures includes procedures, selection models and parameters based

optimization on algorithms of global and local optimization, to provide intelligent predictive nonlinear models dynamic processes of high accuracy.

Bibl. 6, fig. 3.

UDC 616.12

Derevyanko A.I. **Mathematical model of the thermodynamic destruction of pieces agglomerate** // System technologies. N 4(105) - Dnipropetrovsk, 2016.- P.130 - 135.

Thermodynamic and thermosystem basis of optimum conditions of melting and crystallization.

Bibl. 3, il. 6.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Костецкий Ю.В. - к.т.н., ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (г. Красноармейск, Украина).

Мач А.В. - ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (г. Красноармейск, Украина).

Поливода Владислав Володимирович – к.т.н., начальник відділу автоматизованих систем керування виробництвом публічного акціонерного товариства «Херсонський комбінат хлібопродуктів», доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Рудакова Ганна Володимирівна – д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Поливода Оксана Валеріївна – к.т.н., доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету.

Сухомлин Роман Александрович – асистент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Михалев Александр Ильич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и систем НМетАУ.

Гуда Антон Игоревич – к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій і систем Національної металургічної академії України.

Прядко Наталия Сергеевна – д.т.н., старший научный сотрудник Института технической механики НАНУ и ГКАУ.

Терновая Екатерина Витальевна – аспірантка Інститута технічної механіки НАНУ і ГКАУ.

Дегтярьов Дмитро Андрійович – провідний інженер, Інститут транспортних систем та технологій «Трансмаг» НАН України.

Семененко Володимир Петрович – старший науковий співробітник, к.т.н., Інститут транспортних систем та технологій «Трансмаг» НАН України.

Тарасов Сергій Васильович – старший науковий співробітник, к.т.н., завідувач відділом №3, Інститут транспортних систем та технологій «Трансмаг» НАН України.

Журавлев Владимир Николаевич – д-р техн. наук, нач. сектора анализа сигналов ГТД ГП «Ивченко-Прогресс», Запорожье, Украина.

Критская Татьяна Владимировна – д-р техн. наук, профессор, зав. каф. электронных систем Запорожской государственной инженерной академии, Запорожье, Украина.

Папчєнков Александр Викторович – зам. технического директора по новым изделиям ОАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина.

Забула Геннадий Владимирович - аспірант кафедри «Комп'ютерні технології» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Кириченко Людмила Олеговна – д.т.н., профессор кафедры прикладной математики Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Кобицкая Юлия Александровна – аспірант каф. прикладной математики Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Стороженко Александра Владимировна – к.т.н., доцент каф. экономической кибернетики Харьковского национального университета радиоэлектроники.

Клименко Светлана Владимировна – к.т.н., Днепропетровский национальный университет им.О.Гончара.

Огоренко Виктория Викторовна – д.мед.н., Днепропетровская государственная медицинская Академия.

Халипова Вероника Дмитриевна - аспирант, Днепропетровский национальный университет им.О.Гончара.

Новицький Ігор Валерійович - д.т.н., професор кафедри системного аналізу і управління, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».

Ус Олександра Михайлівна – студентка, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет».

Островська Катерина Юріївна - к.т.н., доцент кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Стовпченко Іван Володимирович – старший викладач кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Андрєєв Адрій Ігорович – магістр кафедри Інформаційних технологій та систем, НМетАУ.

Троценко Едуард Анатольевич– ген. директор ООО «Инфоком ЛТД».

Миняйло Наталья Александровна – математик-аналитик исследования операций ООО «Укртехпроект ЛТД».

Икол Сергей Александрович – инженер-программист ООО «Укртехпроект ЛТД».

Веропотвелян Петр Николаевич – инженер-программист ООО «Эксихом ЛТД».

Балакин Валерий Фёдорович - д.т.н., зав. кафедрой технологического проектирования, профессор НМетАУ.

Соловьева Инна Анатольевна - к.т.н., доцент кафедры технологического проектирования, Национальная металлургическая академия Украины.

Николаенко Юлия Николаевна - ст. преподаватель кафедры технологического проектирования, Национальная металлургическая академия Украины.

Байримов Антон Александрович – аспирант кафедры технологического проектирования, Национальная металлургическая академия Украины.

Рахманов Сулейман Рахманович - Национальная металлургическая академия Украины.

Дорош Наталія Леонідівна - к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій і систем НметАУ.

Алексєєв Олексій Михайлович - доцент кафедри системного аналізу і управління Державного ВНЗ «Національний гірничий університет».

Мацюк Сергій Михайлович - аспірант кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Державного ВНЗ «Національний гірничий університет».

Дерев'янко Олександр Іванович - к.т.н., професор кафедри «Інформаційних технологій та систем», Національна металургійна академія України.