

СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 519-711

И.Г. Оксанич, С.В. Кашуба

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА

Введение.

В управлении предприятием подсистема оперативно – диспетчерского управления производством (ОДУП) занимает центральное место, так как является основной функциональной подсистемой интегрированной системы управления предприятием, оказывающей наибольшее влияние на эффективность деятельности предприятия и служащей связующим звеном между всеми другими подсистемами [1].

Оперативно-диспетчерское управление представляет собой сочетание централизованного непрерывного контроля и оперативного регулирования хода производства с целью обеспечения равномерного и комплектного выполнения номенклатурного плана. Его основными функциями являются [2]:

- непрерывный учет текущей информации о фактическом ходе работ по выполнению установленного графика производства и сменно-суточных заданий;
- принятие оперативных мер по предупреждению и устранению отклонений от плана и различных перебоев в ходе производства;
- выявление и анализ причин отклонений от установленных плановых заданий и календарных графиков производства;
- координация текущей работы взаимосвязанных звеньев производства в целях обеспечения ритмичного хода работы по установленному графику;
- организационное руководство оперативной подготовкой регулярного обеспечения выполнения сменно-суточных заданий и календарных графиков производства.

Диспетчирование успешно служит поставленным целям при четкой организации оперативного планирования производства, непосредственным продолжением которого оно является, регулярности контроля и наблюдения за ходом производства, для чего необходима своевременная и точная оперативная информация о фактическом выполнении сменных заданий и планов-графиков выпуска продукции, а также обо всех неполадках, возникающих в процессе производства. Только при наличии актуальной и достоверной информации о состоянии производства можно ставить и решать задачи его оперативного управления. Поэтому актуальной является задача синтеза оптимальных управляющих воздействий на ход производства при возникновении нештатных ситуаций.

Постановка задачи.

В мелкосерийном производстве эффективность оперативного управления зависит от анализа текущей ситуации, который своевременно позволил бы генерировать оптимальные управляющие воздействия на производственный процесс. Для математического описания функционирования производственного участка следует разработать модель, которая бы позволила учитывать динамику функционирования участка и единообразно описать все множество свойств и состояний элементов производственного участка. Такой моделью может служить автоматная модель, которая будет использоваться для имитационного моделирования работы производственного участка. [3]

Математическая модель функционирования производственного участка.

Представим производственный участок как объект управления в виде кортежа:

$$P = \langle S, T, U, Y, \varphi, \eta \rangle, \quad (1)$$

где S – пространство состояний системы; T – множество моментов времени; U – множество управляющих воздействий (оперативное управление ресурсами, контроль и регулирование хода производства в течение временного интервала T); Y – множество выходных величин; $\varphi: T \times S \rightarrow S$ – переходная функция состояния (определяет изменение оперативного положения заказа на производственном участке в любой момент времени из множества T); $\eta: T \times S \rightarrow Y$ – выходное отображение, определяющее динамику выходных величин

(количество изготовленных изделий в любой момент времени из множества Т).

Эффективность функционирования производственного участка во многом зависит от состояния единиц оборудования, наличия заделов деталей и транспортных средств, осуществляющих транспортировку полуфабрикатов. Представим пространство состояний S производственной системы в виде кортежа, состоящего из параметров состояния единиц оборудования (ЕО) N, транспортных средств (ТС) R и параметров состояния заделов Z:

$$S = \langle N, R, Z \rangle, \quad (2)$$

Состояние единиц оборудования N определяется вектором:

$$N = (s_k^n, a_{ik}^n, q_{оч}^n, t_{ik_n}^n, t_{ik_k}^n, t_{ф.пол}^n), \quad (3)$$

где s_k^n - переменная, характеризующая состояние n-ой ЕО, со следующими допустимыми значениями: «ПР» – простой, «ОД» – обработка детали, «Н» – неисправно; a_{ik}^n - деталь i - го изделия к - того типа, обрабатываемый на n - ой ЕО (когда она находится в состоянии «ОД»); $q_{оч}^n$ - количество деталей в очереди к n - ному станку (когда он находится в состоянии «ПР» или «Н»); $t_{ik_n}^n$ - время начала обработки к - той детали i - того изделия на n - ой ЕО; $t_{ik_k}^n$ - время окончания обработки детали на n - ой ЕО; $t_{ф.пол}^n$ - время фиксации поломки.

С учетом введенных выше обозначений математическую модель функционирования единицы оборудования можно представить с использованием теории автоматов в следующем виде:

$$A = \{V^n, S^n, Y^n, P^n\}, \quad (4)$$

где $V^n = \{v^n\}$ – множество входных сигналов (под входными сигналами автомата подразумеваем сигналы, отмечающие выполнение очередного этапа цикла функционирования единицы оборудования: окончание обработки партии деталей, поступление новой партии, поломка станка); $S^n = \{s^n\}$ - множество состояний; $Y^n = \{q_{об}^n\}$ – множество выходов (количество обработанных деталей n - ным станком); $P^n = f\{S^n, V^n\}$ - функция переходов – определяет новое

состояние при текущей комбинации имеющегося состояния и нового входного сигнала.

Определим набор входных сигналов автомата: $v_{ок.обр}^n$ - окончание обработки партии деталей; $v_{н.нп}^n$ - поступление новой партии деталей на обработку; v_n^n - выход из строя по причине неисправности.

Поскольку указанные события (за исключением выхода из строя) происходят циклически, в каждый момент времени истинным может быть только один входной сигнал. Сигнал неисправности должен играть роль запрета и выводит данный экземпляр автомата из списка действующих.

Определим далее функцию переходов $P^n = f(S^n, V^n)$ автоматной модели функционирования ЕО, как набор преобразований, каждое из которых определяет изменение состояния модели ЕО после определённого события, причем отсутствие одной из переменных при описании состояния обозначим 0.

После простоя в ожидании поступления новой партии деталей ($v_{н.нп}^n = 1$), станок переходит к обработке детали «ОД» и состояние модели N изменяется следующим образом:

$$N(t) = ("ОД", a_{ик}^n(t), q_{оч}^n(t-1), t_{икн}^n, 0, 0). \quad (5)$$

После того, как станок обработал деталь ($v_{ок.обр}^n = 1$) и простаивает в ожидании поступления новой партии деталей, состояние N изменяется следующим образом:

$$N(t) = ("ПП", a_{ик}^n(t-1), q_{оч}^n, 0, (t-1)_{икк}^n, 0). \quad (6)$$

После того, как была обнаружена неисправность единицы оборудования N ($v_n^n = 1$), ее состояние изменяется следующим образом:

$$N(t) = ("H", a_{ик}^n(t-1), q_{оч}^n(t-1), 0, 0, t_{ф.пол}^n). \quad (7)$$

Совокупность выражений (5)-(7) определяет функцию переходов автоматной модели для единицы оборудования.

Состояние задела Z определяется вектором $Z = (s^Z, q_{дет}^Z, t_{прол}^Z)$, где s^Z - переменная оценки состояния данного задела, со следующими допустимыми значениями: «НЗ» – наличие деталей в заделе, «ОЗ» - отсутствие задела, кроме того состояние задела напрямую зависит от состояния станков, стоящих в производственной линии до и после

задела, поэтому для отслеживания динамики задела добавим следующие переменные оценки состояния: «НП» - неисправность предыдущего станка, «НС» - неисправность следующего станка; $q_{дет}^z$ - количество деталей в заделе, $t_{прол}^z$ - время пролеживания деталей.

В соответствии с этим описанием математическая модель функционирования задела определяется выражением:

$$A^z = \{V^z, S^z, P^z\}, \quad (8)$$

где V^z - множество входных сигналов, определяемых сменой состояния задела; $Z = \{s^z\}$ - множество состояний; $Y^z = \{q_{оч}^z\}$ - множество выходов, $P^n = f\{S^n, V^n\}$ - функция переходов.

Определим набор входных сигналов данного автомата: $v_{ок.обр}^z$ - поступление детали в задел после окончания обработки на предыдущем станке; $v_{н.обр}^z$ - поступление детали на обработку из задела; v_n^z - выход из строя станка.

Определим функцию переходов P^z :

- после того, как была окончена обработка детали n - ным станком деталь поступает в задел ($v_{ок.обр}^z = 1$), состояние задела Z изменяется следующим образом:

$$Z(t) = ("HЗ", q_{дет}^z(t), t_{прол}^z); \quad (9)$$

- после того, как детали из задела поступают в очередь на обработку ($v_{н.обр}^z = 1$), состояние задела изменяется следующим образом:

$$Z(t) = ("ОЗ", q_{дет}^z(t-1), t_{прол}^z(t-1)); \quad (10)$$

- после того, как была обнаружена неисправность станка, находящегося в линии перед заделом ($v_n^z = 1$), состояние изменяется следующим образом:

$$Z(t) = ("НП", q_{дет}^z(t-1), t_{прол}^z(t-1)); \quad (11)$$

- после того, как была обнаружена неисправность предыдущего станка ($v_n^z = 1$), состояние изменяется следующим образом:

$$Z(t) = ("НС", q_{дет}^z(t+1), t_{прол}^z(t+1)). \quad (12)$$

Совокупность выражений (9)-(12) является функцией переходов автоматной модели для объекта задел.

Состояние транспортных средств R определяется вектором: $R = (s^R, q_{mp.дет}^R, t_{н.тр.оп}^R, t_{ок.тр.оп}^R)$, где s^R - переменная оценки состояния j -го транспортного средства, со следующими допустимыми значениями: «ПР» - простой, «ВТР» - выполняет транспортировку, «Н» - неисправно; $q_{mp.дет}^R$ - количество деталей, транспортируемых j -тым ТС; $t_{н.тр.оп}^R$ - время начала транспортной операции; $t_{ок.тр.оп}^R$ - время окончания транспортной операции. Математическая модель функционирования транспортного средства определяется выражением:

$$A^R = \{V^R, S^R, P^R\}, \quad (13)$$

где V^R - множество входных сигналов, определяемых сменой состояния ТС; S^R - множество состояний j -го ТС; $P^R = f(S^R, V^R)$ - функция переходов.

Определим набор входных сигналов данного автомата: v_{mp}^R - заявка на транспортировку деталей; v_n^R - выход ТС из строя; $v_{ок.тр.оп}^R$ - сигнал о завершении транспортной операции.

Определим функцию переходов автоматной модели функционирования ТС:

После выполнения транспортных операций ($v_{ок.тр.оп}^R = 1$) состояние j -го транспортного средства изменяется следующим образом:

$$R(t) = ("ПР", 0, 0, t_{ок.тр.оп}^R). \quad (14)$$

После того, как была получена заявка на выполнение транспортных операций ($v_{mp}^R = 1$) состояние j -го транспортного средства изменяется следующим образом:

$$R(t) = ("ВТР", q_{mp.дет}^R(t), t_{н.оп.тр}^R, 0). \quad (15)$$

При поступлении сигнала о неисправности ($v_n^R = 1$) j -го транспортного средства его состояние изменяется следующим образом:

$$R(t) = ("Н", q_{mp.дет}^R(t-1), t_{н.тр.оп}^R(t-1), t_{ок.тр.оп}^R(t-1)). \quad (16)$$

Совокупность выражений (14)-(16) является функцией переходов автоматной модели для транспортного средства.

Выводы.

Разработанная математическая модель функционирования производственного участка отличается от существующих применением автоматного описания состояний и процессов производственного участка с учетом временных и технологических параметров. Модель может быть использована как основа для имитационного моделирования функционирования производственного участка и синтеза оперативных управляющих решений по регулированию хода производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бигель Дж. Управление производством. Количественный подход / Бигель Дж. – М.: Мир, 1973. – 343 с.
2. Горшков А.Ф. Компьютерное моделирование менеджмента: [учебное пособие] / Евтеев Б.В., Коршунов В.А. и др. . – М. Издательство «Экзамен», 2004. – 528 с.
3. Анализ задач оперативного планирования и диспетчерского управления в мелкосерийном производстве: збірник тез доповідей до Міжнародної конференції [«Дні науки»], (Запоріжжя, 11-17 жовтня, 2007) / М-во осв. і науки України, Запорізький гуманітарний університет «ЗІДМУ» – Запоріжжя, 2007. – 184 с.

Получено 15.06.2009г.

ЗАДАЧА ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ СИСТЕМ КЛАСУ ERP/MRP З АЛЬТЕРНАТИВНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ТА ПРАВИЛА РЕДУКЦІЇ ВХІДНИХ ДАНИХ

Вступ

Задача вибору оптимальної функціональної конфігурації без альтернатив та алгоритм її розв'язання детально описані у [1]. Обчислювальна складність алгоритму поліноміальна і складає $O(N^3)$, а задача за прийнятний час може бути розв'язана для розмірностей до десятків тисяч конструктивних елементів [2,3].

У статті наводиться модель задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації систем класу ERP/MRP з альтернативним забезпеченням та алгоритм її зведення до моделі задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації з множинними заміщеннями заданій на двошаровому графі з кольоровими дугами. Для розв'язання цієї задачі в [4] пропонується комбінований метод «генетичний алгоритм-редукція». Результати проведеного обчислювального експерименту показали високу ефективність запропонованого підходу при кількості конструктивних елементів до 10^3 . Проте, оскільки розмірність практичних задач може перевищувати таку оцінку, виникла необхідність покращення алгоритму.

При дослідженні характеру вхідних задач було встановлено, що на етапі аналізу вхідних даних задачі можуть бути ідентифіковані певні умови, що дозволяють провести редукцію виключенням, включенням або об'єднанням певних конструктивних елементів без втрати оптимального розв'язку задачі і тим самим значно збільшити швидкодію роботи алгоритму. Правила редукції та результати обчислювального експерименту для встановлення ефективності використання правил наводяться у статті.

Постановка задачі у моделі з альтернативним забезпеченням.

Розглянемо випадок, коли конструктивне різноманіття задається ациклічним оргграфом загального вигляду з кольоровими дугами [5]. Колір дуги визначає варіант забезпечення елемента, що буде показано нижче.

Розширимо модель з безальтернативним забезпеченням [1] наступним чином.

Введемо наступні позначення:

Ω – універсальна множина елементів (множина всіх елементів системи);

C – множина номерів варіантів реалізації;

$\gamma \subseteq \Omega \times \Omega \times C$ – відношення між елементами з врахуванням альтернативності забезпечення;

$j^{oc} = \{i \mid i \in \Omega, c \in C : (i, j, c) \in \gamma\}$ – елементи безпосередньо забезпечують елемент j у варіанті реалізації c ;

${}^{oc}j = \{i \mid i \in \Omega, c \in C : (j, i, c) \in \gamma\}$ – елементи, функціонування яких забезпечується (неможливо без) j у варіанті реалізації c ;

$j^o = \{i \mid i \in \Omega, \exists c \in C : (i, j, c) \in \gamma\}$ – елементи безпосередньо забезпечують елемент j принаймні у одному з варіантів реалізації;

${}^oj = \{i \mid i \in \Omega, \exists c \in C : (j, i, c) \in \gamma\}$ – елементи, функціонування яких забезпечується (неможливо без) j принаймні у одному з варіантів реалізації;

$vars(j) = \{c \mid c \in C, (i, j, c) \in \gamma\}$ – варіанти реалізації елемента j ;

${}^*\Omega = \Omega \setminus \bigcup_{j \in \Omega, c \in C} j^{oc}$ – елементи Ω , які не забезпечують жодного елемента з Ω ;

$J^{oB} = \bigcup_{j \in \Omega} j^{oB(j)}$ – те ж що і j^{oc} але для множини J при варіантах реалізації заданих функцією B де:

$B: \Omega \rightarrow C$ – функція, що ставить у відповідність кожному елементу з Ω варіант його реалізації причому виконується $B(j) = c \Rightarrow \exists j_2, (j, j_2, c) \in \gamma$

$J^{ooB} = J^{oo(k)B}$ – множина всіх елементів, що забезпечують множину J при варіантах реалізації заданих функцією B де:

$$J^{oo(1)B} = J^{oB}, \quad J^{oo(i+1)B} = J^{oo(i)B} \bigcup (J^{oo(i)B})^o,$$

$$J^{oo(k+1)B} = J^{oo(k)B}, \quad J^{oo(k-1)B} \neq J^{oo(k)B}$$

$J^{<ooB} = J^{ooB} \bigcup J$ – множина, складається із всіх елементів, що забезпечують множину J при варіантах реалізації заданих функцією B , та самих елементів J ;

${}^{oB}J = \bigcup_{j \in \Omega} {}^{oB(j)}j$ – множина всіх елементів, безпосередньо забезпечуваних множиною J при варіантах реалізації заданих функцією B ;

${}^oJ = \bigcup_{j \in \Omega} {}^oj$ – множина всіх елементів, що можуть безпосередньо забезпечуватися множиною J при одному з варіантів реалізації;

${}^{ooB}J = {}^{oo(k)B(j)}J$ – множина всіх елементів, забезпечуваних множиною J безпосередньо та опосередковано при варіантах реалізації заданих функцією B де:

$${}^{ooB}J^{(1)} = {}^{oB}J, \quad {}^{ooB}J^{(i+1)} = {}^{ooB}J^{(i)} \bigcup {}^{oB}({}^{ooB}J^{(i)}),$$

$${}^{ooB}J^{(k+1)} = {}^{ooB}J^{(k)}, \quad {}^{ooB}J^{(k-1)} \neq {}^{ooB}J^{(k)}$$

${}^{oB>}J = {}^{oB}J \bigcup J$ – множина, що складається із всіх елементів, безпосередньо забезпечуваних множиною J , та елементів J при варіантах реалізації заданих функцією B ;

${}^{ooB>}J = {}^{ooB}J \bigcup J$ – множина, що складається із всіх елементів, безпосередньо та опосередковано забезпечуваних множиною J , та елементів J при варіантах реалізації заданих функцією B ;

$del(I, J)^B = ({}^BI)^{<ooB} \cap J$ – множина елементів, що підлягають видаленню з множини J при видаленні підмножини елементів $I \subseteq J$, для збереження узгодженості результуючої множини J/I при варіантах реалізації заданих функцією B ;

${}^BI = {}^{ooB>}I \cap {}^*\Omega$ – множина ситуаційних елементів з Ω , забезпечуваних елементами I при варіантах реалізації заданих функцією B .

$I^{<ooB>} = I^{ooB} \cap I$ – множина елементів з I , що забезпечує елементи I при варіантах реалізації заданих функцією B ;

$I^{<oB>} = I^{oB} \cap I$ – множина елементів з I , що безпосередньо забезпечують елементи I при варіантах реалізації заданих функцією B .

Визначення 1. Трійку $\langle \Omega, \gamma, C \rangle$ будемо називати конструктивним різноманіттям (КР) систем з врахуванням альтернативності забезпечення.

Визначення 2. Узгодженою системою називається множина $J \subseteq \Omega$, для якої $\exists B$ та виконуються аксіоми узгодженості:

$$J^{<ooB} = J \quad (A1)$$

$$\forall j \in J : {}^*B(j)j \cap J \neq \emptyset \quad (A2)$$

A1 заперечує відсутність хоча б одного елемента, що забезпечує, тобто присутні всі необхідні елементи;

A2 заперечує відсутність елемента з ${}^*\Omega$ хоча б для одного елемента J^{oo} тобто в системі відсутні зайві елементи.

Той факт, що $\langle J, B \rangle$ є узгодженою системою в КР $K = \langle \Omega, \gamma, C \rangle$ будемо також позначати $A1(J, K) \& A2(J, K)$ якщо в контексті мова йде про різне КР. В інших випадках позначення буде мати вигляд $A1(J) \& A2(J)$ або $A1,2(J)$.

Визначення 3. Ефективною системою будемо називати таку узгоджену систему S , вартісна оцінка якої позитивна ($E(S) > 0$)

Визначення 4. Оптимальною системою назовемо таку узгоджену систему, для якої виконуються наступні аксіоми:

$$I \succ J \Leftrightarrow E(I) \geq E(J) \quad (A3)$$

$$I \in \Omega^{opt} \Leftrightarrow (\forall J \in \{J \subseteq \Omega : A_{1,2}(J)\})(I \succ J) \quad (A4)$$

Тут:

$E: \wp(\Omega) \rightarrow R$ – вартісна функція, що кожній підмножині множини Ω ставить у відповідність дійсне число і обчислюється за формулою $E(J) = \sum_{j \in J} w_j$, причому виконується $\forall j \in {}^*\Omega : w_j \geq 0$ та $\forall j \in \Omega^o : w_j \leq 0$.

Ω^{opt} – множина оптимальних систем, які можна побудувати в КР $K = \langle \Omega, \gamma \rangle$.

$I \succ J$ позначає той факт, що множина I не уступає по ефективності множині J . Легко помітити, що оптимальна система ефективна, але не навпаки. Таким чином, задача інформаційно-вартісного аналізу полягає в побудові Ω^{opt} для $\langle \Omega, \gamma \rangle$, або деякого $\Omega_1 \in \Omega^{opt}$.

**Еквівалентність конструктивних різноманіть та модель з
альтернативним забезпеченням на двошаровому орграфі**

Визначення 5. $KP \langle \Omega, \gamma, C \rangle$ і $KP \langle \Omega, \gamma^1, C^1 \rangle$ називаються еквівалентними якщо $\forall J \subseteq \Omega : A_{1,2}(J, \gamma, C) \Leftrightarrow A_{1,2}(J, \gamma^1, C^1)$ і це позначається як $\langle \Omega, \gamma, C \rangle \equiv \langle \Omega, \gamma^1, C^1 \rangle$.

Алгоритм, що дозволяє перейти від $KP \langle \Omega, \gamma, C \rangle$ заданого ациклічним орграфом загального вигляду з кольоровими дугами до еквівалентному йому $KP \langle \Omega, \gamma^+, C^+ \rangle$ заданого двошаровим орграфом з кольоровими дугами наступний:

$$\gamma^+ := \gamma; C^+ := C.$$

Поки $\exists i \in \Omega / {}^* \Omega$ такий, що $\exists (i, j_1, c_1) \in \gamma^+ \wedge \exists (j_3, i, c_2) \in \gamma^+$ де $j_1 \in {}^* \Omega$ виконувати операцію підйому вершин 3-го рівня графу на 2-й рівень графу:

Визначити $D := \{(j, c) \mid j \in \Omega / {}^* \Omega, c \in C^+, (j, i, c) \in \gamma^+\}$ як множину пар «елемент забезпечення - номер варіанту реалізації», що забезпечують елемент i .

Для кожного ситуаційного елементу $\forall s \in {}^o i \cap {}^* \Omega$:

Визначити $E := \{(j, c) \mid j \in \Omega / {}^* \Omega, c \in C^+, (j, s, c) \in \gamma^+, (i, s, c) \in \gamma^+\}$ як множину пар «елемент забезпечення - номер варіанту реалізації» які забезпечують ситуаційний елемент s принаймні в одному варіанті реалізації та варіант яких присутній в зв'язку (i, s) .

Видалити зв'язки ситуаційного елементу s з елементами з E :
 $\forall (j, c) \in E : \gamma^+ := \gamma^+ / (j, i, c)$;

Доповнити множину номерів варіантів реалізації C^+ новими $\|vars(i)\| * (\|c \mid (i, s, c) \in \gamma^+\|)$ варіантами:

$$NV := newc(vars(i), \{c \mid (i, s, c) \in \gamma^+\}, C^+);$$

$$C^+ := C^+ \cup \{c \mid (c_1, c_2, c) \in NV\};$$

де $\{(c_1, c_2, c)\} = newc(X, Y, C)$ - функція, що створює номери нових варіантів реалізації у кількості $\|X\| * \|Y\|$ та пов'язує їх з елементами $X, Y \subseteq C$ у вигляді трійок (c_1, c_2, c) .

Провести розширення множини γ^+ новими зв'язками ситуаційного елементу та його забезпечення з урахуванням нових варіантів реалізації:

$$\forall(j_1, c_1) \in D, \forall(j_2, c_2) \in E:$$

$$c := \{c \mid (c_1, c_2, c) \in NV\};$$

$$\gamma^+ := \gamma^+ \cup (j_2, i, c);$$

$$\gamma^+ := \gamma^+ \cup (j_1, s, c)$$

Видалити множину зв'язків елементу i та його забезпечення

$$\forall(j, c) \in D: \gamma^+ := \gamma^+ / (j, i, c);$$

Для моделі з $\mathbb{K}P \langle \Omega, \gamma^+, C^+ \rangle$ що задане на двошаровому оргграфі з кольоровими дугами може бути використаний комбінований метод «генетичний алгоритм-редукція», що наводиться у [4].

Правило редукції виключенням елементів забезпечення

Умова редукції виключенням елементу забезпечення $i \in \Omega \setminus {}^*\Omega$:

$$\sum_{j \in {}^*i} w_j + w_i < 0 \quad (1)$$

де ${}^*i = \bigcup_{\forall B} {}^*B i = \bigcup_{(i, j, c) \in \gamma^+} j$ - множина всіх ситуаційних елементів, що можуть

бути забезпечені $i \in \Omega \setminus {}^*\Omega$ принаймні в одному з варіантів реалізації.

Доведемо те, що проведення редукції виключенням елементу забезпечення $i \in \Omega \setminus {}^*\Omega$, для якого виконується умова (1), не погіршить розв'язок задачі.

Дійсно, припустимо що $J \in \Omega^{opt}$, $i \in J$ при варіантах реалізації, що задані функцією B . Проведемо редукцію виключенням елементу i , та тих елементів, які необхідно редукувати для збереження узгодженості системи $del(i, J)^B = ({}^*B i)^{<ooB} \cap J$. Тоді $J' = J \setminus (({}^*B i)^{<ooB} \cap J)$ - також буде узгодженою системою.

Оцінимо ефективність системи J' :

$$E(J') = E(J) - \sum_{j \in ({}^*B i)^{<ooB} \cap J} w_j = E(J) - \left(\sum_{j \in {}^*B i \cap J} w_j + \sum_{j \in ({}^*B i)^{ooB} \cap J} w_j \right) \quad (2)$$

Оскільки ${}^*B i \cap J \subseteq {}^*i$ та $\forall j \in {}^*\Omega: w_j \geq 0$, то $\sum_{j \in {}^*B i \cap J} w_j \leq \sum_{j \in {}^*i} w_j$.

Оскільки $i \in ({}^*B i)^{ooB} \cap J$ та $\forall j \in \Omega / \Omega^*: w_j \leq 0$, то $\sum_{j \in ({}^*B i)^{ooB} \cap J} w_j \leq w_i$.

Отже, для (2) виконується наступне:

$$E(J') = E(J) - \left(\sum_{j \in {}^*B_i \cap J} w_j + \sum_{j \in ({}^*B_i)^{ooB} \cap J} w_j \right) > E(J) - \left(\sum_{j \in {}^*i} w_j + w_i \right)$$

Але, постільки за умовою (1) $\sum_{j \in {}^*i} w_j + w_i < 0$, то $E(J') > E(J)$, що

суперечить припущення про оптимальність системи J .

Таким чином елемент забезпечення i для якого виконується (1) не може бути присутнім у оптимальному рішенні задачі.

Змістовна інтерпретація умови (1) – сумарна корисність ситуацій, у забезпеченні яких елемент приймає участь, нижча за його вартість.

Для збереження узгодженості конструктивного різноманіття $\langle \Omega, \gamma^+, C^+ \rangle$ при виконанні умови необхідно провести ланцюгову редукцію виключенням:

Елементу забезпечення i для якого виконується (1).

Всіх варіантів реалізації $c \in C^+$ для яких $\exists(j, i, c) \in \gamma^+$.

Ситуаційних елементів $b \in B$, для яких $vars(b) = \emptyset$ тобто таких для яких було проведено редукцію варіантів забезпечення на попередньому кроці та вже відсутній принаймні один варіант реалізації.

Елементів забезпечення j для яких $\exists(j, i, c) \in \gamma^+, (\neg \exists c_1 \triangleleft c : (j, i, c) \in \gamma^+)$, тобто таких, які після видалення варіантів реалізації, що містять ситуаційний елемент i не приймають учать у забезпеченні принаймні одного ситуаційного елементу.

Правило редукції виключенням ситуаційних елементів

Умова редукції виключенням ситуаційного елементу $i \in {}^*\Omega$:

$$\forall c \in vars(i) : \sum w_j + w_i < 0, \quad (3)$$

де j , такий що $(j, i, c) \in \gamma^+, \neg \exists i_1 \neq i, (j, i_1, c_1) \in \gamma^+$

Доведення від протилежного аналогічне доведенню попереднього правила.

Змістовна інтерпретація умови (3) – у кожному варіанті реалізації для ситуаційного елементу $i \in {}^*\Omega$ присутні ізолювані (тобто пов'язані відношенням забезпечення лише з ситуаційним елементом $i \in {}^*\Omega$) підмножини елементів забезпечення сумарна вартість яких вища за корисність ситуаційного елементу.

Для збереження узгодженості конструктивного різноманіття $\langle \Omega, \gamma^+, C^+ \rangle$ при виконанні умови необхідно провести редукцію виключенням:

Ситуаційного елементу i .

Всіх варіантів реалізації $vars(i)$.

Ізольованих елементів забезпечення $j \in \Omega$, для яких $(j, i, c) \in \gamma^+, \neg \exists i_1 \neq i, (j, i_1, c_1) \in \gamma^+$.

Правило редукції виключенням варіантів реалізації

Умова редукції виключенням варіанту реалізації $c_1 \in C$ ситуаційного елементу $i \in {}^*\Omega$:

$$\begin{aligned} \exists c_2 : {}^o(i^{oc_1} / i^{oc_2} \cup i^{oc_2} / i^{oc_1}) = i; \\ \sum_{j_1 \in i^{oc_1} / i^{oc_2}} w_{j_1} - \sum_{j_1 \in i^{oc_2} / i^{oc_1}} w_{j_1} < 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Доведення від протилежного аналогічне доведенню попередніх правил.

Змістовна інтерпретація правила. У випадку якщо різниця двох варіантів – це ізольовані елементи забезпечення однієї і тієї ж ситуації виключаємо варіант з більш дорогим забезпеченням.

Для збереження узгодженості КР редукції виключенням повинні піддатися варіант реалізації $c_1 \in C$ та елементи з i^{oc_1} / i^{oc_2} .

Правило редукції об'єднанням ситуаційних елементів

Умова того, що ситуаційні елементи $i, i' \in {}^*\Omega$ можна об'єднати в одну інтегровану ситуацію:

$$\begin{aligned} i, i' \in {}^*\Omega : |vars(i)| = |vars(i')|, \\ \forall c \in vars(i) : \exists c' \in vars(i'), i^{oc} = i'^{oc'}, \\ \forall c' \in vars(i') : \exists c \in vars(i), i^{oc} = i'^{oc'} \end{aligned} \quad (5)$$

Доведення від протилежного аналогічне доведенню попередніх правил.

Змістовна інтерпретація правила. Якщо ситуаційні елементи мають повністю співпадаючі варіанти реалізації їх доцільно об'єднати в одну ситуацію з сумарною вартістю.

Для збереження узгодженості КР редукції виключенням повинні піддатися ситуаційний елемент $i \in {}^*\Omega$, всі варіанти його реалізації $vars(i)$. Вартість елементу $w_i = w_{i'} + w_i$.

Обчислювальний експеримент

Випробування були проведені випадково згенерованих даних по 40 комплектів кожної розмірності. Результати наводяться у таблиці 1.

Таблиця 1

Результати виконання правил редукції виключенням елементів та варіантів реалізації і редукції об'єднанням СЕ

№ п/п	Розмірність до				Розмірність після			
	Вершин 1-го шару	Вершин 2-го шару	Середня вар-ть	Час роботи	Вершин 1-го шару	Вершин 2-го шару	Середня вар-ть	Час роботи
1	5	5	2	1 мс.	5	5	2	<1 мс.
2	5	20	5	1 мс.	5	17	4,3	<1 мс.
3	10	20	3	8 мс.	8	15	2,1	5 мс.
4	15	40	3	28 мс.	12	32	2,1	16 мс.
5	15	40	4	39 мс.	13	35	2,7	19 мс.
6	20	20	5	50 мс.	15	16	3,9	24 мс.
7	20	50	5	81 мс.	17	32	3,2	13 мс.
8	50	50	3	1с	31	34	2	79 мс.
9	50	50	10	802 мс.	33	37	6,4	1,1 с.
10	50	200	15	5,5с	32	117	8,1	2,1 с.
11	100	100	15	11,2 с.	73	83	7,2	3,4 с.
12	100	400	20	45 с.	75	88	10,4	8,7 с.
13	500	500	3	12 хв.	180	211	2,1	19 с.
14	500	500	20	47 хв.	193	234	8,2	45 с.
15	500	1000	3	2 год.	174	573	1,8	40 с.
16	500	2000	20	17 год.	221	876	7,1	1,2 год
17	1000	1000	20	43 год.	434	511	6,8	4 год.
18	1000	5000	20	>284 год.	324	913	5,3	3 год.
19	5000	5000	20	>284 год.	984	1273	5,3	8 год.

Результати такого експерименту свідчать про високу доцільність використання правил редукції виключенням та об'єднанням для вхідних даних задачі, ефективність застосування яких зростає зі зростанням розмірності вхідних даних і значно розширює область ефективного застосування запропонованого підходу. Зокрема, як видно з таблиці 1 були досягнуті прийнятні результати часу роботи алгоритму для розмірності вхідних даних – 5000 ситуаційних елементів, 5000 елементів забезпечення при варіантності – 20.

Висновки

У статті було розглянуто модель задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації систем класу ERP/MRP з альтернативним забезпеченням та алгоритм її зведення до відомої моделі задачі вибору оптимальної функціональної конфігурації з множинними заміщеннями заданій на двошаровому графі з кольоровими дугами [4]. Проведено аналіз роботи запропонованого у [4] алгоритму на даних високої розмірності (порядку 10^4 конструктивних елементів).

Для покращення роботи алгоритму запропоновано використання правил редукції вхідних даних задачі, зокрема розроблено правила редукції виключенням елементів забезпечення, варіантів реалізації та ситуаційних елементів та редукції об'єднанням ситуаційних елементів.

Проведено обчислювальний експеримент для встановлення ефективності роботи запропонованого підходу, що встановив високу частоту спрацювань та ефективність застосування правил редукції виключенням та об'єднанням. Зокрема використання правил редукції на даних розмірності 10^4 збільшує швидкодію алгоритму на 2 порядки.

Отримані результати мають велике практичне значення, оскільки застосування правил редукції дозволяє розв'язувати задачі з вхідними даними практичної розмірності. Зокрема, без використання правил редукції розмірність вхідних даних на яких алгоритм працює за прийнятний час складала 10^3 , а з використанням правил редукції 10^4 .

ЛІТЕРАТУРА

1. Стратегічне планування розвитку функціональності КІС методом редукції/ Гриша С.М., Стенін О.А., Іотко О.А., Хедоят Хейдорі – К.: Адаптивні системи автоматичного управління. – 2007 10₍₃₀₎.С. 45-53
2. Гриша С.Н. Информационно-стоимостной анализ и синтез моделей компьютеризованного управления производственными системами : Дис. ... док. техн. наук. : спец. : 05.13.06 / Киевский политехнический институт. - К., 1991. - 340 с.

3. Галяпа А.А. Построение алгоритмической модели системы управления на основе информационно-стоимостного анализа : Дис. ... канд. техн. наук : спец. :05.13.06 / Киевский политехнический институт. – К., 1991. – 132 с.
4. Стратегічне планування функціональності ERP/MRP-систем із врахуванням множинних заміщень / Гриша С.М., Іотко О.А. // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 2008 – № 6 – С. 20–24.
5. Алгоритмы построение и анализ /Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р.– М.: МЦНМО. – 2002. – 960 с.

Одержано 12.06.2009р.

УДК 621-771

В.А. Гринкевич, Д.В. Коноводов, О.М. Кузьмина

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСКРЕТНОГО МЕТОДА ПРЯМОГО РЕШЕНИЯ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Постановка проблемы. В настоящее время номенклатура кованных и штампованных поковок достигает более миллиона типоразмеров, и это количество неуклонно увеличивается. Следовательно, возрастают требования не только к качеству разрабатываемых технологических процессов, но и к оперативности их создания. В этих условиях существенна роль расчетных методов и, в частности, методов решения краевых задач пластического деформирования.

Необходимо также отметить, что современные численные методы решения краевых задач обработки металлов давлением при всей своей мощи и гибкости предполагают проведение большого количества последовательных приближений (итераций), каждая из которых требует большого количества вычислений. Даже на современных мощных персональных компьютерах время решения таких задач исчисляется часами и сутками, что не всегда является приемлемым, поскольку приводит к увеличению общего времени, необходимого для проектирования новых технологических процессов.

Поэтому проблема разработки методов решения краевых задач пластического деформирования, которые сочетали бы точность современных численных методов с необходимой скоростью решения, достаточной в том числе для систем управления процессами обработки давлением в режиме реального времени, является актуальной.

Современные требования к математическим моделям процессов обработки металлов давлением предполагают более полный учет физико-механических процессов, протекающих в очаге пластической деформации. Помимо учета деформационного и скоростного упрочнения, тепловых процессов, анизотропии свойств и т. п., необходимо также принимать во внимание реальное соотношение

© Гринкевич В.А., Коноводов Д.В., Кузьмина О.М., 2009

между двумя составляющими деформации: деформацией объема и формоизменением.

Анализ существующих публикаций. Для учета этого фактора сегодня наиболее широко применяется вариационно-энергетический подход в сочетании с конечно-элементной дискретизацией, основные идеи и примеры реализации которого приведены, в частности, в [1].

Одной из фундаментальных проблем подобных моделей является сложность учета условия несжимаемости деформируемой среды – равенство нулю дивергенции вектора скорости ($\text{div} \vec{V} = 0$). Для решения этой проблемы при использовании вариационно-энергетического подхода часто применяют метод штрафных функций. Слишком большие штрафные константы, как правило, ухудшают качество получаемых решений – условие несжимаемости подавляет вязкие свойства деформируемой среды. Другой способ – смешанная вариационная формулировка на основе принципа Маркова-Германна – имеет свои недостатки: снижается обусловленность матриц разрешающих систем алгебраических уравнений и, как следствие, уменьшается точность определения компонентов напряженного состояния.

Альтернативный подход, не имеющий этой проблемы, заключается в использовании метода граничных интегральных уравнений с дискретизацией граничными элементами. Заметим, что существует две основных формулировки данного подхода: прямая и непрямая [2]. Существуют также и некоторые промежуточные формулировки, например, метод разрывных смещений [3], однако, их рассмотрение выходит за рамки данной работы.

В работе [4] приведена формулировка краевой задачи пластического деформирования в рамках теории пластического течения и метода фиктивных нагрузок, для которой была получена система интегральных уравнений, линейная относительно неизвестных краевой задачи. Там же приведено решение тестовой задачи об осадке длинной полосы в штампах, где было показано, что предлагаемый метод позволяет в несколько раз снизить время получения решения краевой задачи.

Вместе с тем, разработанный подход не предполагает использование его в системах оперативного управления процессом обработки металлов давлением, в частности, свободнойковки. Для

этого необходимы алгоритмы, позволяющие получать решение краевой задачи в режиме реального времени. Другими словами, время решения краевой задачи, в случае использования соответствующего алгоритма для управления, например, процессом кузнечной вытяжки, не должно превышать одной секунды. Следовательно, время получения решения в этом случае необходимо снижать уже в десятки или сотни раз.

Постановка задачи. Целью данной работы является уточненное теоретическое доказательство сформулированных ранее утверждений [4] и разработка алгоритма, позволяющего быстро и с достаточной точностью определять значения неизвестных параметров напряженно-деформированного состояния непосредственно в точке границы деформированного тела.

Представляет интерес возможность получения решения только для выбранной части границы (или вообще только для одной точки границы) без решения краевой задачи в обычном понимании.

Изложение основных материалов исследования. Сформулируем и докажем следующее утверждение:

Если для линейно-вязкого (жесткопластического) тела, находящегося в состоянии равновесия под воздействием системы внешних нагрузок, корректно заданы граничные условия, то компоненты этих нагрузок, приложенные в заданной точке границы тела, могут быть определены непосредственно, т. е. без решения соответствующей краевой задачи.

Доказательство справедливости данного утверждения основано на полученной ранее [4] разрешающей системе линейных интегральных уравнений, которая при помощи метода граничных элементов преобразовывается к линейной системе алгебраических уравнений вида (1):

$$[K]\{P\} = \{B_v\} \quad (1)$$

где $[K]$ – матрица коэффициентов влияния; $\{P\}$ – вектор неизвестных интенсивностей внешних нагрузок, приложенных к каждому граничному элементу (в случае жесткопластической задачи к ним добавляются также компоненты дополнительных объемных сил); $\{B_v\}$ – вектор заданных граничных условий.

Далее переставим местами столбцы матрицы системы (1) таким образом, чтобы уравнения, записанные для заданной точки границы, оказались первыми. Запишем систему (1) в блочном виде, сгруппировав фиктивные нагрузки, приложенные в данной точке границы тела, и все остальные:

$$\begin{cases} A_{11}X_1 + A_{12}X_2 = B_1 \\ A_{21}X_1 + A_{22}X_2 = B_2 \end{cases} \quad (2)$$

где $[A_{ij}]$ – являются подматрицами матрицы $[K]$; матрица $[A_{11}]$ и векторы $\{X_1\}$ и $\{B_1\}$ имеют размерность 3 для трехмерной задачи или 2 для двумерной задачи, соответственно.

Применяя тождественные преобразования, получаем выражение для определения вектора $\{X_1\}$ (для простоты выражения квадратные и фигурные скобки в выражениях (1) и (2) опущены):

$$X_1 = (A_{11} - A_{12} \cdot A_{22}^{-1} \cdot A_{21})^{-1} \cdot (B_1 - A_{12} \cdot A_{22}^{-1} \cdot B_2) \quad (3)$$

Таким образом, получено выражение, при помощи которого можно определить фиктивные нагрузки, приложенные в данной точке границы тела, не определяя все остальные, т. е. без решения соответствующей краевой задачи.

Отметим, что для эффективного управления процессом пластической деформации достаточно иметь информацию о кинематическом и напряженно-деформированном состоянии только в нескольких точках границы тела и внутри его. Например, при проведении процесса кузнечной вытяжки в программном режиме на автоматизированных ковочных комплексах желательно иметь информацию о скоростях течения в тех участках контура заготовки, которые могут вытечь либо в глубину выреза бойка, либо в зазор между бойками, либо образовать утяжину.

Кроме того, желательно также отслеживать напряженное состояние в «опасных» точках внутри заготовки. В этом случае управляющий компьютер может, оперативно изменяя величины деформаций и подач, выполнять протяжку заготовки с максимальной производительностью при гарантированном получении нужных размеров заготовки и отсутствии затеканий, зажимов металла, а также отсутствия рыхлот и трещин.

Сформулируем и докажем следующее утверждение:

Если для жесткопластического тела, находящегося в состоянии равновесия под воздействием системы внешних нагрузок, корректно заданы граничные условия, то неизвестные компоненты векторов скорости и напряжения в любой заданной точке его границы определяются непосредственно, т. е. без решения соответствующей краевой задачи.

1) Мысленно разобьем границу деформированного тела на конечное число участков – граничных элементов, к каждому из которых приложим равномерно распределенные кельвиновские сосредоточенные силы со значением коэффициента Пуассона, равным 0,5 (эти выражения приведены в многочисленных публикациях по теории упругости, например, в работе [5]). Приложим также систему дополнительных объемных сил для удовлетворения уравнениям связи в рамках теории течения Сен-Венана – Леви – Мизеса. Тогда, в силу доказанного ранее теоретического положения о краевой жесткопластической задаче [4], будут справедливы линейные системы интегральных уравнений для жесткопластического тела. Предположим, что дискретизация границы позволяет получить решение с требуемой точностью. Предположим также, что дискретизация границы такова, что в пределах каждого линейного участка, аппроксимирующего границу, распределение поверхностных фиктивных нагрузок будет близко к линейному. Проведя вычисление коэффициентов влияния от всех фиктивных нагрузок на компоненты кинематического и напряженно-деформированного состояния в заданной точке границы, получим стандартную разрешающую систему непрямого метода граничных элементов.

2) При помощи доказанного выше положения о фиктивной нагрузке определим компоненты фиктивных нагрузок, приложенных в заданной точке границы, в характерных точках границы, а также компоненты дополнительных объемных сил. Заметим, что определенные таким образом компоненты фиктивных нагрузок будут точными (в пределах погрешности дискретизации и ошибки округления).

3) Скорректируем коэффициенты влияния фиктивных нагрузок, приложенных в характерных точках границы, таким образом, чтобы соответствующий участок границы представлял собой уже один граничный элемент. В частности, при кусочно-линейной

аппроксимации границы соответствующий коэффициент влияния просто умножается на количество граничных элементов, на которое был первоначально разбит данный участок границы. Заметим, что если исходная дискретизация границы обеспечивает линейное распределение фиктивных нагрузок вдоль данного участка границы, то сведение этого линейного участка к одному граничному элементу будет статически эквивалентным.

4) С учетом этого запишем выражения для определения искомых компонентов векторов скорости и напряжения:

$$V_i^k = a_i^{k\text{-own}} P_i^{k\text{-own}} + a_i^{k\text{-other}} P_i^{k\text{-other}} + c_i^{k\text{-add}} F_i^{k\text{-add}} \quad (4)$$

$$t_i^k = b_i^{k\text{-own}} P_i^{k\text{-own}} + b_i^{k\text{-other}} P_i^{k\text{-other}} + d_i^{k\text{-add}} F_i^{k\text{-add}} \quad (5)$$

где a_i, b_i, c_i – коэффициенты влияния, полученные интегрированием фундаментальных решений Кельвина; индекс «own» относится к фиктивным нагрузкам, приложенным в заданной точке границы; индекс «other» относится к фиктивным нагрузкам, приложенным в характерных точках границы; индекс «add» относится к дополнительным объемным силам.

И, наконец, определим искомые компоненты векторов скорости и напряжений при помощи выражений (4) - (5). Поскольку в данных выражениях все фиктивные нагрузки и коэффициенты влияния получены путем тождественных преобразований и статически эквивалентных замен, то (с учетом сделанных допущений) полученные таким образом неизвестные компоненты векторов скорости и напряжения в заданной точке границы будут точным решением исходной краевой задачи в заданной точке границы. Кроме того, при этом не производится определение неизвестных по всей границе деформированного тела, т. е. не производится решение краевой задачи в обычном понимании. Следовательно, сформулированное утверждение можно считать справедливым.

Отметим, что это теоретическое положение может быть практически использовано при различных типах граничных условий, включая смешанные.

Результаты исследований. С учетом изложенного выше укрупненный алгоритм дискретного метода прямого решения содержит следующие шаги:

1. Задание геометрии тела (заготовки), исходной сетки граничных элементов, свойств, граничных условий.

2. Расчет коэффициентов влияния во всех точках границы (на основе решений Кельвина при $\nu=0,5$).

3. Определение фиктивных нагрузок в заданной точке деформированного тела, в характерных точках границы и компонентов дополнительных объемных сил, выражение (3).

4. Коррекция коэффициентов влияния от фиктивных нагрузок, приложенных в характерных точках границы.

5. Определение искомых компонентов векторов скорости и напряжения в заданной точке границы из выражений (4) – (5).

6. Выполнение пунктов 3 – 5 для остальных характерных точек границы.

Необходимо отметить, что можно существенно сократить объем вычислительной работы, если построить исходную гранично-элементную сетку таким образом, чтобы целевые точки (точки, значения неизвестных в которых необходимо получить в результате решения краевой задачи) по возможности совпадали или были близки к характерным точкам границы. В этом случае количество требуемых арифметических операций сократится в несколько раз, а в некоторых случаях, и в несколько десятков раз. Это обстоятельство позволяет применить разработанный подход в системах оперативного управления процессами обработки металлов давлением, в частности, процессами свободной ковки на автоматизированных ковочных комплексах с программным управлением.

Выводы

1. Приведено теоретическое доказательство предложенного ранее дискретного метода прямого решения краевых задач пластического деформирования.

2. Изложен алгоритм реализации дискретного метода прямого решения краевых задач пластического деформирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Данченко В.Н., Миленин А.А., Кузьменко В.И., Гринкевич В.А. Компьютерное моделирование процессов обработки металлов давлением. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005.- 448 с.
2. Бенерджи П., Баттерфилд Р. Методы граничных элементов в прикладных науках: Пер.с англ. –М.: Мир, 1984. – 494 с.

3. Крауч С., Старфилд А. Методы граничных элементов в механике твердого тела: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
4. Grynkevych V., Danchenko V. On The Solution Of Metal Forming Boundary Value Problems In Real Time Mode // Proc. International Conference «Advances in metallurgical processes and materials». – Dnipropetrovsk, may 27-30. 2007. - Volumes 2. - P. 272-278.
5. Амензаде Ю.А. Теория упругости. – М.: Высшая школа, 1976. – 272 с.

Получено 09.06.2009г.

УДК 519-873

А.И. Песчанский

ПОЛУМАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОНОТОННОЙ СИСТЕМЫ С УЧЁТОМ ВОЗРАСТА И ОТКЛЮЧЕНИЕМ ЕЁ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение. Одной из стратегий технического обслуживания (ТО) элемента является стратегия, известная в литературе под названием «восстановление в зависимости от возраста» [1,2]. Данная стратегия предполагает, что элемент полностью восстанавливается после отказа. Если же элемент проработал без отказа заданный интервал времени τ , то проводится его ТО, после которого он также полностью обновляется. В [3] построена полумарковская модель указанной стратегии ТО многокомпонентной системы с монотонной структурой в предположении, что в результате отказа какого-либо элемента системы не происходит отключения работоспособных элементов (функционально связанных с отказавшим), которые не принадлежат ни одному работоспособному пути

Целью данной работы является построение полумарковской модели ТО по возрасту элементов сложной системы с учётом их отключения. Необходимо также найти стационарные надёжностные и экономические показатели функционирования системы и решить задачу определения оптимальных сроков проведения ТО элементов.

Постановка задачи и построение математической модели. Рассмотрим N -компонентную систему с монотонной структурой. Опишем стратегию ТО её элементов.

В начальный момент времени $t = 0$ начинается эксплуатация системы и назначается допустимый уровень наработки (возраст) τ_i каждого i -го элемента системы, при достижении которого проводится его плановое ТО. Время безотказной работы i -го элемента системы – случайная величина (СВ) α_i с ФР $F_i(t)$. Если к назначенному моменту τ_i i -й элемент системы не отказал, тогда начинается плановое ТО элемента, которое его полностью обновляет. Длительность этого ТО – СВ β_i^p с ФР $G_i^p(t)$.

© Песчанский А.И., 2009

Если до назначенного момента τ_i i -й элемент системы отказывает, то отказ обнаруживается мгновенно и начинается его аварийное восстановление (АВ). Длительной этой восстановительной работы – СВ β_i с ФР $G_i(t)$. В результате АВ элемент также полностью обновляется и весь процесс обслуживания повторяется заново.

Предположим, что в результате аварийного отказа или в связи с началом ТО какого-либо элемента происходит отключение тех работоспособных элементов системы, которые не принадлежат более ни одному работоспособному пути. Также отключаются элементы, находящиеся в состоянии АВ или ТО и восстановление которых не приведет к образованию работоспособного пути.

Отключенные элементы включаются в систему с тем же уровнем работоспособности, на котором их застало отключение. Включение происходит в момент окончания АВ или завершения ТО какого-либо элемента, при условии образования совместно с восстановившимся элементом работоспособного пути.

Перейдем к построению полумарковской модели системы. Начнем с фазового пространства состояний. Каждый элемент системы может находиться в трех физических состояниях:

1 – в работоспособном состоянии или быть отключённым в работоспособном состоянии;

0 – восстанавливаться или быть отключённым в восстанавливаемом состоянии;

2 – в состоянии ТО или быть отключённым в состоянии ТО.

Физические состояния системы опишем множеством векторов $D = \{\bar{d} = (d_1, \dots, d_N), d_k = 0, 1, 2; k = \overline{1, N}\}$. Компонента d_k вектора $\bar{d}$ указывает на физическое состояние k -го элемента системы.

Для того чтобы физические состояния обладали полумарковским свойством, эти состояния расширим. Для этого будем указывать номер элемента, изменившего своё состояние последним. Добавим непрерывные компоненты, указывающие на оставшиеся времена до ближайших изменений состояний элементов. В кодировке расширенного состояния эти времена будут описываться вектором $\bar{x}^{(i)} = (x_1, \dots, x_{i-1}, 0, x_{i+1}, \dots, x_N)$.

Также в соответствии с выбранной стратегией ТО элементов в кодировку состояний системы введем вектор $\bar{u} = (u_1, \dots, u_N)$,

компоненты которого указывают на наработку элементов с момента последнего возобновления их работоспособности.

Таким образом, фазовое пространство ПМ состояний системы с учетом проведения ТО её элементов определяется кодами $E^* = \left\{ \overline{id x^{(i)}} \overline{u}, i = \overline{1, N} \right\}$. Расшифруем содержательный смысл кода состояний:

i – номер элемента, изменившего свое «физическое» состояние последним;

$d_k = 0, 1, 2$ – код физического состояния k -го элемента системы;

x_k – время с момента последнего изменения состояния i -го элемента до ближайшего момента изменения состояния k -го элемента ($x_i = 0$) без учета времени отключения; причем, если $d_k = 1$, то x_k – время до ближайшего аварийного отказа k -го элемента;

u_k – наработка k -го элемента с момента окончания его последнего АВ или ТО. Если $d_k = 2$, то считается, что $u_k = \tau_k$. В момент восстановления работоспособности i -го элемента после его ТО или АВ, наработка этого элемента равна нулю: $u_i = 0$.

Обозначим через I_d множество номеров элементов, отключаемых в состоянии $\overline{id x^{(i)}} \overline{u}, i = \overline{1, N}$. Времена пребывания системы в состояниях задаются формулами

$$\theta_{\overline{id x^{(i)}} \overline{u}} = \gamma_i^{(d_i)} \wedge \bigwedge_{\substack{k \neq i \\ k \notin I_d}} x_k \bigwedge_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \notin I_d}} (\tau_k - u_k),$$

где Λ – знак минимума; Ω_d^1 – совокупность номеров компонент

$$\text{вектора } \overline{d}, \text{ равных } 1, \gamma_i^{(d_i)} = \begin{cases} \alpha_i, & d_i = 1, \\ \beta_i, & d_i = 0, \\ \beta_i^p, & d_i = 2. \end{cases}$$

Опишем вероятности (плотности вероятностей) переходов вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n, n \geq 0\}$. Заметим, что i -й элемент из физического состояния 1 может перейти в состояние 0 (АВ) и в состояние 2 (ТО), а из состояний 0 и 2 – только в состояние 1.

Обозначим

$$z_{i, I_d} = \bigwedge_{\substack{k \neq i \\ k \notin I_d}} x_k \wedge \bigwedge_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \notin I_d}} (\tau_k - u_k), \quad (1)$$

а через Ω_d^0 , Ω_d^2 – совокупности номеров компонент вектора $\bar{d}$, равных соответственно 0 и 2.

Из состояния $\overline{id\bar{x}^{(i)}\bar{u}}$, $i = \overline{1, N}$, переходы бывают следующих типов:

а) в совокупность состояний $\overline{id'\bar{x}^{(i)}\bar{u}'}$, $d'_i \neq 2$, с плотностью вероятности перехода $p_{\overline{id\bar{x}^{(i)}\bar{u}}}^{\overline{id'\bar{x}^{(i)}\bar{u}'}} = \psi_i^{(d_i)}(z_{i,I_d} - y)$, где $y < z_{i,I_d}$, $\psi_i^{(d_i)}(\cdot)$ – плотность распределения вероятностей СВ $\gamma_i^{(d_i)}$,

$$d'_k = d_k, k \neq i; x'_k = x_k - (z_{i,I_d} - y), k \neq i, k \notin I_d; x'_k = x_k, k \in I_d;$$

$$u'_k = \begin{cases} u_k + z_{i,I_d} - y, & k \in \Omega_d^1, k \notin I_d, \\ u_k, & k \in \Omega_d^0, k \in I_d, \\ \tau_k, & k \in \Omega_d^2, \end{cases} \quad k \neq i, \quad u'_i = \begin{cases} u_i + z_{i,I_d} - y, & i \in \Omega_d^1, \\ 0, & i \in \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2; \end{cases}$$

б) в совокупность состояний $\overline{id'\bar{x}^{(i)}\bar{u}'}$, $d_i = 1$, $d'_i = 2$, с вероятностью перехода $P_{\overline{id\bar{x}^{(i)}\bar{u}}}^{\overline{id'\bar{x}^{(i)}\bar{u}'}} = \bar{F}_i(\tau_i)$, где

$$d'_k = d_k, k \neq i; x'_k = x_k - \tau_i, k \neq i, k \notin I_d; x'_k = x_k, k \in I_d;$$

$$u'_k = \begin{cases} u_k + \tau_i, & k \in \Omega_d^1, k \notin I_d, \\ u_k, & k \in \Omega_d^0, k \in I_d, \\ \tau_k, & k \in \Omega_d^2; \end{cases}$$

в) в совокупность состояний $\overline{j\bar{d}'\bar{x}^{(j)}\bar{u}'}$, $j \neq i, j \notin I_d$, с плотностью вероятности перехода $p_{\overline{id\bar{x}^{(i)}\bar{u}}}^{\overline{j\bar{d}'\bar{x}^{(j)}\bar{u}'}} = \psi_i^{(d_i)}(z_{i,I_d} + y)$,

где $y > 0$, $d'_k = d_k, k \neq j, x'_i = y, x'_k = x_k - z_{i,I_d}, k \neq i, j$,

$$u'_j = \begin{cases} u_j + z_{i,I_d}, & j \in \Omega_d^1, d'_j = 0, \\ \tau_j, & j \in \Omega_d^1, d'_j = 2, \\ 0, & j \in \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2, \end{cases} \quad u'_k = \begin{cases} u_k + z_{i,I_d}, & k \in \Omega_d^1, k \notin I_d, \\ u_k, & k \in \Omega_d^0, k \in I_d, \\ \tau_k, & k \in \Omega_d^2, \end{cases} \quad k \neq j.$$

Предположим, что для ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ выполняются условия существования и единственности стационарного распределения $\rho(\cdot)$ [4,5].

Имеет место

Теорема. Стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ определяется формулами

$$\rho\left(\overline{id\bar{x}}^{(i)}\overline{u}\right)=\begin{cases} \rho\prod_{k\in\Omega_d^0}f_k(u_k)\overline{G}_k(x_k)\prod_{k\in\Omega_d^1}f_k(u_k+x_k)\prod_{k\in\Omega_d^2}\overline{F}_k(\tau_k)\overline{G}_k^p(x_k), & i\notin\Omega_d^1, x_i=0, \\ \rho\prod_{k\in\Omega_d^0}f_k(u_k)\overline{G}_k(x_k)\prod_{\substack{k\in\Omega_d^1 \\ k\neq i}}f_k(u_k+x_k)\prod_{k\in\Omega_d^2}\overline{F}_k(\tau_k)\overline{G}_k^p(x_k), & i\in\Omega_d^1, \end{cases} \quad (2)$$

$$\rho=\left[\sum_{d\in D^*}\left[\sum_{\substack{i\in\Omega_d^1 \\ i\notin I_d}}\prod_{k=1}^NT_k^{(d_k)}(\tau_k)+\sum_{\substack{i\in\Omega_d^0 \\ i\notin I_d}}F_i(\tau_i)\prod_{\substack{k=1 \\ k\neq i}}^NT_k^{(d_k)}(\tau_k)+\sum_{\substack{i\in\Omega_d^2 \\ i\notin I_d}}\overline{F}_i(\tau_i)\prod_{k=1}^NT_k^{(d_k)}(\tau_k)\right]\right]^{-1}.$$

$$T_k^{(d_k)}=\begin{cases} \int_0^{\tau_k}\overline{F}_k(t)dt, & d_k=1, \\ F_k(\tau_k)M\beta_k, & d_k=0, \\ \overline{F}_k(\tau_k)M\beta_k^p, & d_k=2. \end{cases}$$

Доказательство. Стационарное распределение вероятностей $\rho(B)$ удовлетворяет системе интегральных уравнений [4]

$$\rho(B)=\int_{E^*}\rho(dz)P(z,B), \quad \rho(B)=1.$$

Уравнение из этой системы, например, для состояния $\overline{id\bar{x}}^{(i)}\overline{u}$, $d_i=0$, $i=\overline{1,N}$; $i\notin I_d$; имеет вид:

$$\rho\left(\overline{id\bar{x}}^{(i)}\overline{u}\right)=f_m(x_m+u_{m,I})\rho\left(m\overline{d'x''}^{(m)}\overline{u''}\right)+\sum_{\substack{j\in\Omega_{d'}^0\cup\Omega_{d'}^2 \\ j\notin I_{d'}}}\int_0^{u_{m,I}}\psi_j^{(d'_j)}(t+x_j)\rho\left(j\overline{d'x'}^{(j)}\overline{u'}\right)dt, \quad (3)$$

$$x_i=0, d_i=0, i=\overline{1,N}; i\notin I_d; \quad d'_i=1, d'_k=d_k, k\neq i, u_{m,I}=\bigwedge_{\substack{k\in\Omega_{d'}^1 \\ k\notin I_{d'}}}u_k,$$

Непосредственной подстановкой убедимся, что формулы (2) определяют решение этого уравнения. Для интересующего нас состояния $\overline{id\bar{x}}^{(i)}\overline{u}$ имеем

$d_i = 0, d'_i = 1, \Omega_{d'}^1 - \{i\} = \Omega_{d'}^1, \Omega_{d'}^0 \cup \{i\} = \Omega_{d'}^0, \Omega_{d'}^2 = \Omega_{d'}^2$. Подставляя (2) в правую часть уравнения (3), получаем

$$\begin{aligned}
 & f_m(u_{m,I} + x_m) \prod_{k \in \Omega_{d'}^0} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k + u_{m,I}) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^1 \\ k \neq m}} f_k(u_k + x_k) \prod_{k \in \Omega_{d'}^2} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k + u_{m,I}) + \\
 & + \left[\sum_{\substack{j \in \Omega_{d'}^0 \\ j \notin I_{d'}}} \int_0^{u_{m,I}} g_j(x_j + t) f_j(u_j) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^0 \\ k \notin I_{d'}, k \neq j}} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k + t) \prod_{k \in \Omega_{d'}^1} f_k(u_k + x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^2 \\ k \notin I_{d'}}} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k + t) dt + \right. \\
 & + \sum_{\substack{j \in \Omega_{d'}^2 \\ j \notin I_{d'}}} \int_0^{u_{m,I}} g_j^p(x_j + t) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^0 \\ k \notin I_{d'}}} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k + t) \prod_{k \in \Omega_{d'}^1} f_k(u_k + x_k) \bar{F}_j(\tau_j) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^2 \\ k \notin I_{d'}, k \neq j}} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k + t) dt \left. \right] \times \\
 & \times \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^0 \\ k \in I_{d'}}} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^2 \\ k \in I_{d'}}} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k) = \\
 & = \prod_{k \in \Omega_{d'}^0} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k + u_{m,I}) \prod_{k \in \Omega_{d'}^1} f_k(u_k + x_k) \prod_{k \in \Omega_{d'}^2} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k + u_{m,I}) - \\
 & - \prod_{k \in \Omega_{d'}^0} f_k(u_k + x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^0 \\ k \in I_{d'}}} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^2 \\ k \in I_{d'}}} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k) \times \\
 & \times \int_0^{u_{m,I}} \frac{d}{dt} \left[\prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^0 \\ k \notin I_{d'}}} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k + t) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^2 \\ k \notin I_{d'}}} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k + t) \right] dt = \\
 & = \prod_{k \in \Omega_{d'}^1} f_k(u_k + x_k) \prod_{k \in \Omega_{d'}^0} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k) \prod_{k \in \Omega_{d'}^2} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k) = \\
 & = f_i(u_i) \prod_{k \in \Omega_{d'}^1} f_k(u_k + x_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_{d'}^0 \\ k \neq i}} f_k(u_k) \bar{G}_k(x_k) \prod_{k \in \Omega_{d'}^2} \bar{F}_k(\tau_k) \bar{G}_k^p(x_k) = \frac{1}{\rho} \rho \left(i \overline{dx}^{(i)} \bar{u} \right).
 \end{aligned}$$

Аналогично проверяется, что формулы (2) определяют стационарные распределения для остальных состояний системы. Постоянная ρ находится из условия нормировки.

Нахождение стационарных характеристик системы. Определим следующие стационарные показатели качества функционирования системы: среднюю стационарную наработку на отказ T_+^* системы; среднее стационарное время восстановления T_-^* ; стационарный коэффициент технического использования $K_u^*(\tau_1, \dots, \tau_N)$; средний

удельный доход $S^*(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящийся на единицу календарного времени и средние удельные затраты $C^*(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящиеся на единицу времени исправного функционирования системы.

Разобьем фазовое пространство E^* состояний системы на два непересекающихся подмножества E_+^* и E_-^* ; E_+^* – подмножество работоспособных состояний, E_-^* – подмножество отказовых состояний:

$$E_+^* = \left\{ i \overline{dx}^{(i)} \overline{u}, \overline{d} \in D_+^*, i = \overline{1, N} \right\}, E_-^* = \left\{ i \overline{dx}^{(i)} \overline{u}, \overline{d} \in D_-^*, i = \overline{1, N} \right\}.$$

Здесь $D_+^*(D_-^*)$ – множество векторов $\overline{d}$, компоненты которых равны кодам физических состояний элементов системы, находящейся в подмножестве работоспособных (отказовых) состояний $E_+^*(E_-^*)$.

Среднюю стационарную наработку на отказ T_+^* , среднее стационарное время восстановления T_-^* и стационарный коэффициент технического использования (КТИ) K_u^* системы найдем по формулам [4,5]

$$T_+^* = \frac{\int_{E_+^*} m(z) \rho(dz)}{\int_{E_-^*} \rho(dz) P(z, E_+^*)}, T_-^* = \frac{\int_{E_-^*} m(z) \rho(dz)}{\int_{E_-^*} \rho(dz) P(z, E_+^*)}, K_u^* = \frac{T_+^*}{T_+^* + T_-^*}, \quad (4)$$

где $\rho(\cdot)$ – стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$, $m(z)$ – средние времена пребывания в состояниях системы, $P(z, E_+^*)$ – вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ из отказовых состояний в работоспособные.

Для вычисления стационарных показателей по формулам (4) вычислим основные характеристики, входящие в эти формулы.

Начнём с интеграла $\int_{E_+^*} m(z) \rho(dz)$. Среднее время пребывания системы в состоянии $i \overline{dx}^{(i)} \overline{u}$ находится по формуле

$$M \left[\theta_{i \overline{dx}^{(i)} \overline{u}} \right] = \int_0^{z_{i, I_d}} \overline{\Psi}_i^{(d_i)}(t) dt, \text{ где } z_{i, I_d} \text{ определяется (1). Имеем}$$

$$\begin{aligned}
 \int_{E_+^*} m(z) \rho(dz) &= \sum_{d \in D_+^*} \sum_{i=1}^N \int_{U} d\bar{u} \int_{R_+^{N,i}} \rho(\bar{d}x^{-(i)} \bar{u}) d\bar{x}^{-(i)} \int_0^{z_{i,I_d}} \bar{\Psi}_i^{(d_i)}(t) dt = \\
 &= - \sum_{d \in D_+^*} \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \notin I_d}} \int_0^{\tau_k} \bar{F}_k(s) ds \int_0^{\tau_{1,I_d}} \frac{d}{dt} \left[\prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \notin I_d}} \int_t^{\tau_k} \bar{F}_k(s) ds \prod_{k \in \Omega_d^0} F_k(\tau_k) \int_t^\infty \bar{G}_k(s) ds \prod_{k \in \Omega_d^2} \bar{F}_k(\tau_k) \int_t^\infty \bar{G}_k^p(s) ds \right] dt = \\
 &= \sum_{d \in D_+^*} \prod_{k \in \Omega_d^1} \int_0^{\tau_k} \bar{F}_k(s) ds \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k F_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p \bar{F}_k(\tau_k) = \sum_{d \in D_+^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k).
 \end{aligned}$$

Здесь

$$\begin{aligned}
 \tau^{1,I_d} &= \bigwedge_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \notin I_d}} \tau_k, \quad R_+^{N,i} = \left\{ \bar{x}^{-(i)}, x_k \geq 0, k = \overline{1, N} \right\}, \\
 U &= \left\{ \bar{u} = (u_{i_1}, \dots, u_{i_s}), 0 \leq u_{i_r} \leq \tau_k, i_r = k, k \in \Omega_d^0, \Omega_d^1 \right\}.
 \end{aligned}$$

Величины $T_k^{(d_k)}$ имеют следующий смысл: $T_k^{(1)}$ – среднее время пребывания k -го элемента в работоспособном состоянии, а $T_k^{(0)} + T_k^{(2)}$ – среднее время пребывания этого элемента в отказовом состоянии на периоде регенерации этого элемента.

Аналогично получаем

$$\int_{E_-^*} m(z) \rho(dz) = \sum_{d \in D_-^*} \prod_{k \in \Omega_d^1} \int_0^{\tau_k} \bar{F}_k(s) ds \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k F_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p \bar{F}_k(\tau_k) = \sum_{d \in D_-^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k).$$

Перейдём к вычислению интеграла в знаменателях дробей (4). Заметим, что переходы в E_+^* могут осуществляться только из подмножества $E_-^{*'} \subset E_-^*$ с вероятностью единица, где $E_-^{*'} = \left\{ \bar{d}x^{-(i)} \bar{u}, \bar{d} \in D_-^*, i \in \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2, i \notin I_d \right\}$. Имеем

$$\int_{E_-^*} \rho(dz) P(z, E_+^*) = \int_{E_-^{*'}} \rho(dz) = \sum_{d \in D_-^*} \left[\sum_{\substack{i \in \Omega_d^0 \\ i \notin I_d}} F_i(\tau_i) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k) + \sum_{\substack{i \in \Omega_d^2 \\ i \notin I_d}} \bar{F}_i(\tau_i) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k) \right]$$

Таким образом, формулы (4) преобразуются к виду

$$T_+^* = \frac{\sum_{d \in D_+^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)}{\sum_{d \in D_-^*} \left[\sum_{\substack{i \in \Omega_d^0 \\ i \notin I_d}} F_i(\tau_i) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k) + \sum_{\substack{i \in \Omega_d^2 \\ i \notin I_d}} \bar{F}_i(\tau_i) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k) \right]},$$

$$\begin{aligned}
T_-^* &= \frac{\sum_{d \in D_-^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)}{\sum_{d \in D_-^*} \left[\sum_{\substack{i \in \Omega_d^0 \\ i \notin I_d}} F_i(\tau_i) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k) + \sum_{\substack{i \in \Omega_d^2 \\ i \notin I_d}} \bar{F}_i(\tau_i) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k) \right]}, \\
K_u^*(\tau_1, \dots, \tau_N) &= \frac{\sum_{d \in D_+^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)}{\sum_{d \in D^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)}. \quad (5)
\end{aligned}$$

Выразим стационарные характеристики $T_+^*, T_-^*, K_u^*(\tau_1, \dots, \tau_N)$ системы через коэффициенты технического использования $K_i(\tau_i)$ элементов, которые определяются формулами [1]:

$$K_i(\tau_i) = \frac{T_i^{(1)}}{T_i^{(1)} + T_i^{(0)} + T_i^{(2)}}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Обозначим через $M_i, i = \overline{1, \omega}$, все различные множества элементов путей системы, а $\Phi_i, i = \overline{1, s}$, – множества элементов сечений системы [1]; $A(\Phi_i)(A(M_i))$ – множество отключаемых элементов сечения Φ_i (пути M_i). Обратим внимание, что по определению, элементы, не принадлежащие множеству элементов пути, находятся в нерабочем состоянии, т.е. в состояниях 0 или 2. Элементы, не принадлежащие множеству элементов сечения, находятся в работоспособном состоянии 1.

Формулы (5) с помощью преобразования сумм произведений средних после несложных преобразований приводится к виду:

$$\begin{aligned}
T_+^* &= \frac{\sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin M_i}}^N (1 - K_n(\tau_n))}{\sum_{i=1}^s \sum_{\substack{j \in \Phi_i \\ j \notin A(\Phi_i)}} \frac{1}{T_j^{(0)} + T_j^{(2)}} \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin \Phi_i}}^N K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi_i} (1 - K_n(\tau_n))}, \\
T_-^* &= \frac{\sum_{i=1}^s \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin \Phi_i}}^N K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi_i} (1 - K_n(\tau_n))}{\sum_{i=1}^s \sum_{\substack{j \in \Phi_i \\ j \notin A(\Phi_i)}} \frac{1}{T_j^{(0)} + T_j^{(2)}} \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin \Phi_i}}^N K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi_i} (1 - K_n(\tau_n))},
\end{aligned}$$

$$K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{\sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin M_i}}^N (1 - K_n(\tau_n))}{\sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin M_i}}^N (1 - K_n(\tau_n)) + \sum_{i=1}^s \prod_{n=1}^N K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi_i} (1 - K_n(\tau_n))}.$$

Для определения среднего удельного дохода $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящегося на единицу календарного времени и средних удельных затрат $C^*(\tau_1, \dots, \tau_N)$, приходящихся на единицу времени исправного функционирования системы, используем формулы [6]

$$S^* = \frac{\int_{E^*} m(z) f_s(z) \rho(dz)}{\int_{E^*} m(z) \rho(dz)}, \quad C^* = \frac{\int_{E_+^*} m(z) f_c(z) \rho(dz)}{\int_{E_+^*} m(z) \rho(dz)}, \quad (6)$$

где $f_s(z)$, $f_c(z)$ – функции, определяющие соответственно доход и затраты в каждом состоянии. Эти функции имеют вид

$$f_s(z) = \begin{cases} -\sum_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \notin I_d}} c_k - \sum_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \notin I_d}} c_k^p, & z \in \left\{ \overline{idx}^{(i)} \overline{u} \right\} \in E_-^*, \\ \sum_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \notin I_d}} c_k^0 - \sum_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \notin I_d}} c_k - \sum_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \notin I_d}} c_k^p, & z \in \left\{ \overline{idx}^{(i)} \overline{u} \right\} \in E_+^*, \end{cases}$$

$$f_c(z) = \sum_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \notin I_d}} c_k + \sum_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \notin I_d}} c_k^p, \quad z \in \left\{ \overline{idx}^{(i)} \overline{u} \right\} \in E^*.$$

Здесь c_i^0 , c_i и c_i^p , $i = \overline{1, N}$, соответственно доход за единицу времени исправного функционирования, плата за единицу времени аварийного восстановления и плата за единицу времени ТО i -го элемента системы.

После преобразований формулы (6) приводятся к виду

$$S^*(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{\sum_{d \in D^*} \left[\sum_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \notin I_d}} c_k^0 - \sum_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \notin I_d}} c_k - \sum_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \notin I_d}} c_k^p \right] \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)}{\sum_{d \in D^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)} =$$

$$\begin{aligned}
&= \left\{ \sum_{i=1}^{\omega} \left[\sum_{\substack{j \in M_i \\ j \notin A(M_i)}} c_j^0 \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin M_i}}^N (1 - K_n(\tau_n)) \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - \sum_{j \notin M_i} C_j(\tau_j) K_j(\tau_j) \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n \notin M_i \\ n \neq j}} (1 - K_n(\tau_n)) \right] - \right. \\
&\quad \left. - \sum_{i=1}^s \sum_{\substack{j \in \Phi_i \\ j \notin A(\Phi_i)}} C_j(\tau_j) K_j(\tau_j) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin \Phi_i}}^N K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n \in \Phi_i \\ n \neq j}} (1 - K_n(\tau_n)) \right\} / \\
&\quad / \left[\sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin M_i}}^N (1 - K_n(\tau_n)) + \sum_{i=1}^s \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin \Phi_i}}^N K_n(\tau_n) \prod_{n \in \Phi_i} (1 - K_n(\tau_n)) \right], \tag{7}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C^*(\tau_1, \dots, \tau_N) &= \frac{\sum_{d \in D^*} \left[\sum_{\substack{k \in \Omega_d^0 \\ k \notin I_d}} c_k + \sum_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \notin I_d}} c_k^p \right] \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)}{\sum_{d \in D^*} \prod_{k=1}^N T_k^{(d_k)}(\tau_k)} = \\
&= \left\{ \sum_{i=1}^{\omega} \sum_{j \notin M_i} C_j(\tau_j) K_j(\tau_j) \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n \notin M_i \\ n \neq j}} (1 - K_n(\tau_n)) + \right. \\
&\quad \left. + \sum_{i=1}^s \sum_{\substack{j \in \Phi_i \\ j \notin A(\Phi_i)}} C_j(\tau_j) K_j(\tau_j) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin \Phi_i}}^N K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n \in \Phi_i \\ n \neq j}} (1 - K_n(\tau_n)) \right\} \\
&\quad / \left[\sum_{i=1}^{\omega} \prod_{n \in M_i} K_n(\tau_n) \prod_{\substack{n=1 \\ n \notin M_i}}^N (1 - K_n(\tau_n)) \right] \tag{8}
\end{aligned}$$

Здесь $C_i(\tau_i) = \frac{c_i^p T_i^{(2)} + c_i T_i^{(0)}}{T_i^{(1)}}$ – средние удельные затраты,

приходящиеся на единицу времени исправного функционирования i -го элемента.

Оптимизация сроков проведения ТО элементов системы. Задача определения оптимальных сроков проведения ТО элементов с целью достижения наилучшего показателя качества функционирования системы сводится к задаче отыскания точек абсолютного экстремума

$\tau_i^u, \tau_i^s, \tau_i^c$ соответственно функций (5), (7) и (8). Достижение экстремумов функций при некоторых аргументах $\tau_j \rightarrow \infty$ означает, что проводить ТО элементов системы с соответствующими номерами нецелесообразно. В этом случае в формулах (5), (7) и (8) следует заменить $K_j(\infty)$ на $\frac{M\alpha_j}{M\alpha_j + M\beta_j}$, а $C_j(\infty)$ на $\frac{c_j M\beta_j}{M\alpha_j}$.

ТО цепочки последовательно соединённых элементов. В качестве примера применения полученных результатов рассмотрим систему из N последовательно соединённых элементов. Эта структура имеет один путь $M_1 = \{1, \dots, N\}$ и N сечений $\{\Phi_i\}_{i=1}^N = \{\{1\}, \{2\}, \dots, \{N\}\}$. Стационарные показатели качества функционирования системы определяются формулами

$$K_u^*(\tau_1, \dots, \tau_N) = \left[1 + \sum_{i=1}^N \frac{1 - K_i(\tau_i)}{K_i(\tau_i)} \right]^{-1}, \quad S^*(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{\sum_{i=1}^N c_i^0 - \sum_{i=1}^N C_i(\tau_i)}{1 + \sum_{i=1}^N \frac{1 - K_i(\tau_i)}{K_i(\tau_i)}},$$

$$C^*(\tau_1, \dots, \tau_N) = \sum_{i=1}^N C_i(\tau_i), \quad T_+^*(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_i^{(1)}(\tau_i)}},$$

$$T_-^*(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{T_i^{(0)}(\tau_i) + T_i^{(2)}(\tau_i)}{T_i^{(1)}(\tau_i)}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_i^{(1)}(\tau_i)}}.$$

Произведём конкретные расчёты для цепочки из трёх последовательных элементов. Пусть наработки на отказ и времена аварийных восстановлений элементов имеют распределения Эрланга с

плотностями $f_i(t) = \lambda_i \frac{(\lambda_i t)^{m_i-1}}{(m_i-1)!} e^{-\lambda_i t}$, $g_i(t) = \mu_i \frac{(\mu_i t)^{m_i-1}}{(m_i-1)!} e^{-\mu_i t}$, $i = 1, 2, 3$.

Исходные данные и результаты расчетов приводятся в таблицах 1 и 2.

В таблице 2 через $K_u^\infty, S^\infty, C^\infty$ обозначены соответствующие стационарные показатели функционирования системы в случае, если ТО элементов не проводится. Проведение ТО элементов при достижении ими оптимальных наработок улучшает показатели качества соответственно на 4,5% , 6,8% и 38,3%.

Таблица 1

Исходные данные примера

№	λ_i	m_i	$M\alpha_i$	μ_i	$M\beta_i$	$M\beta_i^p$	c_i^0	c_i	c_i^p
1	0,5	6	12	4	1,5	0,5	5	3	2
2	0,2	4	20	2	2	1	7	2	1
3	0,1	5	50	0,5	10	4	3	2	1

Таблица 2

Результаты расчетов

τ_i^u	$K_u^{*\max}$	K_u^∞	τ_i^s	$S^{*\max}$	S^∞	τ_i^c	$C^{*\min}$	C^∞
7,747	0,733	0,702	7,424	10,513	9,842	6,343	0,601	0,975
22,099			19,489			11,192		
37,749			35,314			24,772		

Выводы. Построена модель ТО сложной системы с учётом возраста и отключением её элементов на основе полумарковского процесса с общим фазовым пространством состояний. Получены формулы для определения и оптимизации стационарных показателей качества функционирования системы для указанной стратегии ТО элементов системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
2. Барлоу Р. Математическая теория надёжности/ Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Сов. радио, 1969. – 488 с.
3. Песчанский А.И. Техническое обслуживание монотонной системы с учётом наработки на отказ каждого элемента// А.И.Песчанский. – Оптимизация произв. процессов: Сб. науч. тр. – Севастополь. 2009. Вып.11.
4. Королук В.С. Процессы марковского восстановления в задачах надёжности систем/ В.С. Королук, А.Ф. Турбин.– К.: Наук. думка, 1982. – 236 с.
5. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, М.И. Новиков, А.Ф. Турбин. – Кишинев: Штиинца, 1991. – 209 с.
6. Шуренков В.М. Эргодические процессы Маркова / В.М. Шуренков. – М.: Наука, 1989. – 336 с.

Получено 15.02.2009г.

УДК 004.4'244

С.Н. Гриша, О.С. Родичева, Е.О. Роздольский

ПОСТРОЕНИЕ ТЕКСТА SQL ЗАПРОСА ИЗ РЕЛЯЦИОННОГО ДЕРЕВА ЗАПРОСА

Постановка задачи

В статье [1] рассматривался общий подход к автоматизации процесса проектирования систем управления бизнесом. В ней были обоснованы актуальность и необходимость автоматического построения базы данных (БД) и программного обеспечения (ПО) на основе семантического описания предметной области.

При решении задачи автоматического построения БД и ПО необходимо решить ряд технических и теоретических задач. В предложенном подходе аналитик-разработчик описывает систему в терминах показателей. Это означает, что аналитик-разработчик сначала проектирует систему показателей, и после этого для каждого документа системы задает ему запрос на выборку над показателями, используя правила реляционной алгебры. При генерировании БД и ПО специальный алгоритм генерирует БД и при генерировании ПО алгоритм замещает запросы реляционной алгебры над показателями запросами над таблицами, канонизирует полученные выражения и преобразует их в текст SQL. В этой статье решается задача преобразования реляционного дерева запроса над таблицами в текст SQL. Входные данные для задачи – это реляционное дерево запроса (соответствует реляционной алгебре Кода [2]). На основании его необходимо построить SQL запрос стандарта SQL-92.

Обзор публикаций

При изучении публикаций на выбранную тематику было найдено много работ по преобразованию SQL-запросов в реляционное дерево [3], но практически отсутствуют материалы по обратному преобразованию. Есть материалы по преобразованию одной структурированной информации в другую. Так, в [4] описан метод преобразования структурированных документов одной грамматики в другую, причем это должны быть контекстно-независимые грамматики и входные данные – структурированный текст.

© Гриша С.Н., Родичева О.С., Роздольский Е.О., 2009

Также существуют преобразователи xml-документов, такие как XSLT [5]. Но такие преобразователи тоже не подходят для решения поставленной задачи, так как преобразуют из xml в xml и малопригодны для преобразования в SQL.

Изучение трансформационно-порождающих (ТП) грамматик в литературе показало, что большинство исследований направлено на изучение языковых структур и лингвистических преобразований из одного разговорного языка в другой [6]. Применение же термина "ТП грамматика" не в области лингвистики встречалось крайне редко. Несмотря на это, идея применения ТП грамматики в лингвистике подходит и для преобразования других структурированных языков, но только контекстно-независимых. Для контекстно-зависимых грамматик также описаны алгоритмы, но они неточны и требуют конкретного описания для каждого языка.

Алгоритм

Для преобразования реляционного дерева в SQL запрос применяется трансформационная порождающая грамматика, на вход которой подается реляционное дерево S (запускается выполнение продукций грамматики). Рассмотрена была стандартная грамматика SQL стандарта ANSI [7] в расширенной форме Бэкуса-Наура [8].

На применение порождающей грамматики накладываются такие условия:

1. за один шаг должны быть применена одна продукция, т.е. дерево S уменьшиться на один узел;
2. продукции должны просматриваться в том порядке, в котором они представлены.

Каждый реляционный оператор порождает или терминал(ы) или появление вложенного подзапроса, причем второе случается, если соответствующая позиция в текущем транслированном SQL-выражении уже занята.

Очевидно, грамматика для преобразования контекстно-зависима[9], так как узлам реляционного дерева соответствуют несколько правил вывода, что зависит от текущего вида полученного выражения SQL. Например, рассмотрим такие два реляционных дерева: $Q_1 = \gamma_A(\sigma_C(T))$ и $Q_2 = \sigma_C(\gamma_A(T))$. В первом случае при преобразовании в SQL запрос необходимо в нем сделать подзапрос, во

втором случае не нужно хотя операторы использованы одинаковые.

SQL запросы для деревьев Q_1 и Q_2 будут такими:

$\text{select}(Q_1) = \text{select } A \text{ from } (\text{select } * \text{ from } T \text{ where } C) \text{ group by } A / A_{agg}$

$\text{select}(Q_2) = \text{select } A \text{ from } T \text{ where } C \text{ group by } A / A_{agg}$

где A_{agg} - агрегирующие аргументы оператора группировки.

Таким образом, терминальные символы вместе с нетерминалом будут определять продукцию в трансформационной грамматике. Для упрощения грамматики (уменьшения количества правил) добавим предварительную обработку дерева для его упорядочивания. Сделать это можно после этапа канонизации, добавив в правила канонизации правила упорядочивания структуры дерева.

Определим необходимый порядок для структуры дерева. Пусть это будет такой порядок для операторов с одним аргументом: $\delta, \tau, \pi, \sigma, \gamma$. Операторы с двумя аргументами (операторы соединения и объединения) тут нельзя рассматривать так это относится к оптимизации запроса, над чем работает алгоритм канонизации. Алгоритм канонизации выражений меняет дерево запроса так, чтобы привести его к оптимальной структуре запроса. Изменения же порядка в дереве необходимо только для упрощения процесса построения текста SQL запроса и не влияет на быстроедействие запроса.

Для получения нужного порядка необходимо применить такие правила как показано в таблице Таблица 1. По строкам показан первый оператор, по колонкам – оператор-аргумент. В соответствующих ячейках на пересечении элементов стоит:

- прочерк в том случае, если такой порядок следования операторов корректен, и его не нужно менять;
- " $\rightarrow Q$ " в том случае, если соответствующее изменение порядка не может быть сделано (или из-за несоответствия аргументов или из-за несохранения результирующего набора данных);
- формула – это правая часть продукции, которую необходимо применить к соответствующим операторам, чтобы упорядочить дерево; левая часть продукции образуется из значения строки и колонки.

Таблица 1

Правила упорядочивания дерева

	(δ)	$(\pi_{L'})$	$(\sigma_{C'})$	$(\gamma_{A'})$	$(\tau_{M'})$
δ	$\rightarrow \delta(*)$	—	—	—	—
π_L	$\rightarrow \delta(\pi_L(*))$	$\rightarrow \pi_{L(L')}(*)$	—	—	$\rightarrow Q$
σ_C	$\rightarrow \delta(\sigma_C(*))$	$\rightarrow \pi_{L'}(\sigma_C(*))$	$\rightarrow \sigma_{C \text{ and } C'}(*)$	—	$\rightarrow \tau_M(\sigma_C(*))$
γ_A	$\rightarrow Q$	$\rightarrow Q$	$\rightarrow Q$	$\rightarrow Q$	$\rightarrow Q$
τ_M	$\rightarrow \delta(\tau_M(*))$	—	—	—	$\rightarrow \tau_M(*)$

Рассмотрим подробнее таблицу. В ячейках по диагонали (когда оператор и его аргумент одинаковы), происходит слияние для всех операторов кроме группировки γ_A с изменением аргументов. Если аргумент оператора группировки не объединение, соединение или таблица, то этот аргумент порождает вложенный подзапрос. Все аргументы оператора селекции кроме группировки поднимаются вверх по дереву запроса. Оператор группировки Оператор удаления дубликатов всегда необходимо перемещать по дереву вверх. Это возможно во всех случаях кроме группировки, так как это повлияло бы на результирующий набор данных. Оператор проекции можно поднимать вверх по дереву только если он является аргументом селекции и сливать с оператором проекции. Оператор сортировки поднимается вверх по дереву, если он является аргументом селекции, в остальных случаях или порядок правильный, или порядок нельзя менять, так как это приведет к изменению набора данных.

Таким образом, получаем следующий набор продукций грамматики $G_o\{T_o, N_o, P_o, S_o\}$ для упорядочивания дерева:

$$T_o = U \setminus N_o, N = \{\pi_L, \sigma_C, \gamma_A, \delta, \tau_M\}$$

P_o :

$$\delta(\delta(*)) \rightarrow \delta(*)$$

$$\pi_L(\delta(*)) \rightarrow \delta(\pi_L(*))$$

$$\pi_L(\pi_{L'}(*)) \rightarrow \pi_{L(L')}(*)$$

$$\sigma_C(\delta(*)) \rightarrow \delta(\sigma_C(*))$$

$$\sigma_C(\pi_{L'}(*)) \rightarrow \pi_{L'}(\sigma_C(*))$$

$$\sigma_C(\sigma_{C'}(*)) \rightarrow \sigma_{C \text{ and } C'}(*)$$

$$\sigma_C(\tau_M(*)) \rightarrow \tau_M(\sigma_C(*))$$

$$\tau_M(\delta(*)) \rightarrow \delta(\tau_M(*))$$

$$\tau_M(\tau_{M'}(*)) \rightarrow \tau_{M'}(*)$$

Этот набор продукций необходимо применить к реляционному дереву перед применением порождающей грамматики. Тогда порождающая грамматика упрощается так и будет обрабатывать операторы по мере их появления. Таким образом, получаем грамматику $G(T, N, P, S)$ такую:

Терминалы грамматики G :

$$T = \{select, from, where, left, right, full, natural, join, distinct, order by, group by, *, dual, t_1, \dots, t_n, l_1, \dots, l_m\}$$

где $t_1, \dots, t_n$ - названия таблиц, $l_1, \dots, l_m$ - названия всех аргументов реляционных операторов кроме таблиц каждого дерева:
 $t_1, \dots, t_n, l_1, \dots, l_m \notin T \setminus \{t_1, \dots, t_n, l_1, \dots, l_m\}$

Нетерминалы грамматики G :

$$N = \{\delta, \tau, \pi, \sigma, \gamma, \times, \triangleright, \triangleleft, \triangleright_C, \triangleleft_C, \triangleright^{\circ}, \triangleleft^{\circ}, \triangleright^{\circ}_L, \triangleleft^{\circ}_R, \triangleright^{\circ}_C, \triangleleft^{\circ}_C, \cup\}$$

Продукции грамматики:

$$\varepsilon \rightarrow \varepsilon S$$

$$\varepsilon S \rightarrow S(Q)$$

$$(t_i)(Q) \rightarrow t_i$$

$$S(Q) \rightarrow (select \ S(from))$$

$$\delta(S)(from) \rightarrow distinct \ S(\ from)$$

$$\tau_{l_i}(S)(from) \rightarrow S(from) \ order \ by \ l_i$$

$$\pi_{l_i}(S)(from) \rightarrow S(l_i \ from)$$

$$\sigma_{l_i}(S)(l_j \ from) \rightarrow S(l_j \ from \ where \ l_i)$$

$$\sigma_{l_i}(S)(from) \rightarrow S(* \ from \ where \ l_i)$$

$$\gamma_{l_i \rightarrow l'_i}(S)(from) \rightarrow l'_i \ from \ S(Q) \ group \ by \ l_i$$

$$\gamma_{l_i \rightarrow l'_i}(S)(l_j \ from) \rightarrow l_j \ from \ (\gamma_{l_i \rightarrow l'_i}(S)(Q))$$

$$\gamma_{l_i \rightarrow l'_i}(S)(l_j \ from \ where \ l_k) \rightarrow l_j \ from \ (\gamma_{l_i \rightarrow l'_i}(S)(Q)) \ where \ l_k$$

$$\gamma_{l_i \rightarrow l'_i}(S)(* \ from \ where \ l_j) \rightarrow l'_i \ from \ (S) \ where \ l_j \ group \ by \ l_i$$

$$(t_i)(\ from) \rightarrow * \ from \ t_i$$

$$(t_i)(l_i \ from) \rightarrow l_i \ from \ t_i$$

$$(t_i)(l_j \ from \ where \ l_i) \rightarrow l_j \ from \ t_i \ where \ l_i$$

$$\begin{aligned}
& (t_i)(* \text{ from where } l_i) \rightarrow * \text{ from } t_i \text{ where } l_i \\
& (t_i) \rightarrow t_i \\
& \times(S_1, S_2)(l_i \text{ from}) \rightarrow l_i \text{ from } \times(S_1, S_2) \\
& \times(S_1, S_2)(l_j \text{ from where } l_i) \rightarrow l_j \text{ from } \times(S_1, S_2) \text{ where } l_i \\
& \times(S_1, S_2)(* \text{ from where } l_i) \rightarrow * \text{ from } \times(S_1, S_2) \text{ where } l_i \\
& \times(S_1, S_2)(\text{from}) \rightarrow \text{from } \times(S_1, S_2) \\
& (\times(S_1, S_2)) \rightarrow (S_1)(Q), (S_2)(Q) \\
& \triangleright\triangleleft(S_1, S_2)(l_i \text{ from}) \rightarrow l_i \text{ from } \triangleright\triangleleft(S_1, S_2) \\
& \triangleright\triangleleft(S_1, S_2)(l_j \text{ from where } l_i) \rightarrow l_j \text{ from } \triangleright\triangleleft(S_1, S_2) \text{ where } l_i \\
& \triangleright\triangleleft(S_1, S_2)(* \text{ from where } l_i) \rightarrow * \text{ from } \triangleright\triangleleft(S_1, S_2) \text{ where } l_i \\
& \triangleright\triangleleft(S_1, S_2)(\text{from}) \rightarrow \text{from } \triangleright\triangleleft(S_1, S_2) \\
& (\triangleright\triangleleft(S_1, S_2)) \rightarrow (S_1)(Q) \text{ natural join } (S_2)(Q) \\
& \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2)(l_j \text{ from}) \rightarrow l_j \text{ from } \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2) \\
& \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2)(l_j \text{ from where } l_k) \rightarrow l_j \text{ from } \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2) \text{ where } l_k \\
& \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2)(* \text{ from where } l_j) \rightarrow * \text{ from } \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2) \text{ where } l_j \\
& \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2)(\text{from}) \rightarrow \text{from } \triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2) \\
& (\triangleright\triangleleft_{l_i}(S_1, S_2)) \rightarrow (S_1)(Q) \text{ join } (S_2)(Q) \text{ on } l_i \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)(l_j \text{ from}) \rightarrow l_j \text{ from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2) \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)(l_j \text{ from where } l_k) \rightarrow l_j \text{ from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2) \text{ where } l_k \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)(* \text{ from where } l_j) \rightarrow * \text{ from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2) \text{ where } l_j \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)(\text{from}) \rightarrow \text{from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2) \\
& (\overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)) \rightarrow (S_1)(Q) \text{ full join } (S_2)(Q) \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}_X(S_1, S_2)(l_j \text{ from}) \rightarrow l_j \text{ from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}_X(S_1, S_2) \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}_X(S_1, S_2)(l_j \text{ from where } l_k) \rightarrow l_j \text{ from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}_X(S_1, S_2) \text{ where } l_k \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}_X(S_1, S_2)(* \text{ from where } l_j) \rightarrow * \text{ from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}_X(S_1, S_2) \text{ where } l_j \\
& \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)(\text{from}) \rightarrow \text{from } \overset{\circ}{\triangleright\triangleleft}(S_1, S_2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (\triangleright \triangleleft_X^{\circ}(S_1, S_2)) \rightarrow (S_1)(Q) \text{ full join } (S_2)(Q) \text{ on } l_i \\
& \cup(S_1, S_2)(l_j \text{ from}) \rightarrow l_j \text{ from } \cup(S_1, S_2) \\
& \cup(S_1, S_2)(l_j \text{ from where } l_k) \rightarrow l_j \text{ from } \cup(S_1, S_2) \text{ where } l_k \\
& \cup(S_1, S_2)(* \text{ from where } l_j) \rightarrow * \text{ from } \cup(S_1, S_2) \text{ where } l_j \\
& \cup(S_1, S_2)(\text{from}) \rightarrow \text{from } \cup(S_1, S_2) \\
& \cup(S_1, S_2) \rightarrow (S_1)(Q) \text{ union } ((S_2)(Q))
\end{aligned}$$

Граф переходов автомата, соответствующего грамматике G , показан на рисунке Рисунок 1. Для уменьшения количества узлов, соответствующих операторам соединения и объединения сделана такая замена:

$$\otimes = \{ \times, \triangleright \triangleleft, \triangleright \triangleleft_{l_i}, \triangleright \triangleleft_{l_i}^{\circ}, \triangleright \triangleleft_X^{\circ}, \cup \}$$

Таким образом, получили алгоритм преобразования реляционного дерева в SQL запрос:

1. подготовить дерево: построить соответствие между всеми конечными аргументами, кроме таблиц, всех операторов и обозначениями $l_1, \dots, l_m$.

2. применить упорядочивающую грамматику G_o к реляционному дереву S ;

3. применить порождающую грамматику G к упорядоченному дереву – результату применения продукций G_o к реляционному выражению S и получить терминальную цепочку;

4. в полученной терминальной цепочке заменить все $l_i, i = \overline{1, m}$ на соответствующие им значения аргументов.

Оба описанных алгоритма являются модификациями одного и того же подхода – применения трансформационной порождающей контекстно-зависимой грамматики к реляционному дереву запроса.

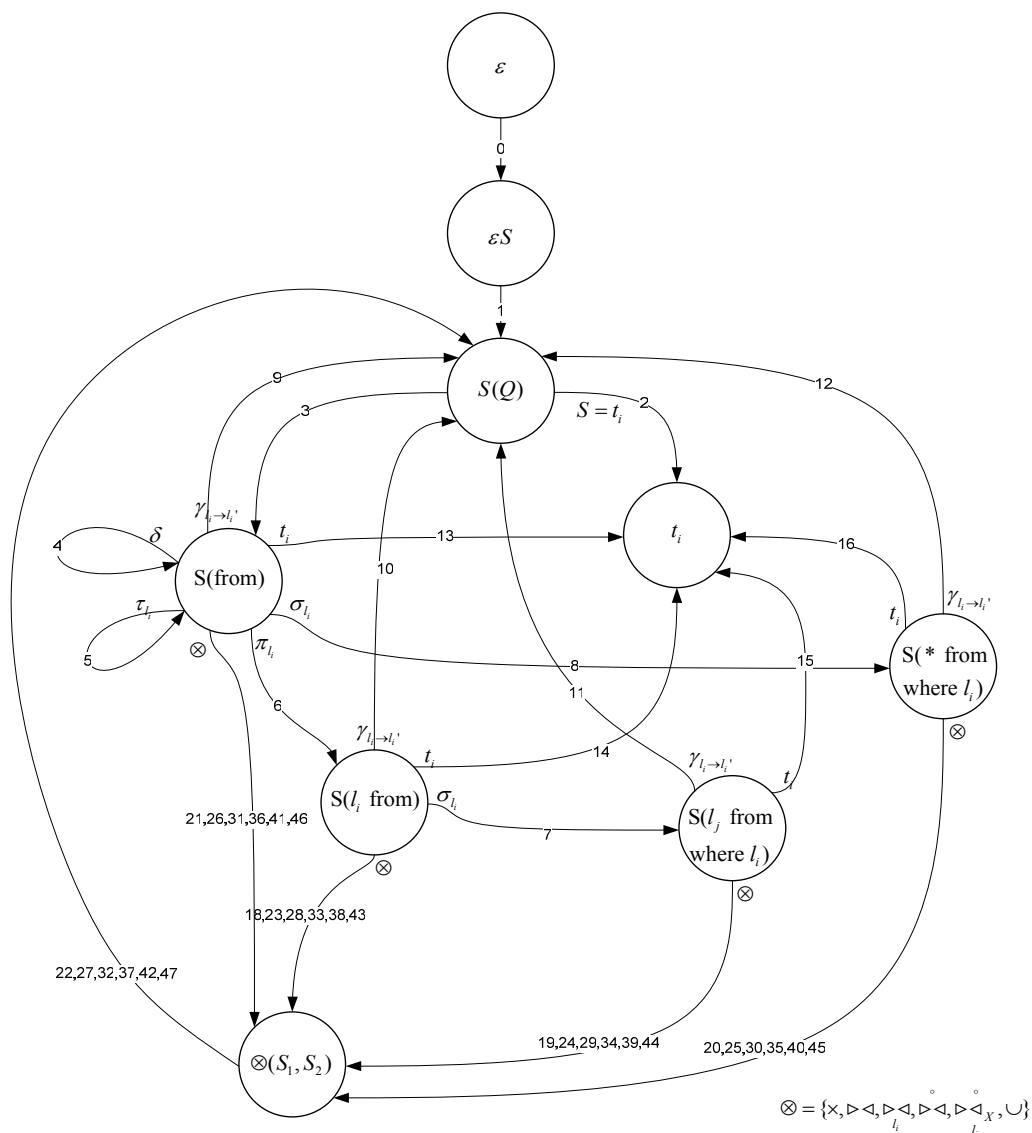


Рисунок 1 – Граф переходов автомата

Примеры преобразования

Рассмотрим пример преобразования дерева $S = \sigma_c(\pi_L(\times(t_1, t_2)))$

Применим алгоритм к заданному примеру.

Шаг 1. Упорядочивание дерева с помощью G_O .

Таблица 2

Упорядочивание дерева G_O

1) $\sigma_c(\pi_L(\times(t_1, t_2))) \rightarrow \pi_L(\sigma_c(\times(t_1, t_2)))$	Правило 5
--	-----------

Шаг 2. Применение грамматики G

Таблица 3

Применение грамматики G

1) $\varepsilon \rightarrow \varepsilon \pi_L(\sigma_C(\times(t_1, t_2)))$	Правило 0
2) $\varepsilon \pi_L(\sigma_C(\times(t_1, t_2))) \rightarrow \pi_L(\sigma_C(\times(t_1, t_2)))(Q)$	Правило 1
3) $\pi_L(\sigma_C(\times(t_1, t_2)))(Q) \rightarrow (\text{select } \pi_L(\sigma_C(\times(t_1, t_2)))(\text{from}))$	Правило 3
4) $(\text{select } \pi_L(\sigma_C(\times(t_1, t_2)))(\text{from})) \rightarrow (\text{select } \sigma_C(\times(t_1, t_2))(l_1 \text{ from}))$	Правило 6, $L = l_1$
5) $(\text{select } \sigma_C(\times(t_1, t_2))(l_1 \text{ from})) \rightarrow (\text{select } \times(t_1, t_2)(l_1 \text{ from where } l_2))$	Правило 7, $C = l_2$
6) $(\text{select } \times(t_1, t_2)(l_1 \text{ from where } l_2)) \rightarrow (\text{select } l_1 \text{ from } \times(t_1, t_2) \text{ where } l_2)$	Правило 19
7) $(\text{select } l_1 \text{ from } \times(t_1, t_2) \text{ where } l_2) \rightarrow (\text{select } l_1 \text{ from } t_1(Q), t_2(Q) \text{ where } l_2)$	Правило 22
8) $(\text{select } l_1 \text{ from } t_1(Q), t_2(Q) \text{ where } l_2) \rightarrow (\text{select } l_1 \text{ from } t_1, t_2 \text{ where } l_2)$	Правило 2

Таким образом, получили

$$S = \sigma_C(\pi_L(\times(t_1, t_2))) \rightarrow (\text{select } l_1 \text{ from } t_1, t_2 \text{ where } l_2)$$

Осталось заменить $l_i, i = \overline{1, 2}$ на соответствующие значения аргументов реляционных операторов и текст SQL запроса готов.

Программные реализация преобразования реляционного дерева в текст SQL запроса

Текст SQL запроса можно генерировать из реляционного дерева, представленного в виде:

1. xml-файла;
2. объектной программной модели;
3. таблицы базы данных.

Все три варианта программного представления реляционного дерева взаимозаменяемы, и при наличии одного из них это представление легко преобразовать в другой.

В зависимости от вида входных данных можно применить такие программные подходы к реализации генеративной грамматики:

1. из xml-описания дерева с использованием сгенерированного с помощью генератора интерпретатора (например модификации Coso/R или ANTLR [10]) парсера xml;

2. также с использованием генератора интерпретатора (например, модификации Coso/R или ANTLR), но при этом алгоритм сразу преобразует входной xml-файл в sql запрос, используя порождающую грамматику;

3. из объектной программной модели: для этого необходимо осуществить обход дерева объектов в глубину с использованием описанных правил грамматики.

В нашей реализации выбран метод обхода объектного дерева, так как реляционное дерево представлено в программной реализации системы в виде объектной модели.

Выводы

В статье рассмотрена и решена задача преобразования реляционного дерева в текст SQL запроса. Сделан обзор существующих публикаций на данную тематику. Показано алгоритм преобразования с использованием порождающей трансформационной грамматики. Показаны примеры применения грамматики к конкретным примерам реляционных деревьев и приведено описание программной реализации алгоритма.

Эти результаты являются частью технологии интеллектуализированного генерирования базы данных и программного обеспечения "КИТ-XXI", основные концепции которой описаны в [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гриша С.М., Родічева О.С., Приліпко Д.І. Технологічно інтелектуалізовані інформаційні системи для управління бізнесом (ІСУБ) на сонові алгебри показників // Вісник Національного Технічного Університету «ХПІ» – 2008. – №5. – С.123-133.
2. Codd, E.F. *The Relational Model For Database Management Version 2*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1990. ISBN 0-201-14192-2.
3. Гарсиа-Молина Г., Ульман Д., Уидом Д. Системы баз данных. Полный курс. – М.: Вильямс, 2002. – 1088 с.

4. Eila Kuikka, Martti Penttonen, Transformation of structured documents with the use of grammar. Electronic publishing, VOL. 6(4), 373–383 (december 1993).
5. M. Kay. XSL Transformations (XSLT) Version 2.0. W3C Candidate Recommendation 3th November 2005. November 1999.
6. Касевич В. Б. Элементы общей лингвистики. М.: Наука, 1977.
7. Электронный ресурс: <http://savage.net.au/SQL/sql-92.bnf>
8. Электронный ресурс: ISO/IEC 14977 : 1996(E)
9. Chomsky, Noam (1956). "Three models for the description of language". IRE Transactions on Information Theory (2): 113–124
10. Электронный ресурс: The Catalog of Compiler Construction Tools: <http://catalog.compilertools.net/>

Получено 05.02.2009г.

УДК 535.41

В.Ф. Рожковский, Н.А. Куинн

МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ФАЗ ПРИ РАСШИФРОВКЕ ИНТЕРФЕРОГРАММ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Введение

Интерферограмма образуется при когерентном сложении голограмм объекта при двух его положениях в пространстве. Она представляет собой фотографию объекта, промодулированную интерференционными полосами. Освещенность точки на фотографии зависит от соотношения между фазами двух прошедших световых волн и определяется по формуле

$$I(x, y) = I_0(x, y)(1 + \cos(2\pi\phi(x, y))),$$

где x, y – координаты точки на интерферограмме; $I(x, y)$ – результирующая освещенность; $I_0(x, y)$ – исходная освещенность точки поверхности объекта, определяющая его фотографическое изображение; $\phi(x, y)$ – изменение фазы (далее – просто фаза), вызванное перемещением точки. Целью расшифровки интерферограмм является определение изменения фазы $\phi(x, y)$, по которому можно затем вычислить перемещения и зависящие от них величины – деформации и напряжения. Одна из трудностей создания алгоритма расшифровки связана с тем, что функция, обратная к косинусу, является многозначной.

Постановка задачи

На основе метода конечных элементов может быть построен достаточно эффективный трехэтапный алгоритм расшифровки интерферограмм /1, 2/. Решается задача минимизации функционала

$$J(\phi) = \iint_{\Omega} \left(I(x, y) - I_0(x, y)(1 + \cos 2\pi\phi(x, y)) \right)^2 d\Omega, \quad (1)$$

где Ω – область интерферограммы.

Интерферограмма покрывается сетью из конечных элементов. На первом этапе, называемом этапом первичного распознавания, решается задача минимизации функционала (1) на каждом элементе

независимо от других. После первого этапа в узлах каждого элемента определяются значения фаз с точностью до знака и целой аддитивной добавки. На втором этапе, называемом этапом согласования, для каждого элемента вычисляются оптимальные значения знака и аддитивной добавки. На третьем этапе полученные узловые значения фаз уточняются, причем каждый узел рассматривается в составе ансамбля элементов. В статье рассматривается третий этап алгоритма.

Задача третьего этапа – произвести оценку значений фаз в узлах конечно-элементного разбиения таким образом, чтобы они давали распределение освещенности, наиболее близкое к реальному, при условии непрерывности между элементами.

Метод решения

Рассмотрим конечный элемент в виде четырехугольника с полиномиальным законом изменения фаз внутри него:

$$\varphi(x, y) = \sum_{j=1}^K b_j x^{c_j} y^{e_j}, \quad (2)$$

где b_j – постоянные коэффициенты;

c_j, e_j – определенные показатели степени.

Вид полинома выбирают в зависимости от необходимой степени гладкости фаз. В простейшем случае, когда требуется непрерывность только самой функции фаз, выбирают полином в виде билинейной функции:

$$\varphi(x, y) = b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy,$$

Четырех значений фаз в узлах четырехугольника достаточно для определения четырех коэффициентов b_j . Для случая, когда требуется непрерывность не только функции фаз, но и ее первых производных, полином можно выбрать в виде

$$\begin{aligned} \varphi(x, y) = & b_0 + b_1 x + b_2 y + b_3 xy + b_4 x^2 + b_5 y^2 + b_6 x^2 y + b_7 xy^2 + b_8 x^2 y^2 + \\ & + b_9 x^3 + b_{10} y^3 + b_{11} x^3 y + b_{12} xy^3 + b_{13} x^3 y^2 + b_{14} x^2 y^3 + b_{15} x^3 y^3. \end{aligned}$$

Для определения шестнадцати неизвестных коэффициентов в каждом узле четырехугольника необходимо использовать четыре параметра: саму функцию, ее первые производные по координатам и вторую смешанную производную. Для исследования поведения оболочечных конструкций желательно обеспечить непрерывность

производных от функции фаз до второй включительно. Для этих целей может быть использован следующий полином:

$$\begin{aligned} \varphi(x, y) = & b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6x^2y + b_7xy^2 + b_8x^2y^2 + \\ & + b_9x^3 + b_{10}y^3 + b_{11}x^3y + b_{12}xy^3 + b_{13}x^3y^2 + b_{14}x^2y^3 + b_{15}x^3y^3 + b_{16}x^4 \\ & + b_{17}y^4 + b_{18}x^4y + b_{19}xy^4 + b_{20}x^5 + b_{21}y^5 + b_{22}x^5y + b_{23}xy^5. \end{aligned}$$

Для такого полинома в каждом узле четырехугольника используются, кроме ранее перечисленного, две вторые производные по осям.

Если в узле i четырехугольника заданы N параметров $\psi_{(i-1)N+k}$, $k=1, 2, \dots, N$ типа значений фаз и их производных, то значения коэффициентов b_j могут быть определены путем решения системы линейных алгебраических уравнений

$$\sum_{s=1}^K a_{sj} b_s = \psi_{\omega(j)}, \quad j=1, 2, \dots, K,$$

где a_{sj} – коэффициенты, зависящие от координат узлов; $\omega(j)$ – функция, связывающая локальные номера параметров (номера параметров в элементе) с глобальными номерами параметров (номера параметров для ансамбля элементов); K – общее количество параметров в элементе.

Решение такой системы уравнений можно представить в виде

$$b_j = \sum_{i=1}^K d_{ij} \psi_{\omega(i)}, \quad j=1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

где d_{ij} – элементы матрицы, обратной к матрице с элементами a_{ij} .

Подстановка (2) и (3) в (1) дает

$$J = \sum_{i=1}^N \iint_{\Omega_i} \left(I(x, y) - I_0(x, y) \left(1 + \cos \left(2\pi \sum_{k=1}^K \psi_{\omega(k)} \sum_{j=1}^K d_{kj} x^{c_j} y^{e_j} \right) \right) \right)^2 d\Omega_i. \quad (4)$$

Функцию (4) следует минимизировать относительно величин ψ_i . В ходе машинных экспериментов для минимизации функции (4) опробованы методы покоординатного спуска и метод Ньютона-Рафсона, которые показали удовлетворительные результаты. Но наиболее быстрый и надежный результат дает метод минимизации, описанный ниже.

Введем функцию $\Phi(x, y)$, которая вычисляется по функции освещенности $I(x, y)$ с помощью формулы

$$\Phi(x, y) = \frac{1}{\pi} \arccos \left(\frac{2I(x, y) - \max(I) - \min(I)}{\max(I) - \min(I)} \right), \quad (5)$$

где $\min$, $\max$ – соответственно минимум и максимум внутри элемента. В отличие от функции $I(x, y)$, которая в сечении похожа на синусоиду, функция $\Phi(x, y)$ в сечении похожа на ломаную прямую. Идея состоит в том, чтобы «выпрямить» функцию $\Phi(x, y)$ путем ее разгибания относительно определенных линий. Предположим, коэффициенты полиномов (2) известны. Тогда формулы для разгибания функции $\Phi(x, y)$ выглядят следующим образом. Сначала вычисляется величина

$$j(x, y) = \left[\sum_{j=1}^K b_j x^{c_j} y^{e_j} \right], \quad (6)$$

где $[]$ – операция приведения к целому в сторону минус бесконечности. Затем функция $\Phi(x, y)$ преобразуется таким образом

$$\Phi_1(x, y) = \begin{cases} \Phi(x, y) + j(x, y), & \text{если } j(x, y) - \text{четное;} \\ 1 - \Phi(x, y) + j(x, y), & \text{если } j(x, y) - \text{нечетное.} \end{cases} \quad (7)$$

Теперь коэффициенты полинома можно уточнить путем минимизации функции

$$J = \sum_{i=1}^N \iint_{\Omega_i} \left(\Phi_1(x, y) - \sum_{j=1}^K b_j x^{c_j} y^{e_j} \right)^2 d\Omega_i.$$

Выражая величины b_j через узловые фазы в соответствии с (3), получим

$$J = \sum_{i=1}^N \iint_{\Omega_i} \left(\Phi_1(x, y) - \sum_{k=1}^K \psi_{\omega(k)} \sum_{j=1}^K d_{kj} x^{c_j} y^{e_j} \right)^2 d\Omega_i. \quad (8)$$

Обозначим

$$g_k(x, y) = \sum_{j=1}^K d_{kj} x^{c_j} y^{e_j}.$$

Величины $g_k(x, y)$ обычно называются функциями формы элементов. В этих обозначениях формула (8) примет вид

$$J = \sum_{i=1}^N \iint_{\Omega_i} \left(\Phi_1(x, y) - \sum_{k=1}^K \psi_{\omega(k)} g_k(x, y) \right)^2 d\Omega_i. \quad (9)$$

Чтобы решить задачу уточнения узловых значений, необходимо найти минимум функции (9). Для этого необходимо решить систему уравнений

$$\frac{\partial J}{\partial \psi_n} = 0, \quad n = 1, \dots, S,$$

где S – общее количество параметров, относительно величин ψ_n . Эту систему уравнений можно представить в виде

$$\sum_{m=1}^S A_{m,n} \psi_n = B_n, \quad n = 1, \dots, S. \quad (10)$$

В формуле (8) использованы следующие обозначения

$$A_{m,n} = \sum_{i \in \sigma(m,n)} \iint_{\Omega_i} g_{v(m)}(x,y) g_{v(n)}(x,y) d\Omega_i,$$

$$B_n = \sum_{i \in \sigma(n)} \iint_{\Omega_i} \Phi_1(x,y) g_{v(n)}(x,y) d\Omega_i,$$

где $\sigma(m,n)$ – множество конечных элементов, для описания изменения фаз в которых используются одновременно параметры с номерами m и n ; $\sigma(n)$ – множество конечных элементов, для описания изменения фаз в которых используется параметр с номером n ; $v(m)$ – функция, связывающая глобальные номера параметров с локальными номерами параметров.

В системе уравнений (10) величины B_n выражаются через величину $\Phi_1(x,y)$, которая, в свою очередь, согласно формулам (6) и (7), зависят от значений фаз в узлах. Поэтому процесс нахождения решения уравнения (10) является итерационным. Это означает, что после нахождения очередного решения системы уравнений (10) для некоторого значения функции $\Phi_1(x,y)$ необходимо уточнить значение функции $\Phi_1(x,y)$ и повторить процесс решения.

В качестве начального значения фазы в узле конечноэлементного разбиения принимается среднее арифметическое всех фаз узлов примыкающих элементов, может быть, за исключением тех примыкающих элементов, фазы в которых резко отличаются от других.

Для решения системы уравнений (10) использовались методы Гаусса и Гаусса-Зейделя. Метод Гаусса-Зейделя по своей сути

является итерационным методом, его легче приспособить для решения поставленной задачи. Однако лучшие результаты показал метод Гаусса. Поскольку матрица системы уравнений (10) в процессе итераций остается неизменной, применялась следующая схема метода Гаусса. Прямой ход для матрицы системы уравнений осуществлялся заранее, вне итераций по уточнению правой части. В процессе итераций производился прямой ход для правой части системы уравнений и обратный ход.

Во всех рассмотренных случаях наблюдалась сходимость итераций по уточнению правой части.

Если результатом расшифровки интерферограмм являются фазы в отдельных точках объекта, то рассмотренных алгоритмов вполне достаточно для их определения. Если результатом расшифровки должны стать производные от фаз или величины, от них зависящие, то необходимо обеспечивать необходимую гладкость решения по распределению фаз на поверхности объекта. Это связано с тем, что дифференцирование является такой операцией, которая усугубляет погрешности задания функции.

Обычным способом обеспечения необходимой гладкости решений является регуляризация соответствующей функции. Эта операция заключается в том, что к минимизируемой функции добавляют члены, зависящие от степени гладкости искомой функции таким образом, что при увеличении степени гладкости эти члены стремятся к нулю. Такими членами могут стать квадраты вторых производных от функции фаз. В этом случае минимизируемую функцию можно представить в виде

$$J_1 = J + \alpha \sum_{i=1}^N \iint_{\Omega_i} \left(\sum_{k=1}^K \psi_{\omega(k)} \frac{\partial^2 g_k(x, y)}{\partial x^2} \right)^2 + \left(\sum_{k=1}^K \psi_{\omega(k)} \frac{\partial^2 g_k(x, y)}{\partial y^2} \right)^2 d\Omega_i,$$

где J – функция, вычисляемая по формуле (9); α – параметр регуляризации, определяющий степень сглаживания. В системе уравнений (10) при этом изменится выражение для членов матрицы, которое можно представить в виде

$$A_{m,n} = \sum_{i \in \sigma(m,n)} \iint_{\Omega_i} g_{v(m)}(x,y) g_{v(n)}(x,y) + \alpha \left(\frac{\partial^2 g_{v(m)}(x,y)}{\partial x^2} \frac{\partial^2 g_{v(n)}(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g_{v(m)}(x,y)}{\partial y^2} \frac{\partial^2 g_{v(n)}(x,y)}{\partial y^2} \right) d\Omega_i$$

Методы решения системы уравнений остаются прежними.

Параметр регуляризации α может подбираться вручную. В этом случае необходимо наблюдать за изменением интерферограммы, построенной по вычисленным значениям фаз, при увеличении параметра α , сравнивая ее с исходной. Оптимальным значением α будет максимальное значение, которое не приводит к существенному искажению интерферограммы.

Альтернативным способом определения параметра α может быть подбор этого параметра, исходя из точности определения фаз. При увеличении параметра α увеличивается и среднее квадратичное отклонение вычисленных значений фаз от заданных. Поэтому, задавая заранее величину среднего квадратичного отклонения, которое может считаться средней точностью задания фаз, можно вычислить соответствующее ему значение параметра регуляризации α .

На рис. показаны виды расшифрованной интерферограммы с различным уровнем регуляризации.

Выводы

Задача оценки значений фаз как без регуляризации, так и с регуляризацией сводится к минимизации нелинейного функционала. Для минимизации полученных функционалов применялись стандартные методики и специально разработанная для этой цели методика, согласно которой минимизация функционала сводится к последовательному решению систем линейных алгебраических уравнений. Последняя методика требует наименьших затрат машинного времени для получения результатов.

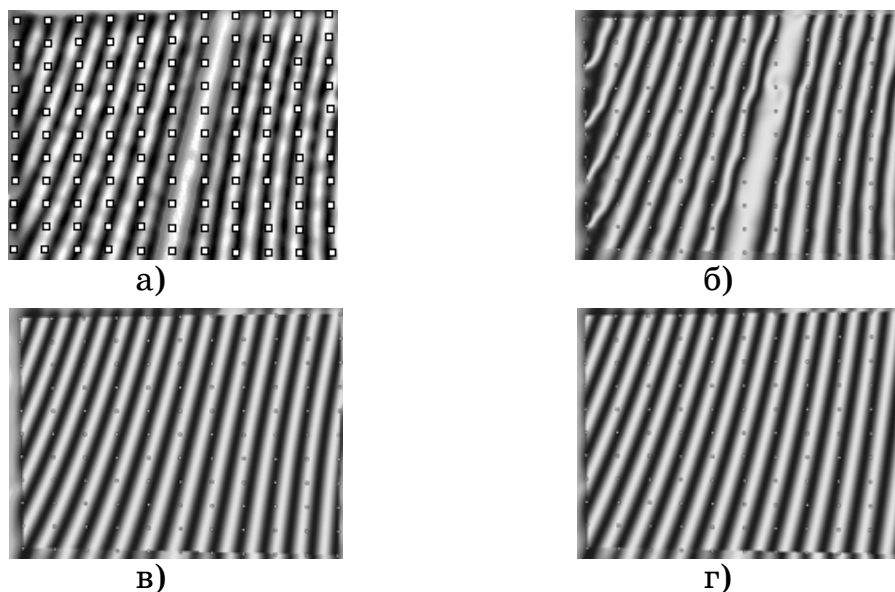


Рисунок 1 – Уточнение значений фаз с регуляризацией: а) исходная интерферограмма с узлами конечноэлементного разбиения, 16 степеней свободы в элементе; б) уточненная интерферограмма без регуляризации; в) уточненная интерферограмма с оптимальной регуляризацией; г) уточненная интерферограмма с чрезмерной регуляризацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожковский В. Ф., Бузская Н. А. Способы предварительного распознавания при расшифровке интерферограмм методом конечных элементов // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 4 (39). – Днепропетровск., 2005. - С. 3-12.
2. Рожковский В. Ф., Бузская Н. А. Согласование элементов при расшифровке интерферограмм методом конечных элементов // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных трудов. – Выпуск 1 (48). – Днепропетровск, 2007. - С. 130-137.

Получено 12.02.2009г.

УДК 551.15.03.15.17

А.И. Бугаенко, Б.В. Климович

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ МОДИФИКАТОРА В РЕАКЦИОННОЙ КАМЕРЕ МЕТОДОМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Анализ состояния вопроса

Процесс внутриформенной обработки чугуна (INMOLD - процесс) считается крупнейшим достижением в области технологии производства ЧШГ. Процесс предусматривает размещение модифицирующей присадки внутри литейной формы в специальной реакционной камере, расположенной между стояком и питателем отливки [1].

В результате модифицирования наблюдается повышение механических свойств, улучшение однородности структуры и свойств по сечению отливки. Во всех случаях следует иметь в виду, что эффективное модифицирование требует тщательного контроля исходных материалов, процесса плавки и заливки.

Установлено, что между скоростями растворения модификатора и заливки существует физически обоснованная взаимосвязь. Это позволяет контролировать скорость растворения данного модификатора в зависимости от условий плавки при постоянной температуре заливки [2]. Возникает предположение о связи между скоростью заливки расплава и скоростью растворения модификатора, которое обосновано и подтверждено проведенными экспериментами.

Постановка задачи

Целью данной работы является расчет скорости передвижения частиц имитирующих модификатор и выявление зависимости между скоростью передвижения частиц и конфигурацией полости экспериментальной модели формы.

Методика исследования

Основным элементом литниковой системы, необходимым для внутриформенного модифицирования, является реакционная камера, которая представляет собой полость с разной конфигурацией в нижней полуформе, и располагается между стояком и

© Бугаенко А.И., Климович Б.В., 2009

шлакоуловителем. При оптимальном сочетании температуры и скорости потока жидкого чугуна в литниковой системе расчетное количество модификатора в реакционной камере равномерно и полностью растворяется в металле синхронно с процессом заполнения формы.

Для определения скорости передвижения частиц модификатора в потоках используемой жидкости выполнили серию экспериментов на прозрачной модели из органического стекла, что позволило визуально наблюдать процесс перемещения исследуемых частиц и проводить его видеосъемку.

В качестве вещества, имитирующего частицы модификатора, использовали порошок гранулированного абсорбента карболонга (англ. CFRBOLONGUM), а в качестве расплава - проточную воду. Порошок рассеивали по фракциям на стандартном наборе сит. Было отмечено, что порошок, имеющий фракцию 014, легко переносился потоками воды, описывая разнообразные вихри, и при проточном движении жидкости не оседал на дно резервуара служащего в качестве модели отливки.

На дно реакционной камеры засыпали абсорбирующий порошок в количестве 5 гр. После чего производилось заполнение полости водой с давлением 2,5 атм. Процесс заполнения экспериментальной модели водой фиксировался при помощи видеосъемки [3].

Результаты исследования

Использовали экспериментальные модели из органического стекла двух конфигураций: квадратной и цилиндрической. Исследовали нижний подвод жидкости в полости экспериментальных моделей, имеющих в сечении форму квадрата 200 x 200 мм, и цилиндрической формы с высотой 200 мм и основанием Ш200 мм. Подвод осуществлялся по следующей схеме:

- а) модель квадратной формы
 - по центру одной из боковых стенок (рис 1а);
 - в нижнем углу стенки модели (рис 1б).
- б) модель цилиндрической формы
 - перпендикулярно к высоте модели (рис 1в);
 - по касательной (рис 1г).

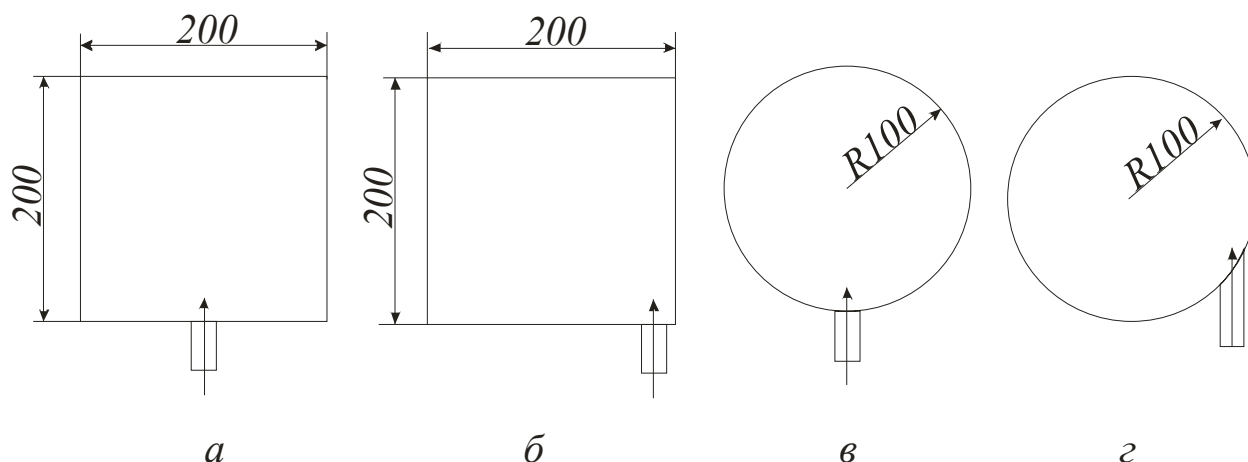


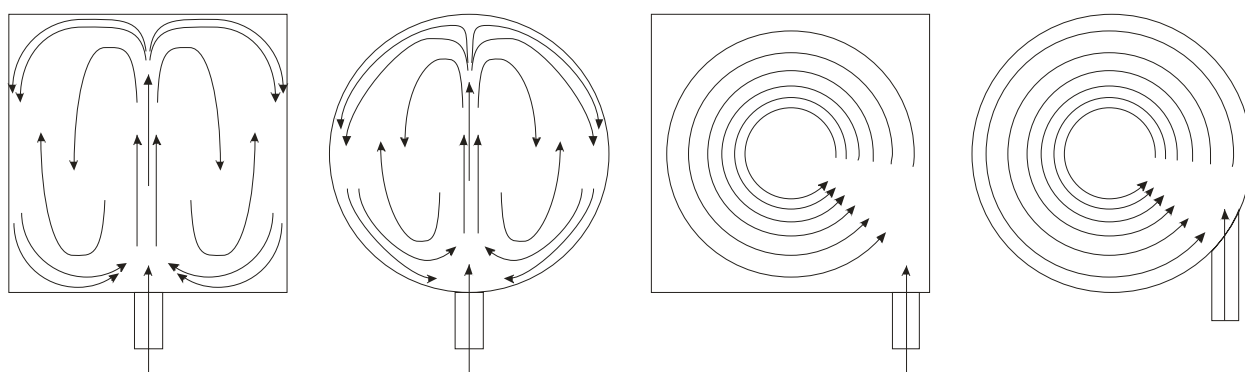
Рисунок 1 – Конфигурация сечений экспериментальных моделей и способы подвода к ним проточной воды

По мере прохождения через реакционную камеру вода захватывала частицы модификатора и постепенно заполняла полость модели. Весь объем модификатора, содержащийся в реакционной камере, переносился потоком воды в полость модели и равномерно распределялся по всему объему. Частицы модификатора, переносимые различными вихрями, имели в каждом отдельном опыте свое значение скорости, отличное от предыдущего.

Видеосъемка движения частиц модификатора в реакционной камере и модели отливки производилась цифровым фотоаппаратом Samsung NV3 в формате AVI (MPEG-4) разрешением 720×480 и частотой 20 кадр/с. Из полученных видео файлов при помощи программы Ulead Video Studio 7.0 были отобраны последовательные кадры, на которых четко прослеживается траектория движения отдельных частиц во времени. Далее при помощи программы Corel Draw 12 были построены векторы движения частиц.

Затем подготовленные изображения раскладывали на листы программы и при помощи масштабирования определяли путь передвижения конкретной частицы.

По результатам анализа видеосъемок построены схемы движения потоков в экспериментальной модели при различных ее конфигурациях (рис. 2). Приведенные схемы показывают, что возникающие при заполнении модели вихри двигались по определенной траектории, которую нельзя назвать хаотичной. Съемка, проведенная в других ракурсах, дала те же результаты. Было отмечено, что вихревые потоки, возникающие в полости модели, по мере ее заполнения описывали окружность или эллипс.



а б в г
Рисунок 2 – Схема перемещения потоков жидкости в экспериментальной модели

Так как движение частицы в потоке имеет нелинейный характер, и одновременно описывает окружность, рассматривается несколько вариантов расчета скорости выделенной частицы.

Первый вариант предполагает определение пройденного частицей пути измерением длины кривой перемещения, как показано на рис. 3.

Во втором варианте за пройденный путь принимается найденное значение дуги сектора, лежащего на усредненном радиусе движения потока (рис. 4).

Длину дуги определяли по формуле:

$$l = \frac{\pi R \alpha}{180} \quad (1)$$

где, R – радиус окружности, описываемый частицей;

α – угол сектора.

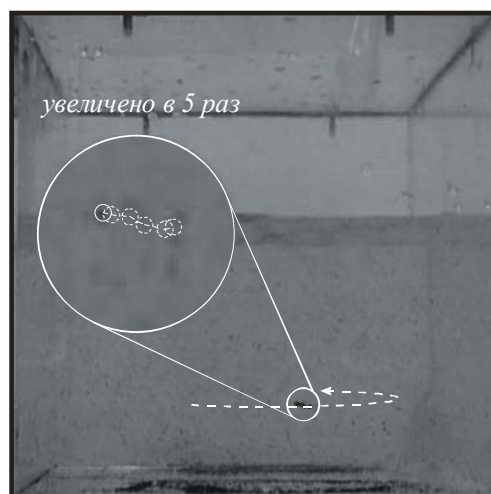


Рисунок 3 – Кривая перемещения частицы: 1 – вектор движения потока; 2 – последовательность перемещения частицы

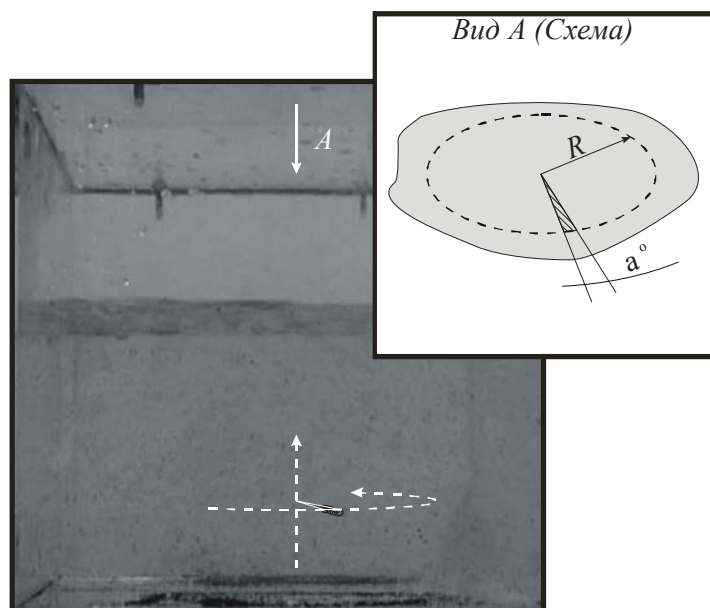


Рисунок 4 – Радиальное движение частицы

Значение пройденного пути и промежутка времени позволяют определить скорость передвижения исследуемой частицы по формуле:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad (2)$$

где v – скорость движения частицы;

Δs – путь, пройденный исследуемой частицей;

Δt – время, потраченное на прохождение данного отрезка пути.

Результаты проведенных расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчета скорости движения частицы.

Тип экспериментальной модели	Способ подвода	S_1 (по кривой)	S_2 (по дуге)	t , с	V_1 , м/с	V_2 , м/с
Куб	а	5,86	3,11	0,3	0,0195	0,0104
Цилиндр	б	8,52	4,47	0,3	0,0284	0,0149
Куб	а	11,43	5,15	0,3	0,0381	0,0172
Цилиндр	б	17,38	15,63	0,2	0,0869	0,0782

Анализируя полученные данные можно отметить, что наиболее высокая скорость переноса модифицирующих частиц наблюдается в цилиндрической модели с подводом жидкости по касательной. Скорость в модели кубической конфигурации с подводом в нижнем углу стенки на несколько порядков ниже предыдущей. Еще ниже скорость частиц в цилиндрической модели с подводом

перпендикулярно к высоте модели, и самая низкая в модели кубической формы с подводом по центру одной из боковых стенок.

Анализируя значения скорости движения частицы по первому варианту расчета (определение пройденного частицей пути измерением длины кривой перемещения), можно наблюдать следующую зависимость (рис. 5).

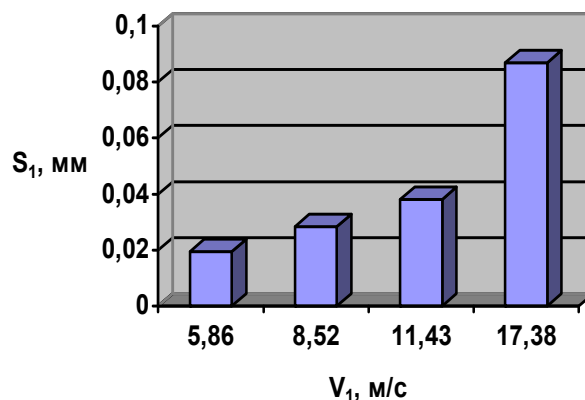


Рисунок 5 – Зависимость скорости движения частицы от пройденного пути по кривой

При рассмотрении значений скоростей, вычисленных по второму варианту расчета (за пройденный путь принимается найденное значение дуги сектора лежащего на усредненном радиусе движения потока), можно отметить, что они ниже из-за усреднения кривой движения частицы (рис. 6).

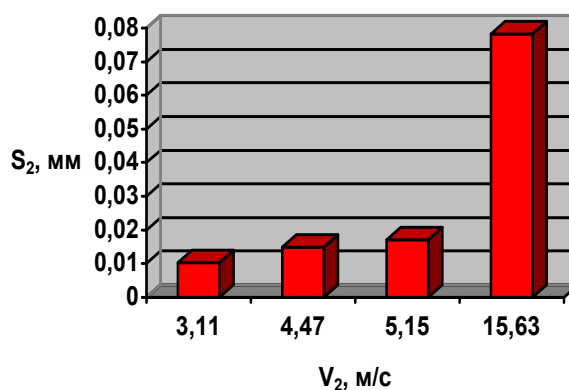


Рисунок 6 – Зависимость скорости движения частицы от пройденного пути по дуге

Выводы

Установлено, что при заполнении экспериментальной модели потока движутся по определенной траектории, описывая окружность или эллипс.

Рассчитана скорость передвижения частиц имитирующих модификатор как в модели кубической конфигурации, так и в модели цилиндрической формы.

Выявлено существование зависимости между скоростью передвижения частиц и конфигурацией полости экспериментальной модели формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Модифицирование чугуна ферросилицием в форме», Кривошеев А.Е., Эссельбах С.Б. «Литейное производство», 1976, №6.
2. «Внутриформенное модифицирование серого чугуна», Тен Е.Б., Изъюров А.Л., «Литейное производство», 1988, №6.
3. «Технология модифицирования серых чугунов», Васильев В.А., «Литейное производство», 1989, №2.
4. «Компьютерное моделирование вихревых потоков в реакционной камере литейной формы с фильтром», Бугаенко Г.И, Соценко О.В. «Теория и практика металлургии», 2007, №2-3.
5. «Отливки из чугуна с шаровидным и вермикулярным графитом», Захарченко Э. В., Левченко Ю. Н., Горенко В. Г., Вареник П. А. – Киев: Наука. думка, 1986. – 248 с.

Получено 02.02.2009г.

О ПОСТРОЕНИИ КАРКАСА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Вступление.

Каркасом изображения будем называть сеть, множество узлов которой, совпадает с пикселями исходного изображения. Каркасы изображения используются в задачах ресемплинга (геометрического изменения размеров) изображений (см.[1]), анализа данных аэрокосмической фотосъемки с целью выявления объектов нитевидной структуры (см.[2], [3]) и пр. Такого рода задачи возникают при удаленном зондировании земной поверхности, в частности при мониторинге состояния окружающей среды. При построении каркаса, отрезок прямой, проходящий через узел, определяет направление (вектор), характеризующее поведение изображения в данной точке. В данной работе предложена конструкция каркаса, каждому узлу которого поставлены в соответствие 4 числа: величины и направления ее главных кривизн.

Теоретические предпосылки.

Для решения этой задачи использовались элементы дифференциальной геометрии, касающиеся построения индикатрисы Дюпена. Одним из свойств индикатрисы Дюпена является следующее: квадрат любого ее радиус-вектора дает абсолютное значение радиуса кривизны того нормального сечения, для которого данный радиус-вектор является касательной. Индикатриса Дюпена дает наглядное представление об изменении величины радиуса кривизны при вращении нормального сечения вокруг нормали к поверхности. В эллиптическом случае индикатриса Дюпена - есть эллипс, в гиперболическом – две сопряженные гиперболы, а в параболическом - индикатриса Дюпена представляет собой две параллельные прямые. Во всех трех случаях точка поверхности является центром кривой, и, кривая имеет две оси симметрии.

Для построения индикатрисы Дюпена в каждой точке изображения необходимо получить значения частных производных. Учитывая высокую фрактальность изображения, использование

разностных методов для вычисления частных производных является неустойчивым.

Для вычисления усредненного значения частных производных вокруг каждой точки образуем область, на которой методом наименьших квадратов строится полином 2-й степени наименее отклоняющийся от данных, определенных в области точки. Таким образом, каждой точке изображения ставится в соответствие полином второй степени двух переменных. Используя это аналитическое представление, можно получить приближенные значения частных производных в этой точке, а, следовательно, - значения и направления главных кривизн. Имея информацию о дифференциальных характеристиках изображения, можно проводить анализ изображения с точки зрения изменения структуры элементов этого изображения.

Алгоритм построения каркаса изображения.

Считая, что $f_{i,j}$ – значение изображения в точке (i,j) , найдем алгебраический полином второй степени двух переменных наименее отклоняющийся от $f_{i-\nu,j-\mu}$ для $\mu, \nu = -1, 0, 1$, то есть, в случае, когда окрестность представляет собой квадрат со стороной в три пиксела -

$$\Phi(a_{\nu\mu}) = \sum_{\nu, \mu=-1}^1 \left(f_{i-\nu,j-\mu} - (a_{00} + a_{10} \cdot \nu + a_{01} \cdot \mu + a_{20} \cdot \nu^2 + 2a_{11} \cdot \nu \cdot \mu + a_{02} \cdot \mu^2) \right)^2 \rightarrow \min$$

Полученная функция является параболоидом и имеет один экстремум – минимум, для определения этого экстремума продифференцируем функцию φ по каждой переменной и результат приравняем нулю. Решая полученную систему, получаем

$$a_{00} = \frac{2}{9}f_{i-1,j} - \frac{1}{9}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{9}f_{i+1,j-1} + \frac{2}{9}f_{i+1,j} - \frac{1}{9}f_{i+1,j+1} + \frac{5}{9}f_{i,j} - \frac{1}{9}f_{i-1,j-1} + \frac{2}{9}f_{i,j-1} + \frac{2}{9}f_{i,j+1},$$

$$a_{10} = -\frac{1}{6}f_{i-1,j} - \frac{1}{6}f_{i-1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} - \frac{1}{6}f_{i-1,j-1},$$

$$a_{01} = \frac{1}{6}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{6}f_{i,j-1} + \frac{1}{6}f_{i,j+1} - \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} - \frac{1}{6}f_{i-1,j-1},$$

$$a_{20} = \frac{1}{6}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{3}f_{i,j-1} - \frac{1}{3}f_{i,j+1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i-1,j} + \frac{1}{6}f_{i+1,j} + \frac{1}{3}f_{i,j} + \frac{1}{6}f_{i-1,j-1},$$

$$a_{11} = -\frac{1}{4}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{4}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{4}f_{i+1,j+1} + \frac{1}{4}f_{i-1,j-1},$$

$$a_{02} = -\frac{1}{3}f_{i-1,j} + \frac{1}{6}f_{i-1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i,j-1} - \frac{1}{3}f_{i,j} + \frac{1}{6}f_{i,j+1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} - \frac{1}{3}f_{i+1,j} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i-1,j-1}.$$

Отсюда получаем полином, описывающий поведение изображения в точке (i,j)

$$\begin{aligned}
 P_2(x,y) = & \frac{2}{9}f_{i-1,j} - \frac{1}{9}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{9}f_{i+1,j-1} + \frac{2}{9}f_{i+1,j} - \frac{1}{9}f_{i+1,j+1} + \frac{5}{9}f_{i,j} - \frac{1}{9}f_{i-1,j-1} + \frac{2}{9}f_{i,j-1} \\
 & + \frac{2}{9}f_{i,j+1} + \left(-\frac{1}{6}f_{i-1,j} - \frac{1}{6}f_{i-1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} - \frac{1}{6}f_{i-1,j-1} \right) \cdot (x-i) + \\
 & \left(\frac{1}{6}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{6}f_{i,j-1} + \frac{1}{6}f_{i,j+1} - \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} - \frac{1}{6}f_{i-1,j-1} \right) \cdot (y-j) + \\
 & \left(\frac{1}{6}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{3}f_{i,j-1} - \frac{1}{3}f_{i,j+1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i-1,j} + \frac{1}{6}f_{i+1,j} + \frac{1}{3}f_{i,j} + \frac{1}{6}f_{i-1,j-1} \right) \cdot \\
 & (x-i)^2 + 2 \cdot \left(-\frac{1}{8}f_{i-1,j+1} - \frac{1}{8}f_{i+1,j-1} + \frac{1}{8}f_{i+1,j+1} + \frac{1}{8}f_{i-1,j-1} \right) \cdot (x-i) \cdot (y-j) + \\
 & \left(-\frac{1}{3}f_{i-1,j} + \frac{1}{6}f_{i-1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i,j-1} - \frac{1}{3}f_{i,j} + \frac{1}{6}f_{i,j+1} + \frac{1}{6}f_{i+1,j-1} - \frac{1}{3}f_{i+1,j} + \frac{1}{6}f_{i+1,j+1} + \frac{1}{6}f_{i-1,j-1} \right) \cdot \\
 & (y-j)^2.
 \end{aligned}$$

Так как от параллельного сдвига результат не изменится, то без потери общности можно считать $i=0$ и $j=0$.

Вычислим частные производные:

$$\begin{aligned}
 f'_x(x,y) &= a_{10} + 2 \cdot a_{20} \cdot x + 2 \cdot a_{11} \cdot y, f''_{xx} = 2 \cdot a_{20}, \\
 f'_y &= a_{10} + 2 \cdot a_{02} \cdot y + 2 \cdot a_{11} \cdot x, f''_{xy} = 2 \cdot a_{11}, f''_{yy} = 2 \cdot a_{02}.
 \end{aligned}$$

Значения частных производных в точке (0,0) будут равны:

$$\begin{aligned}
 f'_x(0,0) &= a_{10}, f''_{xx}(0,0) = 2 \cdot a_{20}, f'_y(0,0) = a_{01}, \\
 f''_{xy}(0,0) &= a_{11}, f''_{yy}(0,0) = 2 \cdot a_{02}.
 \end{aligned}$$

Вычислим значения производных в направлении вектора $(\cos \varphi, \sin \varphi)$:

$$\begin{aligned}
 \frac{df}{dS}(0,0) &= \frac{df}{dx}(0,0) \cos \varphi + \frac{df}{dy}(0,0) \sin \varphi, \\
 \frac{d^2f}{dS^2}(0,0) &= \frac{d^2f}{dx^2}(0,0) \cos^2 \varphi + 2 \cdot \frac{d^2f}{dxdy}(0,0) \cos \varphi \cdot \sin \varphi + \frac{d^2f}{dy^2}(0,0) \sin^2 \varphi.
 \end{aligned}$$

Тогда значение кривизны будет иметь вид:

$$K|_{0,0}(\Phi) = \frac{\left| f''_{xx}(0,0) \cos^2 \varphi + f''_{xy}(0,0) \sin 2\varphi + f''_{yy}(0,0) \sin^2 \varphi \right|}{\left(\sqrt{1 + \left(f'_x(0,0) \cos \varphi + f'_y(0,0) \sin \varphi \right)^2} \right)^3}. \quad (1)$$

Для малой окрестности точки можно считать, что функция имеет естественную параметризацию, то есть имеет место равенство

$$\left(\sqrt{1 + (f'_x(0,0) \cos \varphi + f'_y(0,0) \sin \varphi)^2} \right)^3 \approx 1,$$

таким образом, получаем:

$$K|_{0,0}(\Phi) \approx f''_{xx}(0,0) \cos^2 \varphi + f''_{xy}(0,0) \sin 2\varphi + f''_{yy}(0,0) \sin^2 \varphi.$$

Для нахождения направления и величины главных кривизн нужно найти экстремумы этой функции. Возьмем от этого выражения производную по φ и приравняем к нулю для получения главных направлений кривизны:

$$\frac{dK|_{0,0}(\Phi)}{d\varphi} = -2 \cdot f''_{xx}(0,0) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \varphi + f''_{xy}(0,0) \cdot \cos 2\varphi + 2 \cdot f''_{yy}(0,0) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi = 0,$$

или, что то же

$$2 \cdot (f''_{yy}(0,0) - f''_{xx}(0,0)) \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi + f''_{xy}(0,0) \cdot \cos 2\varphi = 0.$$

Таким образом получаем простое тригонометрическое уравнение:

$$(f''_{yy}(0,0) - f''_{xx}(0,0)) \cdot \sin 2\varphi + f''_{xy}(0,0) \cdot \cos 2\varphi = 0.$$

Решая это уравнение, получаем $\varphi = \frac{k\pi - \theta}{2}$ при $k \in Z$, где

$$\theta = \arcsin \frac{f''_{xy}(0,0)}{\sqrt{(f''_{yy}(0,0) - f''_{xx}(0,0))^2 + (f''_{xy}(0,0))^2}} = \arcsin \frac{2 \cdot a_{11}}{\sqrt{(2 \cdot a_{02} - 2 \cdot a_{20})^2 + 4 \cdot a_{11}^2}}.$$

Таким образом мы получили два основных направления кривизны –

$$\varphi_0 = -\frac{\theta}{2} \text{ и } \varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{\theta}{2}. \quad (2)$$

Таким образом, каждой точке изображения в градациях серого (или для каждой цветовой компоненты отдельно) ставится в соответствие два направления основных кривизн, определяемых углами (2) вместе с соответствующими значениями кривизн (1).

Выводы.

Предложенный алгоритм реализован на алгоритмическом языке C# и показал свою пригодность в задачах анализа изображений. Эта технология может быть использована для разделения изображения на области (кластеры) с похожей дифференциальной структурой, в

частности, для выделения «нитевидных» объектов и объектов искусственного происхождения на изображениях аэрокосмической съемки.

Результат реализации предложенного алгоритма.



Рисунок 1 - Оригинальное изображение

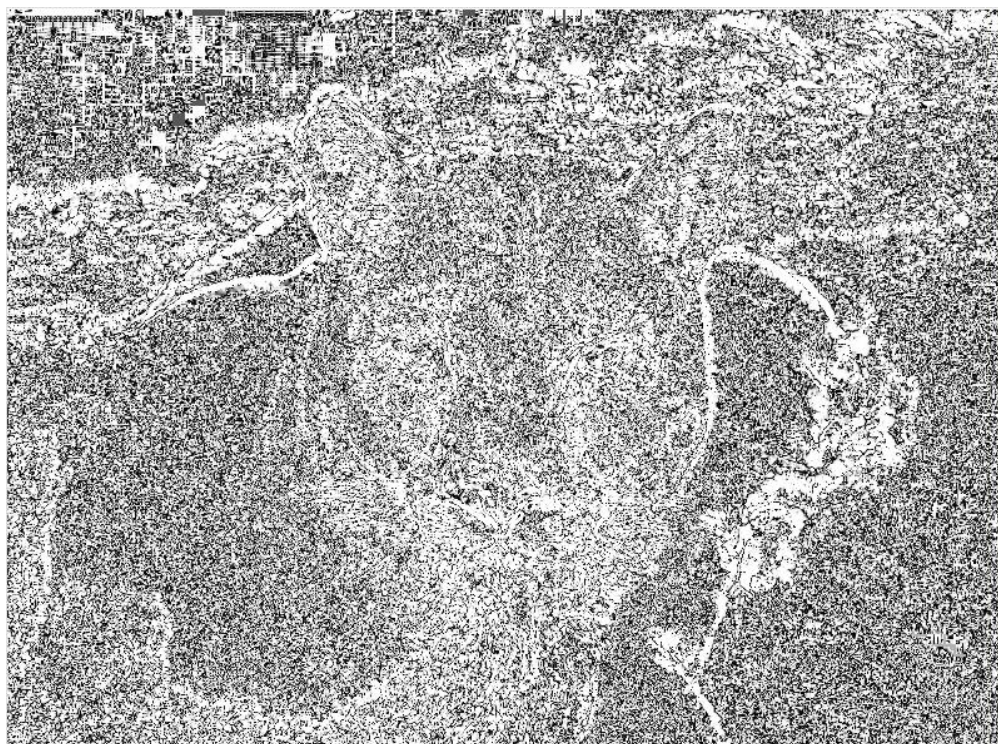


Рисунок 2 - Каркас изображения

ЛИТЕРАТУРА

1. Когут П.І., Сердюк М.Є. Про задачу реконструкції зображень за їх каркасною інтерполяцією // Системні технології, 3 (50), 2007.- С. 35-45.
2. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А.Фурман, А.В.Кревецкий, А.К.Передреев, А.А.Роженцов, Р.Г.Хавизов, И.Л.Егошина, А.Н.Леухин. Под ред. Я.А.Фурмана.- 2-е изд., испр.. – М.:Физматлит, 2003.-592 с.
3. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.- М.: Техносфера, 2005.- 1070 с.

Получено 08.02.2009г.

УДК 621.055.5

В.Н. Журавлёв, В.С. Кабак

МЕТОДИЧЕСКАЯ И ИНФОРМАЦИОННАЯ АДЕКВАТНОСТЬ ГАРМОНИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ

Постановка задачи.

В основе спектральной математической модели речеслухового процесса лежит метод обратимых преобразований речевого сигнала (РС) по системе ортогональных функций. Главное достоинство таких преобразований состоит в том, что они позволяют представить анализируемый сигнал $si(t)$ в виде конечной суммы k независимых детерминированных составляющих $si(t) = \sum_k A_k \psi_k(t)$. При этом, применительно к речеслуховому процессу, синтез и анализ каждой составляющей $A_k \psi_k(t)$ выполняет соответствующий физиологический орган речеслуховой системы. Опуская на данном этапе исследований роль управляющих речеслуховых функций центральной нервной системы человека, проведем анализ адекватности спектральной математической модели идентификации информационных составляющих реализаций речевого сигнала (РС).

Основная часть.

Идея спектральной модели. В существе спектрального подхода можно выделить две основные идеи: синтеза и анализа информационной и идентификационной (по отношению к диктору) составляющих РС. Под спектральным синтезом РС понимается процесс информационного генерирования физиологическими органами речевой системы детерминированных ортогональных составляющих $A_k \psi_k(t)$ с их пространственным суммированием по длине речевого тракта. Количество k ортогональных составляющих и значения их весовых коэффициентов a_k аутентифицируют информационную и идентификационную составляющие РС. Под спектральным анализом, соответственно, понимается процесс информационного разложения физиологическими органами слуховой

системы сигнала $si(t)$ на ортогональные составляющие $si(t) = A_k \psi_k(t)$ с их последующей информационной обработкой в высших отделах ЦНС.

В настоящее время экспериментально установлена и признана [1] неполная информационная адекватность спектрального метода обработки РС. Учитывая требования и ограничения, предъявляемые спектральными методами к параметрам временной функции речевого сигнала $si(t)$, проведем теоретический и экспериментальный анализ методической адекватности спектрального метода идентификации речи.

Наибольшее применение в спектральном анализе получила система комплексных экспоненциальных функций [2]. При известных выражениях базисных функций $\psi_k(t) = \exp(-j\omega t)$ сигнал $si(t)$ однозначно определяется совокупностью коэффициентов A_k и может быть абсолютно точно восстановлен по этим коэффициентам. Таким образом, любая функция гильбертова пространства может быть представлена в виде комплексного ряда Фурье, который лежит в основе спектральной модели РС. При практических применениях ряд Фурье ограничивается определенным количеством членов k . Ограничение числа членов ряда означает аппроксимацию бесконечномерного сигнала k – мерной системой базисных функций спектра сигнала с определенной методической погрешностью в зависимости от фактического спектра сигнала.

Ограничение интервала интегрирования $t \in [Tp]$ временем «квазистационарности» параметров физиологических органов речевой системы приводит к дополнительным (в сумме с вышеуказанной) погрешностям, которые влияют на информационную адекватность. Кроме того, тригонометрические (и связанные с ними комплексно-экспоненциальные) функции являются собственными (детерминированными на интервале интегрирования Tp) функциями и поэтому пригодны для исследования информационных характеристик и параметров сигналов, у которых изменения параметров во времени отсутствуют, т.е. детерминированных.

С позиций анализа РС в частотной области и точного восстановления его после преобразований можно отметить недостатки разложения сигналов в ряды Фурье, отметим основные из них.

Ограниченная информативность анализа на нестационарных временных интервалах и практически полное отсутствие возможностей анализа параметров особенностей сигналов (сингулярностей), т.к. в частотной области происходит «размытие» особенностей сигналов (разрывов, ступенек, пиков и т.п.) как по окну анализа, так и по всему частотному диапазону спектра. Так, например, преобразование Фурье не различает сигнал с суммой двух синусоид (стационарный сигнал), от сигнала с двумя последовательно следующими синусоидами с теми же частотами (нестационарный сигнал), т.к. спектральные коэффициенты a_k вычисляются интегрированием по всему интервалу T_p анализа сигнала, т.е. идентифицируют качественный спектральный состав. Преобразование Фурье в принципе не имеет возможности анализировать частотные характеристики сигнала в произвольные моменты времени.

Детерминированные тригонометрические собственные базисные функции разложения не способны в принципе отображать перепады сигналов с бесконечной крутизной изменения параметра, т.к. для этого требуется бесконечно большое число членов ряда. При ограничении числа членов ряда Фурье в окрестностях скачков и разрывов восстановленного сигнала возникают осцилляции (эффект Гиббса).

Как видно из вышеизложенного, адекватность спектрального метода анализа РС полностью определяется стационарностью сигнала $si(t)$ на анализируемых временных интервалах.

В последующих экспериментальных исследованиях будем определять основные характеристики и параметры стационарности сигнала $si(t, \Delta t)$ [4] как дискретного случайного речевого процесса (СРП), т.е. представим РС в виде числового ряда, отражающего значения функции $si(t)$ через детерминированные дискретные интервалы времени $\Delta t \ll T_p$. Строгое определение стационарности случайного процесса подразумевает неизменность функции распределения плотности вероятностей (ФРПВ) его значений $wp_n[si(t, \Delta t)], t \in (\Delta t], t \in (T_p], \Delta t \in (T_p]$ произвольного порядка n на любых временных интервалах его реализаций $t \in [T_p]$, в частном случае одномерная $wp_1[si(t)]$ ФРПВ

$$wp_1[si(t, \Delta t)] = \frac{\partial F[si(t, \Delta t)]}{\partial si(t, \Delta t)}, \quad (1)$$

где $F[si(t, \Delta t)] = p[si(t, \Delta t) < x]$ - интегральная функция распределения.

Независимость ФРПВ определяет постоянство моментов этих реализаций: среднего и дисперсии, необходимых, но недостаточных условий стационарности. Менее строго (в широком смысле по А.Я. Хинчину [5]) стационарность характеризует неизменность автокорреляционных функций

$$R_{ss}(t, \Delta t, \tau) = \int_0^{Tw} [si(t, \Delta t), si(t, \tau)] d\tau, \tau \in (Tw), \quad (2)$$

где Tw - временной интервал окна анализа реализаций процесса $si(t, \Delta t)$. Корреляционная теория определяет интервал стационарности как время корреляции АКФ τ_0 , который определяется [6] как половина ширины основания прямоугольника единичной высоты, площадь которого равна площади под графиком АКФ:

$$\tau_0 = \frac{1}{2} \int_0^{Tw} R_{ss}(t, \Delta t, \tau) d\tau \Big|_{r_{ss} > 0}. \quad (3)$$

Таким образом, аргументированным требованием, ограничивающим применение спектральных методов как инструмента параметрического информационного анализа, является строгое требование стационарности функции $si(t)$ на исследуемом временном интервале Tr , либо оконных интервалах Tw . Ранжируем порядок исследования требований стационарности оконных реализаций: функция распределения плотности вероятностей, интервал корреляции АКФ среднее и дисперсия РС.

Анализ вариабельности ФРПВ (1) однозначно определяет [7] несоответствие требованию стационарности СРП фонем и вывод о неполной информационной адекватности метода спектрального анализа амплитуд РС, однако остается возможность качественного анализа присутствия размытых спектральных составляющих с неопределенными амплитудами. Проведенными исследованиями экспериментально установлен факт несоответствия ФРПВ нормальному закону распределения [8].

Анализ изменения дисперсии РС $R_{ss}(t, \Delta t, \tau)|_{\tau=0}$ и интервала корреляции АКФ (2) показывает их вариабельность на времени

длительности фонемы, параметр интервала корреляции (3) чувствителен к верхней граничной частоте спектральной плотности мощности (СПМ) РС [9,10], что подтверждает предыдущий вывод. В результате анализа вышеизложенного можно сделать вывод о несоответствии РС требованиям стационарности на интервале «квазистационарности», что обуславливает:

Неполную информационную и методическую адекватность метода анализа спектра амплитуд. Результаты применения методов спектрального анализа адекватны только в части исследования параметров СПМ РС, при этом необходимо учитывать, что в связи с внутренним методическим анализом АКФ разные фонемы могут иметь одинаковые характеристики и параметры СПМ.

При цифровой обработке РС нельзя применять теорему Котельникова о дискретизации, связанную с верхней частотой анализируемого сигнала.

Для реализации ЦОС нами был предложен и апробирован метод определения частоты дискретизации по параметру доверительной вероятности восстановления формы РС [11], который показал свою эффективность и применялся в последующих экспериментальных исследованиях.

Анализ АКФ показывает её экспоненциально гармонический характер $R_{ss}(t, \Delta t, \tau) = [R_{ss}(t, \Delta t, \tau)|_{\tau=0}]e^{-\tau} \cos \omega_n \tau$, это позволяет сделать вывод об узкополосном энергетическом спектре на несущей частоте ω_n . В связи с этим возникает задача нахождения модулирующей функции кинем $sk(t)$ – сигналов перемещения физиологических органов речевой системы диктора в процессе артикуляции. Информационный сигнал кинем $sk(t)$ является свехнизкочастотным, подтональным ($f_k < 50\text{Hz}$) и не может быть передан в атмосфере на жизненно необходимые расстояния, поэтому, в процессе физиологического процесса речеобразования, он модулирует несущие сигналы основного тона (процесс вокализации), обеспечивая необходимую акустическую мощность РС. Представим РС в виде:

$$si(t) = Md_I \left[\sum sk(t), \sum_{i=1}^{gi} sgi_i(\vec{a}_{m_i}, t) \right], t \in [Tp], \quad (4)$$

где: Md_I – символ системного оператора модуляции источника сообщений, в общем случае нелинейного, $\vec{a}_m$ – вектор параметров m –

го метода модуляции, g_i – количество несущих сигналов. Сигнал фонемы $si(t)$ характеризуется параметрами времени его передачи и полосой частот $\Delta\Omega_i$, определяемой ω_{gi} – частотами несущих сигнала и методом управления информационными параметрами. Зависимости параметра индекса модуляции – Δa_m для амплитудной и частотной модуляции вокализованного РС рассмотрены и исследованы достаточно подробно [12]. На основе гипотезы фазовой чувствительности слуха [13] проведем исследования зависимости изменения параметра Δa_m при угловой φ модуляции несущих сигнала сигналами кинем для вокализованных фонем. Представим сигнал кинем $sk(t)$ как сумму m гармонических сигналов

$$sk(t) = \sum_{i=1}^m A_i(t) \cos[\omega k_i t + \Psi_i(t)], \text{ где выражение под знаком косинуса есть}$$

полная фаза, которая является информационным сигналом, т.к. отображает информацию о текущем изменении фазы сигнала кинем. Таким образом, РС $si(t)$, можно представить следующим выражением:

$$si(t) = Md_{\varphi} \left[\sum_{i=1}^m A_i(t) \cos[\omega k_i t + \Psi_i(t)], sgi(\omega_0, t) \right], \quad (5)$$

где $\Psi_i(t)$, ωk_i – фазовый угол и угловая частота i – ой кинемы. Данный сигнал можно анализировать как узкополосный случайный процесс $sw(t) = A(t) \cos[\omega_0 t + \Psi(t)]$ в полосе несущих тональных частот: $\omega_0 \in (\omega^l, \omega^h) \in [\Delta\Omega]$ – нижняя и верхняя частоты анализируемого РС, у которого как огибающая $A(t)$ так и начальная фаза являются случайными функциями, медленно (по сравнению с $\cos \omega_0 t$) изменяющимися во времени. Ранее доказано [12], что РС принадлежат гильбертову пространству с конечной мощностью в интервалах времени Tr и частоты СПМ $N_i(\omega, t), \omega \in (\omega^l, \omega^h) \in (\Delta\Omega), t \in [Tr]$, не содержит дельта функций и разрывов, поэтому для анализа процесса угловой демодуляции РС (5) можно применить метод низкочастотного эквивалента [6]. Угловая демодуляция РС может осуществляться традиционным методом, который предусматривает промежуточное вычисление аналитического

сигнала при помощи преобразования Гильберта и нахождение аргумента $\Psi(\omega k, t)$ исследуемого сигнала.

$$\Psi(\omega k, t) = \arg\{Hil\{A(t)\cos[\omega_0 t + \Psi(t)]\exp(-j\omega_0 t)\}\}, \quad (6)$$

где $Hil\{*\}$ - вычисление преобразования Гильберта, $\arg\{*\}$ - вычисление аргумента функции. Нами учитывалось, что преобразование Гильберта, выполняющее расчет квадратурного дополнения сигнала $si(t)$, оперирует функциями прямого и обратного преобразования Фурье, т.е. требует строгой стационарности сигнала аргумента. При анализе результатов экспериментальных исследований [14], принимая во внимание предыдущие выводы о строгой нестационарности РС, учитывалась их неполная информационную адекватность.

Выводы.

В результате экспериментальных исследований установлен факт разрывности фазовой функции (6) угловой модуляции РС свидетельствует о дискретном характере речеслухового процесса и ставит под сомнение факт полной информационной адекватности метода гармонического анализа и синтеза РС. В дополнение к предыдущему можно констатировать, что современная модель речеслухового процесса не поясняет факта физиологического аналого-цифрового преобразования формы временной реализации РС в низкоскоростную импульсную последовательность сигналов слуховых нейронов ЦНС. Таким образом, основным недостатком рассмотренной гармонической модели РС является её неполная информационная и методическая адекватность эволюционным психофизиологическим речеслуховым процессам, обеспечивающим природный метод кодирования информации в звуковых сигналах речи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галунов В.И. Современные речевые технологии (обзорная статья). [Электронный ресурс] – СПб., 2008. – Режим доступа: <http://www.auditech.ru/article/SpecomRus.doc> свободный. – Загл. с экрана.
2. Журавлев В.Н., Архипов А.Е. Анализ противоречий теорий речеобразования и слуха с позиции идентификации информационных параметров и характеристик речевых сигналов.

- Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія № 2(9),
Винница. 2007, С. 180 – 185.
3. Солодовников А.И., Спиваковский А.М. Основы теории и методы спектральной обработки информации. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. – 1986, 272 с.
 4. Михайлов В.Г., Златоустова Л.В. Измерение параметров речи /Под ред. М.А. Сапожкова. – М. Радио и связь. 1987. – с. 168.
 5. Брандт З. Статистические методы анализа наблюдений. – М.: Мир, 1975, – 312 с.
 6. Френсис Л. Теория сигналов. – М.: Сов. радио, 1974. – 344 с.
 7. Тихонов В.А., Нетребенко К.В. Негауссовы характеристики речевых сигналов. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Вып. 123. – Харьков: 2003. с. 57 – 62.
 8. Журавлев В.Н., Жуковицкий И.В. Экспериментальные исследования зависимости формы фонем речевого сигнала от их информационного содержания. Міжнародна науково – практична конференція «Сучасні інформаційні технології на транспорті, промисловості та освіті». – Дніпропетровськ, ДНУЖТ: - 2008. - С. 59 - 60.
 9. Журавлев В.Н., Кабак В.С., Рыбин В.О. Анализ параметров автокорреляционной функции фрагментов фонем в задачах идентификации абонента. Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2004. - № 1(9). - С. 29-33.
 10. Кабак В.С., Журавлєв В.Н., Рибин В.О. Підвищення ефективності ідентифікації статичних і динамічних параметрів мовного сигналу. Всеукраїнська науково – практична конференція «Удосконалення діяльності ОВС України з попередження й розкриття злочинів та інших правопорушень». – Запоріжжя, Юридичний інститут МВС України: - 2007. - С. 88 - 89.
 11. Журавлев В.Н. Анализ влияния частоты дискретизации на точность цифровой обработки речевых сигналов в системах биометрической идентификации. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – 2005. – № 10. – С. 51-57.
 12. Сорокин В.Н. Теория речеобразования. – М. – Радио и связь. 1985. – с. 312.

13. Журавлев В.Н., Жуковицкий И.В. Анализ методов и результатов исследований зависимости информационного параметра речевого сигнала от фазовых соотношений его гармонических составляющих. Научно – технічний журнал. "Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті". Харків, - 2007. - №3(65). – С. 8 – 13.
14. Журавлев В.Н., Жуковицкий И.В. Исследование девиации частоты фонации при демодуляционной обработке речевого сигнала. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. Днепропетровск, - 2006.- № 11. - С. 67 - 73.

Получено 18.02.2009г.

УДК 681.3.07

В.Г. Калиманов

ПОИСК ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗОБРАЖЕНИЙ ГЛАЗА В ПОЛЯРИЗОВАННОМ СВЕТЕ

Введение

Ежегодно в Украине специалисты выявляют косоглазие в среднем у 50 тысяч детей. Это не только косметический недостаток, но и серьезное заболевание, которое, в конечном счете, ведет к нарушению зрительного восприятия. Косоглазие встречается сегодня по различным данным от 0,5% до 2% детей. В настоящее время практически единственным объективным методом диагностики структурных и структурно-функциональных нарушений глазодвигательных мышц является поляризационно-оптический метод, основанный на исследовании оптической анизотропии роговицы глаза в поляризованном свете [1,2]. Роговица живого глаза оптически анизотропна, что обусловлено ее составом, строением и приложенными к ней усилиями со стороны глазодвигательных мышц и внутриглазного давления.

Форма интерференционной картины, наблюдаемой на роговице живого глаза в поляризованном свете, во многом зависит от силы действия и места прикрепления прямых глазодвигательных мышц к склере. Исследуя геометрические параметры интерференционной картины, можно определить какая из мышц вызывает косоглазие и разработать тактику хирургического лечения. Однако неадекватность и недостоверность извлекаемой из изображений информации, ее избыточность, и в то же время дефицит применительно к проблемно-ориентированной области, неоднозначность трактовок результатов, а главное – недостаточное развитие на современном этапе методов цифровой обработки изображений приводят к необходимости синтеза метода высокоточного измерения подобных геометрических характеристик объектов (в частности, изохром первого порядка) на изображениях, регистрируемых в поляризованном свете. Цель работы – синтез технологии автоматизации диагностики патологии глазодвигательных мышц. Для этого необходимо определить

© Калиманов В.Г., 2009

геометрический центр роговицы глаза и геометрические параметры интерференционной картины (отрезки диагоналей интерференционного ромба, углы между ними), которые являются основными информативными признаками.

Постановка задачи и анализ путей решения

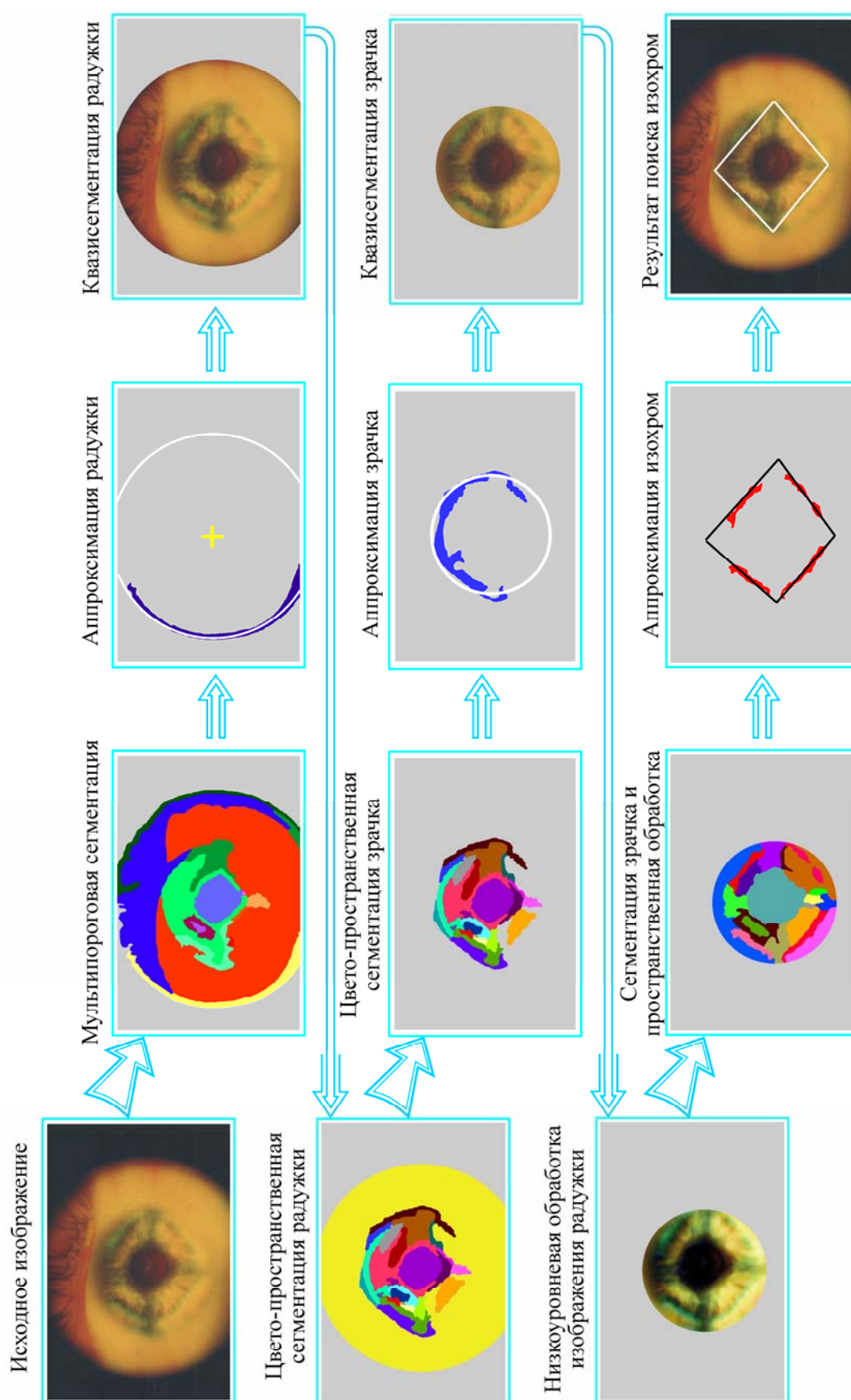
Пусть изображение $B(x, y)$, заданное функцией распределения яркостей (цветов), определено в поле зрения $D \subset \mathbb{R}^2$. Рассмотрим множество всех непустых подмножеств поля зрения $\mathcal{P}(D)$. Выделим на нем систему подмножеств $\{S_\alpha\}$, $\alpha = 1, 2, \dots$ такую, что каждое семейство областей однородности (в широком смысле этого слова) S_α

состоит из конечного числа элементов $\mathcal{P}(D)$ и $S_\alpha = \bigcup_{\beta=1}^{\gamma_\alpha} s_\beta^\alpha = D$, где γ_α – количество элементов α -го разбиения или покрытия. Если $\forall \beta' \neq \beta'' \in \{1, 2, \dots, \gamma_\alpha\} s_{\beta'}^\alpha \cap s_{\beta''}^\alpha = \emptyset$, то речь идет о строгой сегментации, в противном случае, когда возможны пересечения областей, т.е. нет возможности отнесения некоторых пикселей лишь к одной области, речь идет о нечеткой сегментации. В первом случае в качестве основы группообразования пикселей берется некоторое отношение эквивалентности, экспликацией которого является понятие «обобщенного равенства», а во втором – толерантности, т.е. «обобщенного сходства». Ясно, что учет априорной информации, специфики предметно-ориентированной области должны обеспечивать переход от покрытий к разбиениям. Таким образом, сегментация изображения – это реализация отображения $\mathcal{F}: B(x, y) \rightarrow S_\alpha$, где среди элементов семейства разбиений $\{S_\alpha\}$ необходимо выбирать те, которые в некотором смысле наилучшим образом семантически соответствуют прикладной интерпретации изображения. При этом очевидно, что необходимым условием строгой сегментации изображений является условие

$$\forall (x', y') \in s_{\beta'}^\alpha, \forall (x'', y'') \in s_{\beta''}^\alpha : \beta' \neq \beta'' \Rightarrow \mathcal{F}(B(x', y')) \neq \mathcal{F}(B(x'', y''))$$

Итак, основной задачей является поиск разумного компромисса между недостаточной (в один класс эквивалентности кроме интересующего объекта попадают фоновые объекты или их части) и

СХЕМА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОИСКЕ ИЗОХРОМ



где декартово произведение $V_1 \times V_2 \times \dots \times V_p$ определяет уровни яркостной (цветовой) однородности по гистограммам, выполняется мультипороговая сегментация при низком пространственном разрешении и огрубленных переквантованных яркостных (цветовых) функциях.

После мультипороговой первичной сегментации выполняется традиционная разметка областей, которая обеспечивает входные данные для дальнейшего анализа. Предположим, поле зрения D разбито на K кластеров s_β , $\beta = \overline{1, K}$ с количеством элементов в каждом n_β . Иначе говоря, $D = \bigcup_\beta s_\beta$, и как уже отмечалось, $\forall \beta', \beta'' \in \{1, 2, \dots, K\} : \beta' \neq \beta'' \Rightarrow s_{\beta'} \cap s_{\beta''} = \emptyset$. Пользуясь положениями двухфакторного дисперсионного анализа, полагая $z \in \mathbb{R}^2$, рассмотрим средние в каждой области

$$m_\beta = \frac{1}{n_\beta} \sum_{z \in s_\beta} z$$

и общее среднее

$$m = \frac{1}{n} \sum_{z \in D} z,$$

где $n = \text{card } D = \sum_\beta n_\beta$.

Тогда, определяя «внутрикластерную» и «межкластерную» дисперсии соответственно

$$d' = \sum_{\beta=1}^K \sum_{z \in s_\beta} \|z - m_\beta\|^2, \quad d'' = \sum_{z \in D} \|z - m\|^2,$$

где $\|\circ\|^2$ – евклидова норма, получаем критерий

$$C = (d'' - d') / d'.$$

Очевидно, что чем больше значение C , тем лучше области разделены, а внутренние элементы более «концентрированы» и наоборот. Таким образом, пересчитывая C по каждый сегментированной области и вводя обозначения

$$C^* = \frac{1}{n} \sum_{\beta=1}^K J_\beta \text{card } s_\beta,$$

получаем критерий: необходимо минимизировать C^* по всем возможным разбиениям для фиксированного числа областей. Действительно, если сегментация удачна (области однородны),

значения C для каждой области малы, а следовательно, и C^* стремится к нулю.

На втором этапе путем анализа признаков последовательно объединенных областей, выбирая наилучшие по критериям Ваделла, Гортон, Пентланда, Пирарда, Вентворса [3], с учетом ограничений по площади выбираются области, которые могут адекватно аппроксимироваться окружностями. При этом аппроксимация выполняется либо по границе области, либо по ее скелетону, а каждая область подвергается морфологической фильтрации.

Третий этап фактически соответствует квазипороговой сегментации

$$B_c(i, j) = \begin{cases} B(i, j), & (i, j) \in O; \\ 0, & (i, j) \notin O, \end{cases}$$

после которой (с учетом предварительной обработки полученного фрагмента) фактически повторяются все описанные процедуры, продуцирующие в результате выделенное изображение зрачка. Низкоуровневая обработка (эквализация гистограмм, контрастирование, медианная фильтрация) позволяет получить достаточно детальную сегментацию зрачка. После морфологической обработки ищутся области, являющиеся частями изохром, скелетоны которых аппроксимируются отрезками прямых. В итоге получаем ромбовидную фигуру – изохрому первого порядка.

Рассмотрим теперь особенности аппроксимации окружностей. Дополнительно к трем очевидным параметрам a, b, R Спас [6] предложил оценивать n параметров $\varphi_1, \dots, \varphi_n$. Тогда целевая функция принимает вид

$$f = \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - a - R \cos \varphi_i)^2 + (y_i - b - R \sin \varphi_i)^2, (1)$$

которая, тем самым, зависит от $n+3$ параметров $(a, b, R, \varphi_1, \dots, \varphi_n)$. Расширение параметрического пространства дает возможность проводить двухэтапную минимизацию (1): отдельно по параметрам окружности (a, b, R) и по углам $(\varphi_1, \dots, \varphi_n)$. Такой подход обеспечивает монотонную сходимость при итерационной минимизации функции f .

Если мы зафиксируем угловые параметры $\varphi_1, \dots, \varphi_n$, то f является квадратичной по отношению к a, b, R , т.е. ее минимум ищется приравниванием нулю частных производных

$\partial f / \partial a, \partial f / \partial b, \partial f / \partial R$ и решением полученной системы линейных уравнений. Обозначая $r_i = \cos \varphi_i, s_i = \sin \varphi_i$, после несложных преобразований получаем

$$\begin{cases} a + \bar{r}R = 0, \\ b + \bar{s}R = 0, \\ \bar{r}a + \bar{s}b + R = \bar{x}\bar{r} + \bar{y}\bar{s}, \end{cases} \quad (2)$$

где $\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i$, $\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i$, $\bar{x}\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i r_i$, $\bar{y}\bar{s} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i s_i$.

Полагая $\bar{x} = 0, \bar{y} = 0$, иначе говоря, перенося центр системы координат в центр тяжести множества аппроксимируемых точек, получаем решение системы (2)

$$a = -\bar{r}R, \quad b = -\bar{s}R, \quad R = \frac{\bar{x}\bar{r} + \bar{y}\bar{s}}{1 - \bar{r}^2 - \bar{s}^2}. \quad (3)$$

Необходимо подчеркнуть, что на данном этапе параметры $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ фиксированы, т.е. (3) обеспечивает глобальный минимум квадратичной функции f .

Если мы зафиксируем параметры a, b, R , то, принимая во внимание, что в (1) каждое i -ое слагаемое зависит лишь от одного угла φ_i , то минимизация f по параметрам $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ сводится к поиску минимума расстояния между точкой данных (x_i, y_i) и точкой $(x_i - a - R \cos \varphi_i, y_i - b - R \cos \varphi_i)$, лежащей на окружности, т.е. требуется минимизировать

$$d_i^2 = (x_i - a - R \cos \varphi_i)^2 + (y_i - b - R \cos \varphi_i)^2.$$

Глобальный минимум в этом выражении достигается при выборе ближайшей точки на окружности, которая определяется углом φ_i . Нетрудно заметить, что

$$\cos \varphi_i = \frac{x_i - a}{\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2}}, \quad \sin \varphi_i = \frac{y_i - b}{\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2}}. \quad (4)$$

Таким образом, путем альтернатиции алгоритм Спаса осуществляет глобальную минимизацию функции f : первоначально находится глобальный минимум по $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ при фиксированных значениях a, b, R , а затем ищется глобальный минимум по a, b, R при фиксированных $\varphi_1, \dots, \varphi_n$. Поскольку на каждом шаге ищется глобальный минимум, значение f должно все время убывать: это главное достоинство алгоритма.

Следует заметить, что на практике значения $\varphi_1, \dots, \varphi_n$ нас не интересуют – достаточно знать $r_i = \cos \varphi_i, s_i = \sin \varphi_i$, которые легко находятся при помощи выражений (4). Итак, окончательно алгоритм аппроксимации окружностей сводится к двум шагам:

- вычисление r_i, s_i по известным из предыдущего шага итерации a, b, R ;
- уточнение a, b, R по формулам (3).

Заключение

Вариации степени детализации цифровой формы представления изображений обеспечивают последовательный поиск областей интереса в поле зрения при разумном количестве элементов разбиения, индуцированного на каждом шаге алгоритмом сегментации. Признаки формы отдельных областей или их комбинаций представляют собой достаточный инструментарий для поиска некоторых «опорных» фрагментов изображений с целью последовательного уточнения результатов сегментации. В итоге можно получать валидные результаты интерпретации визуальной информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеньков М.А. Поляризационный метод исследования роговицы глаза /М.А. Пеньков, Р.М. Тамарова, М.Л. Кочина // Новости медицинской техники. – ВНИИМП. – М., 1982. – Вып.1. – С. 27-30.
2. Кочина М.Л. Поляризационно-оптические свойства роговой оболочки глаза /М.Л. Кочина // Актуальные вопросы офтальмологии. – Харьков, 1980. – С.45-47.
3. Jahne B. Digital image processing / B. Jahne. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. – 2002. – 585 P.
4. Russ J.C. The image processing handbook / J.C. Russ. – N.Y.: CRC Press Taylor & Francis Group. – 2008. – 817 P.
5. Insight into images. Principles and practice for segmentation, registration and image analysis / T.S. Yoo, ed. – Wellesey: AK Peters Ltd. – 2004. – 393 P.
6. Spath H. Least-squares fitting by circles / H. Spath // Computing. – Vol. 57, No 9. – 1996. – P. 179–185.

Получено 20.02.2009г.

УДК 004.825

Я.І. Виклюк, О. Артеменко

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕКЛАМНОЇ КАМΠΑНІЇ
ТУРИСТИЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ
НЕЧІТКОГО АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА
РЕКРЕАЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЇ**

Вступ

Успішна діяльність будь-якого підприємства полягає в його здатності привабити нових клієнтів та перетворити їх на постійних. Ця задача є найбільш актуальною саме для сфери послуг, частиною якої являється туризм. Основним інструментом для вирішення першої частини задачі, тобто залучення нових клієнтів, є реклама. Проведення рекламних кампаній вимагає серйозної підготовки їх стратегії, а також певних фінансових затрат. Тому одним з основних питань є оцінка ефективності використаної реклами.

Підприємство, що бажає залучити нових відвідувачів, повинно спрямувати деякий інформаційний сигнал (рекламу) на свою цільову аудиторію (потенційних клієнтів).

За останні десять років в різних регіонах України розвинувся різноманітний малий і середній туристичний бізнес. Чернівецька область є одним з лідерів по кількості нещодавно відкритих підприємств туристичної галузі. Новостворені підприємства стикаються з певними проблемами при прийнятті рішень щодо рекламних заходів. Алгоритми оцінки впливу рекламних інформаційних потоків на фінансові результати можуть служити науковим підґрунтям, яке полегшить прийняття рішень в даній ситуації.

Мета і актуальність дослідження

Метою роботи є побудова програмно-алгоритмічної моделі оцінки ефективності рекламної кампанії для новостворених підприємств туристичної галузі з використанням нечіткого алгоритму, який визначає сезонний показник рекреаційної привабливості території.

© Виклюк Я.І., Артеменко О., 2009

Актуальність статті полягає у створенні алгоритму визначення найбільш ефективних для конкретного туристичного підприємства видів реклами, а також оптимальних строків проведення рекламної кампанії.

Практична цінність дослідження полягає в наданні конкретних рекомендацій керівникам підприємств туристичної галузі щодо масштабів, строків проведення та стратегії рекламних кампаній та PR-акцій.

Постановка задачі

Коли люди обирають нове місце відпочинку, вони, найперше, шукають інформацію про даний об'єкт. Чим доступнішими та повнішими будуть відомості, тим простіше прийняти рішення. Яким би цікавим не був об'єкт для туристів, він не матиме відвідувачів, якщо люди не знають про нього. Отже, для впливу на цільову аудиторію потрібно спрямувати на неї відповідні інформаційні потоки.

Інформація, яку підприємство передає в зовнішнє середовище, має різну природу: статистична звітність, контакти з постачальниками, партнерами та конкурентами, відгуки, що поширюють клієнти в своєму оточенні та, безумовно, реклама. Саме останні два види інформаційних потоків є найбільш доступними та цікавими потенційним відвідувачам.

Тобто, якщо туристичне підприємство хоче залучити якомога більше нових відвідувачів, воно повинне, по-перше, слідкувати за якістю надання послуг. Адже негативні відгуки клієнтів можуть суттєво зіпсувати репутацію фірми. І, по-друге, проводити своєчасні, різноманітні та ефективні рекламні кампанії [1].

В роботі запропоновано модель, яка дозволить визначити рекламні заходи, які найкраще впливають на цільову аудиторію конкретного нового туристичного підприємства, оптимальні строки їх проведення з врахуванням сезонних коливань, а також оцінити фінансові результати від використання рекламних інформаційних сигналів.

Однією з особливостей діяльності туристичних підприємств є значний вплив сезонних характеристик на показники їх роботи. Для визначення сезонної складової класичними методами потрібно проаналізувати досить велику кількість статистичної інформації.

Проблемою нових підприємств є відсутність у них такої інформації, або її недостатня кількість. Саме тому нами запропоновано використати нечіткий алгоритм для визначення впливу сезонних коливань, оскільки апарат нечіткої логіки дозволяє працювати з короткими статистичними вибірками.

Математична модель

Основними показниками, що відображають успішність діяльності підприємства є його дохід та кількість замовлень. Рекламу застосовується з метою суттєво збільшити обидва показники. Критерієм ефективності рекламної кампанії є зміна доходів в результаті її проведення:

$$\Delta Q(t) = Q_A(t) - Q(t) \quad (1)$$

де $\Delta Q(t)$ – часовий ряд, який містить показники приросту доходів підприємства, отримані завдяки рекламним інформаційним потокам протягом року; $Q_A(t)$ – величина доходів підприємства, отриманих під впливом реклами; $Q(t)$ – доходи підприємства без реклами; t – час (місяці).

Як відомо, на кількість відвідувачів туристично-рекреаційного об'єкта (ТРО) впливають сезонність попиту на його туристичні послуги та реклама. Крім того, як і в будь-якому часовому ряді, тут присутні тренд та шум.

В загальному вигляді дохід підприємства Q_A можна представити як адитивну модель:

$$Q_A(t) = T(t) + S(t) + A(t) + N(t) \quad (2)$$

де $T(t)$ – тренд, $S(t)$ – сезонні коливання, $A(t)$ – реклама, $N(t)$ – шум.

Тренд показує чистий вплив довготривалих факторів, ефект яких проявляється поступово. Для нашої моделі це будуть повільні зміни тенденцій кількості доходів ТРО. Оскільки дослідження проводиться для новоствореного підприємства, то вважаємо, що вплив незначний, тому тренд можна знехтувати.

Сезонні коливання виникають в часових рядах на регулярній основі та мають, зазвичай, плаваючий або змінний характер. При використанні квартальних або місячних даних для дослідження сезонності і прогнозування сезонних процесів вхідний часовий ряд

повинен містити дані не менш, ніж за 4 роки [2]. Тобто для визначення рівня сезонних коливань потрібно накопичити статистичні дані хоча б за 4 роки, чого у новостворених підприємств не може бути.

Для туристично-рекреаційних об'єктів, можна припустити, що індикатор сезонних коливань пропорційний сезонному нечіткому агрегованому показнику туристичної привабливості території [3]. Нечіткий алгоритм визначення показника рекреаційної привабливості не потребує накопичення статистичної інформації про об'єкт дослідження. Вхідними даними в цьому випадку служать оцінки експертів та географічні характеристики об'єкта (висота, географічні координати, наявність під'їзних шляхів, водойм тощо).

Показник туристичної привабливості території $P(t)$ складається з окремих показників привабливості, що базуються на актуальних видах відпочинку. Оскільки аналіз ефективності рекламної кампанії проводиться для одного з популярних ТРО Чернівецької області, то в розрахунку рекреаційного потенціалу враховуються параметри тих видів відпочинку, які є популярними в цьому регіоні.

Для територій Чернівецької області актуальні види відпочинку та рекреації можна об'єднати в чотири групи:

P_1 – зимовий відпочинок;

P_2 – відпочинок в літній період на воді;

P_3 – відпочинок на природі весною-восени;

P_4 – екскурсії та огляд історико-культурних пам'яток.

Для обчислення агрегованого показника рекреаційної привабливості використовується лінійна згортка, яка дозволяє отримати інтегральний показник в тих випадках, коли вхідними змінними є незалежні та рівноцінні величини [5]. Відповідно, сезонний рекреаційний потенціал території визначається як:

$$P(t) = \sum_{i=1}^4 p_i(t) \cdot \omega_i(t) \quad (3)$$

де $\omega_i(t)$ – нормовані вагові множники параметрів групових показників атрактивності.

Для обчислення показників рекреаційної привабливості окремих видів відпочинку $P_1, \dots, P_4$ створено системи нечіткого виводу, кожна з яких має від трьох до п'яти вхідних параметрів [4].

Нормоване значення ω_i розраховується за формулою:

$$\omega_i(t) = \frac{\omega_i^*(t)}{\sum_{i=1}^n \omega_i^*(t)}, \quad (4)$$

де n – це загальна кількість параметрів даного потенціалу привабливості, а ω_i^* визначається як:

$$\omega_i(t)^* = C_i \cdot H_i(t), \quad (5)$$

де C_i – відсоток людей, що бажають і-того виду відпочинку; $H_i(t)$ – сезонна можливість відпочинку.

Для отримання C_i та $H_i(t)$ ми скористались статистичними даними та оцінками експертів відділу з питань туризму Чернівецької обласної державної адміністрації.

Комплексний сезонний показник привабливості території для відпочиваючих та туристів залежить від 17 основних вхідних параметрів, 15 з яких представлено у вигляді нечітких лінгвістичних змінних [6, 7].

Модель побудови показника рекреаційної привабливості території була апробована в роботах [4, 8] і показала високий рівень адекватності.

Як було запропоновано вище, в якості індикатора сезонних коливань використовується показник рекреаційної привабливості:

$$S(t) = k \cdot P(t) \quad (6)$$

де k – емпіричний коефіцієнт пропорційності.

Білий шум $N(t)$ характеризує випадкові коливання, що можуть виникати в системі. Для даної системи величина шуму є близькою до 0, оскільки до уваги беруться дані за короткий проміжок часу.

Параметр $A(t)$ характеризує вплив реклами на динаміку відвідуваності ТРО. Однією з особливостей реклами є її інертність, тобто затримка в часі між використанням та появою результатів. Тому модель повинна враховувати наявність часового лагу.

Враховуючи вищезазначене, формула (2) набуває вигляду:

$$Q_A(t) = k \cdot P(t) + A(t-n) \quad (7)$$

де n – часовий лаг.

Коли рекламні інформаційні потоки не використовуються підприємством, тобто $A(t-n) = 0$, відвідуваність туристичного об'єкта прямо пропорційна його сезонній рекреаційній привабливості:

$$Q(t) = k \cdot P(t) \quad (8)$$

Отже, згідно формул (7) і (8), щоб визначити як впливає реклама на відвідуваність ТРО за певний період потрібно мати дві величини: доходи підприємства та сезонний показник рекреаційної атрактивності території, на якій воно розташовано.

Комп'ютерний експеримент.

Апробація створеної моделі проводилась для однієї з садиб зеленого туризму, що знаходиться на території Чернівецької області. Особливість функціонування даного підприємства в тому, що у перший рік роботи реклама не використовувалась. У другий рік свого існування підприємство застосувало три види рекламних інформаційних сигналів. В якості входних параметрів використано статистичні дані за обидва роки з помісячною розбивкою. Тобто часові ряди складаються з 12 елементів. Значення коефіцієнта комплексної рекреаційної привабливості території розраховані в роботі [7] наведені в Таблиці 1.

Таблиця 1

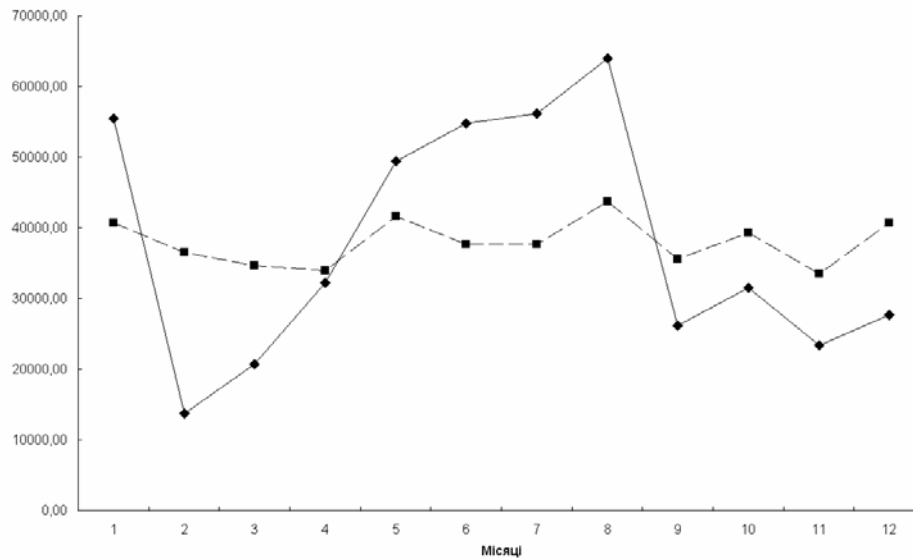
Показники сезонної рекреаційної привабливості ТРО

Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
0,174	0,156	0,148	0,145	0,178	0,161	0,161	0,187	0,152	0,168	0,143	0,174

Емпіричний коефіцієнт k розраховувався шляхом мінімізації середньоквадратичного відхилення доходу від сезонності.

Для аналізу впливу рекламних інформаційних потоків на рівень доходів підприємства потрібно визначити, якими вони будуть без використання реклами. Щоб перевірити адекватність формули (8), порівняємо отримані з її допомогою результати з фактичними

доходами, які були у підприємства в період, коли реклама не використовувалась (Рис.1).



■ – Розрахований дохід без впливу реклами ◆ – Фактичний дохід підприємства, одержаний без використання реклами

Рисунок 1 - Зв'язок між фактичними доходами підприємства та розрахованими під час експерименту

З рисунку видно, що графіки мають спільну динаміку на більшості проміжків. Коефіцієнт кореляції між цими показниками складає 0,65. Це свідчить про наявність прямої залежності між цими величинами, що підтверджує формулу (8).

Наступним кроком є визначення часової затримки між використанням рекламних інформаційних потоків та появою фінансового ефекту від їх впливу. В таблиці 2 показано дані по кількості замовлень та відвідувачів данного ТРО за календарний рік, а також доходи отримані від надання послуг.

Для визначення проміжку часу, через який проявляється ефект від реклами потрібно знати, коли проводились рекламні кампанії. В Таблиці 3 показано наявність реклами протягом кожного сезону за окремими видами. Цей показник має значення 1, якщо впродовж сезону проводилась рекламна кампанія, та 0 – в протилежному випадку.

Таблиця 2

Показники діяльності ТРО з календарний рік

Місяці	Кількість осіб, чол.	Кількість замовлень	Дохід, грн
Січень	21	5	11430,00
Лютий	44	10	24004,00
Березень	20	3	4355,00
Квітень	36	7	26535,00
Травень	72	8	14140,00
Червень	51	13	18955,00
Липень	86	13	34982,50
Серпень	64	19	28710,00
Вересень	68	19	18928,00
Жовтень	98	25	31452,00
Листопад	130	25	34500,50
Грудень	42	8	11793,00

Таблиця 3

Використання реклами різних видів протягом року

Місяці	Вид реклами		
	Газета «Від і до»	Реклама на білбордах	Реклама на маршрутних таксі
Січень	0	0	0
Лютий	0	0	1
Березень	0	0	1
Квітень	0	0	1
Травень	0	1	1
Червень	0	1	1
Липень	0	1	1
Серпень	0	1	0
Вересень	0	1	0
Жовтень	1	1	0
Листопад	1	1	0
Грудень	1	1	0

Щоб знайти величину часової затримки між проведенням рекламної кампанії та реакцією споживачів туристичних послуг на неї потрібно зсувати ряд, що містить дані про наявність реклами, відносно ряду з показниками відвідуваності та обчислити коефіцієнт кореляції. Лаг, для якого кореляція буде найбільшою, є часом затримки прояву ефекту від реклами (Табл. 4).

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляції між кількістю відвідувачів ТРО та наявністю реклами для часових лагів

Лаг, місяці	Вид реклами		
	Газета «Від і до»	Реклама на білбордах	Реклама на маршрутних таксі
0	0,26	0,38	-0,12
1	0,03	0,43	-0,15
2	-0,36	0,53	0,16
3	0	0,09	0,01

Результати розрахунків свідчать, що реклама на маршрутних таксі є неефективною для даного підприємства. Адже для кожного з часових лагів коефіцієнт кореляції дуже малий. Реклама в газеті дуже слабо впливає на цільову аудиторію. А реклама на білбордах має найбільший вплив на споживачів. Максимальний для неї коефіцієнт кореляції 0,53 виявлено для лагу в 2 місяці. Тобто, через 2 місяці після розміщення такої реклами відбувся спричинений нею ріст кількості відвідувачів ТРО.

Аналогічні розрахунки проведено для визначення зв'язку між величиною доходів та рекламою (Табл. 5)

Таблиця 5

Коефіцієнти кореляції між доходами підприємства та наявністю реклами для часових лагів

Лаг, місяці	Вид реклами		
	Газета «Від і до»	Реклама на білбордах	Реклама на маршрутних таксі
0	0,25	0,30	-0,06
1	0,05	0,37	-0,18
2	-0,40	0,48	0,11
3	0	0,05	-0,08

Коефіцієнти кореляції між рекламою та кількістю замовлень показано в Таблиці 6.

Результати розрахунків по доходах та кількості замовлень підтверджують попередні висновки. Щоправда зв'язок між рівнем доходів підприємства та рекламою є дещо слабшим, ніж для інших показників.

Таблиця 6

Кореляція між кількістю замовлень та рекламою для часових лагів

Лаг, місяці	Вид реклами		
	Газета «Від і до»	Реклама на білбордах	Реклама на маршрутних таксі
0	0,26	0,37	-0,12
1	0,03	0,43	-0,15
2	-0,36	0,53	0,16
3	0	0,08	0,01

Найефективнішим з поміж використаних видів реклами для даного туристично-рекреаційного об'єкта є реклама на білбордах. Якщо власники хочуть стимулювати попит на свої послуги в якийсь період року їм варто розмістити рекламу за 2 місяці до початку цього сезону.

Щоб оцінити фінансовий результат від використання реклами потрібно за формулою (1) провести розрахунки для тих періодів, коли проявлявся ефект від впливу на цільову аудиторію інформаційних сигналів поширених через рекламу на білбордах (липень-грудень). Прогнозований рівень доходів фірми у випадку функціонування без реклами визначається за формулою (8). В таблиці 7 наведені результати розрахунків.

Таблиця 7

Доходи підприємства під впливом рекламних заходів та без

Місяці	Фактичний дохід, грн	Дохід без впливу реклами, грн	Відхилення	
			грн	%
Липень	34982,50	16390,19	18592,31	53%
Серпень	28710,00	19037,05	9672,95	34%
Вересень	18928,00	15473,96	3454,04	18%
Жовтень	31452,00	17102,80	14349,20	46%
Листопад	34500,50	14557,74	19942,76	58%
Грудень	11793,00	17713,62	-5920,62	-50%

З таблиці видно, що фінансові результати діяльності туристичного підприємства без використання реклами є меншими за ті, що отримані з її допомогою. Не менше 18% доходів ТРО формуються з допомогою рекламних заходів. При чому, для кількох місяців (липень, листопад) без реклами підприємство недоотримало б більше половини своїх доходів.

Отже, своєчасне застосування реклами дозволяє суттєво збільшити доходи туристичного підприємства. Залучення клієнтів з допомогою інформаційних сигналів, які подаються їм у вигляді реклами, дозволяє зменшити негативний вплив сезонних коливань на фінансові результати ТРО.

Висновки

В роботі запропоновано алгоритмічну модель оцінки впливу реклами на відвідуваність туристично-рекреаційного об'єкта. Запропоновано методику аплікації нечіткого показника рекреаційної привабливості території для визначення ефективності рекламних кампаній. Показано можливість використання алгоритму розрахунку агрегованого сезонного нечіткого показника рекреаційної привабливості території у маркетингових дослідженнях.

Розроблена модель дозволяє проводити аналітичні розрахунки, в яких присутня сезонність, для новостворених підприємств, котрі ще не змогли накопичити достатню кількість статистичної інформації.

Показано як впливають рекламні заходи на рівень доходів підприємства. Тобто власних може оцінити скільки і коли підприємство заробить, якщо застосує рекламні заходи.

Проведені комп'ютерні розрахунки не тільки дозволили оцінити ефективність різних видів реклами, але й демонструють оптимальні строки проведення рекламних акцій. Це дозволить власникам туристичних підприємств більш адекватно обирати напрямки та час рекламних і PR-акцій, а також полегшать прийняття рішень при їх плануванні.

Запропонований метод дозволяє проводити аналіз ефективності використаної реклами для будь-якого туристично-рекреаційного об'єкта, незалежно від його величини, розташування та спеціалізації. Використаний в розрахунках математичний апарат легко інтегрується в сучасні інформаційні системи та системи підтримки прийняття рішень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Маркетинг в туризме: Учеб. пособие / А.П. Дурович. – 3-е изд., стереотип. – Мн.: Новое знание, 2003. – 496 с.
2. Економічна статистика: Навчальний посібник / Т.В. Уманець – К.: Знання, 2006. – 429 с.

3. Виклюк Я.І. Побудова fuzzy-моделі для визначення рекреаційного потенціалу євро регіону „Верхній прут” // Вестник НТУ „ХПИ”. Сборник научных трудов. Тематический выпуск “Системный анализ, управление и информационные технологии”. Харьков: НТУ “ХПИ”, 2007. – №41, с. 193–201.
4. Виклюк Я.І., Артеменко О.І. Використання нечіткої логіки для визначення рекреаційного потенціалу території // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. Серія: Інформаційні системи і мережі, 2008, №631, с.45-54.
5. Г. М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк Експертні технології прийняття рішень: Монографія. – К.: ТОВ “Маклаут”, - 2008. – 444 с.
6. А.В. Леоненков Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
7. В.П. Дьяконов, В.П. Круглов MATLAB 6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 Simulink 5/6 Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики // Серис «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006.–456с.
8. Olga Artemenko The use of fuzzy logic for seasonal recreation attractiveness territory cartographic design // ICSC 2009 – Seventh International Conference on Soft Computing Applied in Computer and Economic Environments – EPI Kunovice, Czech Republic – 2009, pp. 45-50.

Одержано 05.02.2009р.

УДК 658.012

Б.І. Мороз, Л.В. Кабак, О.В. Трофімов

МЕТОДИ Й АЛГОРИТМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ЗБЕРІГАННЯ ОБ'ЄКТІВ БАЗ ДАНИХ

Введення

Нині відбувається стрімкий розвиток засобів обчислювальної техніки, підвищується доступність інформації, обсяг і швидкість її обробки стають вирішальними факторами розвитку й удосконалення митної служби України. Єдина автоматизована інформаційна система митної служби України являє собою програмний комплекс, функції якого є складовою в підтримці надійного зберігання інформації в базах даних, виконанні специфічних для митної служби додатків, перетворення інформації за допомогою обчислень, виконаних над великими масивами даних.[1] Обсяг інформації, з яким доводиться мати справу таким системам, дуже великий, а сама інформація має досить складну структуру.

Основним засобом, що застосовується в ЄАІС для реалізації централізованого керування даними, які зберігаються в базах даних, а також для забезпечення доступу до них і підтримки їх у стані, що відповідає стану предметної області, в ЄАІС використовується система керування базами даних (СКБД) Oracle.[2]

1 Постановка завдання

СКБД Oracle є реляційною базою даних (БД).

Таблиця - це основна одиниця пам'яті даних у базі даних. При створенні таблиць визначаються параметри, які істотно впливають на швидкість роботи СКБД. Одним з найважливіших таких параметрів є швидкість виконання операції DML (data manipulation language).[2] Для керування пам'яттю при створенні таблиці використовуються наступні параметри:

PCTFREE - розмір у відсотках вільної пам'яті в блоках;

PCTUSED - розмір у відсотках використовуваної пам'яті в блоках;

INITIAL - розмір, у байтах, першого екстента, що розподіляється при створенні сегмента;

© Мороз Б.І., Кабак Л.В., Трофімов О.В., 2009

NEXT - розмір, у байтах, наступного інкрементального екстента, що

розподіляється для сегмента;

MAXEXTENTS - загальне число екстентів, включаючи початковий, котре може бути розподілене для сегмента;

MINEXTENTS - загальне число екстентів, що повинне бути розподілене для сегмента при його створенні. [3]

Для прискорення роботи БД необхідно розробити метод знаходження оптимальних значень цих параметрів при створенні таблиць, а також можливості корекції заданих параметрів на основі даних, одержуваних на основі статистичної обробки інформації про DML-операції, виконаних над даною таблицею.

2 Розробка методів для оптимізації параметрів пам'яті таблиць

Перед тим як почати вирішення поставленого завдання, розглянемо, який вплив на роботу БД робить кожний з наведених параметрів. Параметр PCTFREE при створенні таблиці за замовчуванням встановлюється рівним 10% і може приймати будь-яке значення від 0% до 99 %.

Низьке значення PCTFREE має наступні позитивні ефекти: резервується менше місця для відновлень існуючих рядків таблиці, є можливість більш повно заповнювати блок вставками, заощаджується пам'ять, тому що всі дані таблиці або індексу зберігаються в меншій кількості блоків (більше рядків на один блок). Але при низькому значенні PCTFREE є й негативні ефекти: необхідність часткової реорганізації блоків у міру заповнення їх новими або оновленими даними, що збільшує вартість обробки й необхідну пам'ять, оскільки відновлення рядків або записів індексу приводять до росту рядків і переповненню пам'яті, виділеної в блоках даних під рядки.

Відмітимо, що зазначені фактори є несуттєвими для рідко змінюваних сегментів даних, тому для таких таблиць доцільно використовувати низьке значення PCTFREE.

Високе значення PCTFREE має наступні ефекти: резервується більше місця для відновлень існуючих рядків таблиці; може знадобитися більше пам'яті для тієї ж самої кількості вставлених даних (вставляє менше рядків на один блок); зменшується вартість обробки, тому що блоки рідко вимагають реорганізації; поліпшується продуктивність відновлень. Високе значення PCTFREE може бути

прийнятним, наприклад, для сегментів, що піддаються частим відновленням. Однак високе значення PCTFREE істотно збільшує обсяг пам'яті, що таблиця займає на диску.

При визначенні PCTFREE необхідно враховувати тип даних стовпця таблиці або індексу. Для даних змінної довжини (наприклад, VARCHAR) відновлення можуть приводити до росту рядків, оскільки нові значення можуть мати розмір, що перевищує розмір замінюваних ними даних. Якщо має місце багато відновлень, при яких розмір даних збільшується, то PCTFREE варто збільшити; якщо відновлення істотно не впливають на розміри рядків, PCTFREE може бути низьким. [3]

Розроблювальний метод дозволяє знайти задовільний компроміс між щільним упакуванням даних і гарною продуктивністю відновлень.

Тепер розглянемо параметр PCTUSED. Коли пам'ять у блоці даних виявляється заповненою на PCTUSED, у цей блок не вставляються нові рядки. ORACLE намагається утримати блок даних заповненим принаймні на PCTUSED. Це відсоток пам'яті в блоці, вільної для даних після відрахування накладних витрат із загальної пам'яті блоку.

Умовчання для PCTUSED дорівнює 80 відсотків, однак можна задавати будь-яке ціле значення від 0 до 99 включно. Важливо лише, щоб сума PCTFREE і PCTUSED не перевищувала 100. Низьке значення PCTUSED має наступні ефекти: у середньому, блоки утримуються менш заповненими, чим при високому відсотку PCTUSED; зменшується вартість обробки, що вимагається при виконанні операцій UPDATE і DELETE для переміщення блоку у вільний список, коли зайнята ним пам'ять падає нижче PCTUSED; збільшується не використовувана пам'ять у базі даних. Високе значення PCTUSED має наступні ефекти: у середньому, блоки утримуються більше заповненими, ніж при низькому значенні PCTUSED; поліпшується ефективність використання пам'яті; збільшується вартість обробки, що вимагається при виконанні операцій UPDATE і DELETE. [3]

Значення параметрів INITIAL, NEXT, MAXEXTENTS MINEXTENTS відповідають за резервування місця на носії інформації й істотно на продуктивність не впливають. [3 - 6]

Метод 1. Метод вибору значень PCTUSED і PCTFREE

Позначимо значення PCTUSED як U а значення PCTFREE як F .

Обмежимо значення PCTUSED і PCTFREE.

$$U + F \leq 100 \quad (1)$$

Однак якщо відповідно до формули (1) сума дорівнює 100, то блоки даних виявляться недозаповненими приблизно на величину середнього рядка, тому з метою економії пам'яті варто покласти

$$U + F < 100 \quad (2)$$

Тоді для досягнення ідеального компромісу між використовуваною пам'яттю й продуктивністю сума повинна бути менше 100% на величину γ яка дорівнює відсотку пам'яті у вільному блоці, що займає середній рядок, і сума PCTUSED і PCTFREE розраховується відповідно до формули

$$U + F = 100 - \gamma \quad (3)$$

Позначимо розмір блоку БД у байтах як S_b , а розмір середнього рядка в байтах як $\bar{R}$. Оскільки, як відомо, накладні витрати в блоці становлять приблизно 100 байт, то величину γ необхідно розраховувати по формулі

$$\gamma = \frac{\bar{R}}{S_b - 100} \times 100 \quad (4)$$

При цьому спостерігається наступний ефект: чим менше різниця між 100 і сумою PCTUSED і PCTFREE, тим вище утилізація пам'яті за рахунок деякого підвищення вартості обробки. Виходячи з формул (3) і (4)

$$U + F = 100 - \frac{\bar{R}}{S_b - 100} \times 100 \quad (5)$$

З формули (5) ми одержимо оптимальне значення для суми PCTUSED і PCTFREE. Тепер необхідно визначитися з їхніми конкретними значеннями. Для визначення значень PCTUSED і PCTFREE розглянемо типові сценарії роботи БД.

Сценарій 1.

Виходячи з аналізу статистичних даних, ми одержали інформацію, що дії, вироблені над певною таблицею, в основному включають пропозиції UPDATE які змінюють розмір рядків на λ відсотків

$$\lambda = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{\bar{R}} \times 100 \quad (6)$$

У формулі (6) $\bar{R}$ - розмір середнього рядка в байтах.

Тоді необхідне значення PCTFREE визначити як

$$F = \lambda + \mu \quad (7)$$

де μ - коефіцієнт "запасу" пам'яті.

Виходячи з вимог пропонованих до СКБД, щоб було потрібно менше часу на обробку запитів при високій активності відновлень, тобто для поліпшення продуктивності, необхідно вибирати параметр μ приблизно рівним 4-5%.

Сценарій 2.

Типова робота включає пропозиції INSERT і DELETE, а пропозиції UPDATE у середньому не збільшують розміри рядків. У цьому випадку параметр PCTFREE устанавлюємо в розмірі $F \approx 5\%$, щоб було потрібно менше часу на обробку запитів при високій їх активності, тобто для поліпшення продуктивності.

Сценарій 3.

Таблиця дуже велика; тому основною проблемою є пам'ять. Типова робота включає тільки читаючі транзакції - запити типу SELECT. При більших обсягах таблиці найбільш важливим параметром є місце на диску. Тому в цьому випадку значення параметра PCTFREE необхідно встановити рівним $F \approx 5\%$, а значення PCTUSED установити максимально можливим.

Дослідження методу

Для дослідження розробленого методу використаємо базу даних телефонів яка має 240 000 записів. Поля в яких зберігаються дані прізвище ім'я та по батькові а також назва вулиці приймаємо як тип даних Varchar2(200). Тип даних Varchar2 був обраний з тією метою щоб при зміні даних у стовпцях таблиці мінялася довжина рядка, що приведе до реорганізації блоків у міру заповнення їхньої вільної пам'яті новими або оновленими даними. Для тестування використаємо дві таблиці першу з параметрами встановлюваними за замовчуванням (PCTUSED=90 і PCTFREE=5) при створенні таблиці другу з параметрами певними по розробленому методі (PCTUSED = 70 і PCTFREE=25). Кожну таблицю поміщаємо у два різних табличних простори, які перебувають на тому самому носії для чистоти проведення експерименту. Після цього оцінюємо обсяг, що займають

таблиці в табличному просторі так перша таблиця займає 26 Мбайт а друга 31 Мбайт.

Тестування операцій вибірки показало, що швидкість вибірки практично однакова. Як ми вже відзначали, що установки параметрів PCTUSED і PCTFREE істотно не впливають на швидкість операцій вибірки. Для тестування операцій UPDATE використовуємо процедуру, що збільшує довжину імені й адреса в 2 рази. Як і передбачалася операція UPDATE на другій таблиці зайняла в 2,5 рази менше часу, ніж у першій таблиці так, як у випадку з першою таблицею перерозміщення рядків між блоками відбувалося набагато частіше. Однак як показує досвід у БД таке глобальне збільшення довжини рядків відбувається дуже рідко й платою за швидкість є розміри таблиці, тому при виборі параметрів PCTUSED і PCTFREE необхідно визначитися із частотою виконання операцій UPDATE, а також з розмірами на скільки вони збільшують розміри рядків і чи приводить дана процедура до реорганізації пам'яті блоків. Для оптимізації вибору параметрів PCTUSED і PCTFREE розроблений наступний метод.

Метод 2. Метод автоматичного коректування параметрів PCTUSED і PCTFREE

Метод ефективний якщо заздалегідь невідомий сценарій роботи БД із певною таблицею.

Крок 1. По формулі (5) визначаємо сумарне значення PCTUSED і PCTFREE. Створюємо таблицю з мінімальним параметром PCTFREE рівним 5% а відповідно PCTUSED - 90%.

Крок 2. Для відстеження операцій INSERT та UPDATE, проведених над певною таблицею, створюємо допоміжну таблицю, у яку будемо заносити інформацію про номер блоку й нову довжину рядка у цьому блоці. Створюємо тригери, які будуть вносити в цю таблицю інформацію.

```
create or replace trigger tr1 before update on demo /* назва таблиці*/
```

```
for each row
```

```
declare
```

```
v_oldsize number(6,2);
```

```
V_newsize number(6,2);
```

```
V_delta number(6,2);
```

```

begin
  select (vsize(:old.name)+VSIZE(:old.adres)+VSIZE(:old.name_CITI))
into v_oldsize from dual; /*визначаємо розмір рядка до операції
update */
  select(VSIZE(:new.name)+VSIZE(:new.adres)+VSIZE(:New.name_C
ITI)) into V_newsize from dual; /* визначаємо розмір рядка після
операції update */
  V_delta:=(V_newsize- v_oldsize)/ v_oldsize*100; /* визначаємо
відсоткове відхилення розміру рядка*/
  insert into demo_aud (delta,row_st) values (V_delta,
DBMS_ROWID.ROWID_BLOCK_NUMBER(:old.rowid));
  /* заносимо в таблицю відсоткове відхилення і номер блока */
end tr1;

```

Крок 3. Створюємо процедуру, що через заданий адміністратором проміжок часу буде оцінювати середнє збільшення розміру рядків, що привело до реорганізації блоків. Прийmemo гіпотезу про нормальний розподіл довжини рядка, що додається (або змінюється).

Обчислюємо оцінки математичного сподівання довжини рядка та його дисперсії за формулами (8) та (9)

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (8)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{l} - l_i)^2}{n-2}}, \quad (9)$$

де n – кількість рядків (нових або змінених), l_i , $i=1, \dots, n$ – довжина кожного з таких рядків.

Задаючись певним рівнем ймовірності α , обчислюємо мінімальне значення l , що задовольняє нерівності за формулою (10)

$$\int_1^{\infty} \exp\left\{-\frac{(x-\bar{l})^2}{2\sigma^2}\right\} dx \leq \alpha \quad (10)$$

Реорганізація буде відбуватися у випадку, коли отримане значення l буде більше аналогічного значення, обчисленого під час останнього застосування алгоритму.

Крок 4. Використовуючи динамічний PL/SQL коректуємо параметри таблиці.

Висновки

Наукова новизна розробленого методу полягає в тому, що вперше розроблений метод, який дозволяє автоматично оптимальним чином визначити параметри зберігання таблиць, а саме PCTUSED і PCTFREE, у результаті чого істотно підвищилася продуктивність сервера, а також знизити обсяг пам'яті, займаної таблицями на носіях інформації.

Отримані результати можуть бути впроваджені як елемент ЄАІС митної служби України, що дозволить істотно підвищити якість функціонування сервера БД системи ЄАІС митної служби України завдяки розвитку існуючих і розробці нових методів оптимізації параметрів пам'яті таблиць, що забезпечує скорочення часу й зменшення обсягів пам'яті займаної таблицями БД сервера інформаційно-пошукової системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копосов С.А. Розвиток Єдиної автоматизованої системи (ЄАІС) Митної служби України на сучасному етапі// Матеріали науково-методичної конференції "Актуальні проблеми підготовки фахівців для митної служби на сучасному етапі". - Дніпропетровськ, 1998. - С. 45-48.
2. Дейт К. Введення в системи баз даних. - Спб.: Видавничий будинок "Вільямс", 2000. - 846 с.
3. Oracle Corporation, Database Administrator's Guide. - Art. Managing Users and Resources, 2001, June. - P. 24-1-24-33.
4. Oracle Corporation, SQL Reference, 2001, June. P. 1-1-2-90.
5. Oracle Corporation, Servlet Engine Developer's Guide. - Art. Writing PL/SQL Servlets, 2001, July. - P. 9-1-9-14.
6. Oracle Corporation, Application Developer's Guide - Large Objects (LOBs), art. LOBs Case Studie. - P. 14-1-14-14.

Одержано 22.02.2009р.

УДК 519.86

В.Р. Петренко, К.А. Куделина, А.Г. Петров

АДАПТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ОБОБЩЕНИЯ ЧАСТНЫХ ПРОГНОЗОВ

Введение

Одним из путей повышения достоверности прогнозов является использование определенной избыточности, которая заключается в том, что прогнозирование интересующего показателя выполняется параллельно по нескольким альтернативным моделям с последующей обработкой полученных результатов. Использование набора моделей для прогнозирования одного и того же показателя приводит к получению набора числовых значений о поведении исследуемого показателя. На основе полученных результатов прогнозирования по набору моделей можно построить комбинированный прогноз, т.е. обобщенную оценку, полученную на основе объединения частичных прогнозов (чаще всего суммированием с определенными весовыми коэффициентами). Задача сводится к нахождению такого набора весовых коэффициентов, который обеспечивает минимальную ошибку комбинированного прогноза. Разные подходы к решению этой задачи были рассмотрены в работах [1-3,7].

В [1] предложена селективная модель построения комбинированного прогноза для одномерных временных рядов, согласно которой для получения комбинированного прогноза на $t+i$ шаге, где i – период упреждения, используется частная модель, которая обеспечила наилучший прогноз на t -шаге. В качестве критерия качества прогнозов использовался экспоненциально сглаженный квадрат ошибки прогнозов. Там же предложена модель комбинирования частных прогнозов с плавным переключением моделей, т.е. когда веса, с которыми комбинируются частные прогнозы, изменяются обратно-пропорционально средним экспоненциально взвешенным квадратам ошибок частных прогнозов.

В работе [7] рассмотрены вопросы использования комбинированной модели прогнозирования многомерных временных рядов, основанной на использовании ряда частных прогнозов, полученных с помощью различных методов (нейронных сетей,

© Петренко В.Р., Куделина К.А., Петров А.Г., 2009

нечетких систем, ARIMA-моделей и т.д.). Оптимальные оценки весовых коэффициентов комбинирования частных прогнозов получены с использованием уравнений Куна-Таккера. Теоретически доказано, что комбинированный прогноз не может быть хуже наилучшего из частных прогнозов.

Схематично процесс построения комбинированного прогноза может быть описан следующим образом. Пусть имеется m прогностических моделей одного и того же показателя Y . Эти модели, по предположению, различаются тем, что с разной степенью адекватности описывают разные стороны моделированного явления (показателя), что позволяет рассматривать их в качестве информационно-дополняющих.

В этом случае возникает так называемый спектр прогнозных оценок $(y_j, j=\overline{1,m})$, позволяющих построить обобщенный, комбинированный прогноз, который по своим свойствам будет превышать (или как минимум не ухудшать) лучший из исходных прогнозов. Улучшение прогноза является результатом действия так называемого синергетического эффекта системы. Обобщенный прогноз при этом определяется как

$$\hat{Y}_i(t+i) = \sum_{j=1}^m C_j y_{t_j}(t+i), \quad i=1,2,\dots, \quad \sum_{j=1}^m C_j = 1, \quad C_j \geq 0 \quad \forall j=\overline{1,m}$$

Целью комбинирования прогнозов является уменьшение величины ошибки прогнозирования (точнее, некоторой функции ошибки).

Комбинирование частных прогнозов может быть, вообще говоря, как линейным, так и нелинейным. В основном используются линейные модели (или линейные в логарифмах).

В данной работе рассматривается близкий по идеологии к [1] подход. Введено понятие меры качества частных прогнозов и в общем виде получено выражение, связывающее оценки параметров комбинирования частных прогнозов со значением меры их качества.

Цель работы – разработка адаптивного алгоритма построения обобщенного прогноза и сравнительный анализ влияния выбора меры качества частных прогнозов на качество комбинированного прогноза.

Описание адаптивного алгоритма обобщения прогнозов

Представим обобщенный прогноз в виде линейной формы

$$\hat{Y}_o(t) = C_1(t)\hat{Y}_1(t) + C_2(t)\hat{Y}_2(t) + \dots + C_m(t)\hat{Y}_m(t), \quad (1)$$

где $\hat{Y}_i(t)$ ($i = \overline{1, m}$) – частные прогнозы; $C_i(t)$ ($i = \overline{1, m}$) – параметры обобщения; m – количество частных моделей прогнозирования.

Введем некоторую меру H , сосредоточенную на интервале $(0, \infty)$ и позволяющую измерять степень точности прогнозов. Мету выберем так, чтобы ее значение уменьшалось с возрастанием точности прогнозов. Обозначим через $H_i(t)$ значение меры для i -ой частной модели прогнозирования.

Тогда оценки параметров C_i ($i = \overline{1, m}$) в (1) предлагается искать путем решения следующей системы уравнений:

$$C_i(t+1) = \frac{h(t)}{H_i(t)}, \quad i = \overline{1, m}; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m C_i(t+1) = 1. \quad (3)$$

Определим параметр $h(t)$, для чего подставим в (3) уравнение (2). Получим

$$h(t) = \left[\sum_{i=1}^m \frac{1}{H_i(t)} \right]^{-1} = \frac{\prod_{i=1}^m H_i(t)}{\prod_{i=2}^m H_i(t) + \prod_{i=1}^m H_i(t) + \dots + \prod_{i=1}^{m-1} H_i(t)} = \frac{\prod_{i=1}^m H_i(t)}{\sum_{k=1}^m \prod_{i=1, i \neq k}^m H_i(t)}. \quad (4)$$

Далее, подставляя (4) в (2), получаем

$$C_i(t+1) = \frac{\prod_{j=1}^m H_j(t)}{\sum_{k=1}^m \prod_{j=1, j \neq k}^m H_j(t)}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Заметим, что в силу неотрицательности меры H , справедливо $C_i(t+1) \geq 0 \quad \forall i$.

Если в качестве H взять экспоненциально сглаженный квадрат ошибки прогноза, т.е.

$$H_j(t) = \bar{\varepsilon}_j^2(t) = \sum_{i=0}^t \gamma(1-\gamma)^i \varepsilon_j^2(t-i) = (1-\gamma)\bar{\varepsilon}_j^2(t-1) + \gamma\varepsilon_j^2(t), \quad (6)$$

где $\varepsilon_j(t) = Y(t) - \hat{Y}_j(t)$,

то в этом случае данный алгоритм совпадает с алгоритмом, описанным в [1] для $m=3$. Заметим, что если предположить отсутствие корреляции $\varepsilon_j(t)$ ($j = \overline{1, m}$) и в качестве H взять дисперсию

ошибки прогноза, т.е. $H_i(t) = \sigma_{\varepsilon_i}^2(t)$, то, используя результаты [3], можно показать, что при этом оценки параметров обобщения, полученные с помощью (5), совпадают с оценками, определенными из условия

$$\bar{C}^*(t) = \arg \min [\bar{C}^T(t) \Sigma(t) \bar{C}(t) + \lambda (\bar{C}^T(t) I_m - 1)], \quad (7)$$

где $\bar{C}(t) = (C_1(t), C_2(t), \dots, C_m(t))$;

$$\Sigma(t) = \begin{pmatrix} \sigma_{\varepsilon_1}^2(t) & & & 0 \\ & \sigma_{\varepsilon_2}^2(t) & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & \sigma_{\varepsilon_m}^2(t) \end{pmatrix};$$

$$I_m^T = (\underbrace{1, 1, \dots, 1}_m).$$

Легко видеть, что эти оценки минимизируют дисперсию ошибки обобщенного прогноза при ограничении (3). Если в (6) выбрать γ невелико, то при этом $\bar{\varepsilon}_j^2(t)$ можно интерпретировать [1] как оценку дисперсии ошибки прогноза по j-ой частной модели. Таким образом, в случае отсутствия корреляции ошибок частных прогнозов, предложенный алгоритм позволяет получить квазиоптимальные оценки параметров обобщения. Заметим, что (5) можно также представить в виде

$$\bar{C}(t+1) = B^{-1}(t) I_m [I_m^T B^{-1}(t) I_m]^{-1}, \quad (8)$$

где

$$B(t) = \begin{pmatrix} H_1(t) & & & 0 \\ & H_2(t) & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & H_m(t) \end{pmatrix}.$$

Помимо сглаженного среднего квадрата ошибки, в качестве $H_j(t)$ можно брать любую другую величину, которая характеризует адекватность частной модели реальному процессу. В частности, можно взять

$$H_j(t) = |K_j(t)| = \left| \frac{\bar{\varepsilon}_j(t)}{\tilde{\varepsilon}_j(t)} \right|, \quad (9)$$

где $\tilde{\varepsilon}_j(t) = (1 - \gamma)\tilde{\varepsilon}_j(t-1) + \gamma|\varepsilon_j(t)|$, а $\bar{\varepsilon}_j(t) = (1 - \gamma)\bar{\varepsilon}_j(t-1) + \gamma\varepsilon_j(t)$.

Величина $K(t)$ известна как следящий контрольный сигнал Тригга-Лича [4] и является мерой неадекватности модели реальному процессу [1].

Результаты экспериментального исследования алгоритма

Работа предложенного алгоритма исследовалась путем обобщения прогнозов числа солнечных пятен Вольфа [5] и коэффициента выхода годной продукции в производстве Cz-Si монокристаллов, полученных с помощью моделей, разработанных в [6].

Исходный ряд солнечных пятен Вольфа (Y1), состоящий из 100 наблюдений, был разбит на 2 части: 80 наблюдений использовались для оценивания моделей, и оставшиеся 20 – для оценки качества частных и комбинированного прогнозов.

Частные прогнозы ряда солнечных пятен были построены по трем ARIMA-моделям: (2,0,0), (3,0,0), (2,0,1).

Исходный ряд коэффициента выхода годной продукции (Y2), имеющий 41 наблюдение, полностью использовался для оценивания моделей и оценки качества частных и комбинированного прогнозов. Для получения частных прогнозов коэффициента выхода годной продукции применялись три ARIMA-модели, рассмотренные в работе [6]: (1,0,0), (0,1,1), (1,0,1).

Для получения оценок параметров моделей использовались возможности пакета STATGRAPHICS. Параметры моделей рядов Y1, Y2 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Оценки параметров моделей

Ряд	ARIMA (p, d, q)	Параметры				
		AR(1)	AR(2)	AR(3)	MA(1)	Const
Y1	(2,0,0)	1.42663	-0.725283	–	–	13.9165
	(3,0,0)	1.58429	-1.04098	0.221545	–	11.1055
	(2,0,1)	1.23502	-0.56728	–	-0.423565	15.5983
Y2	(1,0,0)	0.44405	–	–	–	0.321356
	(0,1,1)	–	–	–	0.683971	–
	(1,0,1)	0.74337	–	–	0.343091	0.149447

Для каждого ряда анализировалось влияние на качество обобщенных прогнозов разных мер точности прогнозов $H_j(t)$. В качестве $H_j(t)$ были взяты:

- квадрат ошибки (Н1), $H_j(t) = (Y(t) - \hat{Y}_j(t))^2$;
- сглаженный квадрат ошибки (Н2). Значения вычислялись в соответствии с (6);
- дисперсия ошибки (Н3), $H_j(t) = \frac{t-1}{t} H_j(t-1) + \frac{1}{t} (Y(t) - \hat{Y}_j(t))^2$;
- сигнал Тригга-Лича (Н4) вычислялся в соответствии с (9).

Сравнение качества двух прогнозов оценивалось с помощью среднего квадрата ошибки.

Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние квадраты ошибки прогнозов

№ моде- ли	ARIMA (p, d, q)	Y1	Y2
		Для частных прогнозов	
1	2,0,0	161.728	–
2	3,0,0	153.156	–
3	2,0,1	142.339	–
4	1,0,0	–	0.0049522
5	0,1,1	–	0.0050805
6	1,0,1	–	0.0048356
	Н	Для обобщенных прогнозов	
	Н1	155.0975	0.0048569
	Н2	147.2043 ($\gamma = 0.01$)	0.0049008 ($\gamma = 0.01$)
	Н3	147.188	0.0048998
	Н4	141.920 ($\gamma = 0.763$)	0.0047727 ($\gamma = 0.3$)

Анализ результатов показывает, что обобщенный прогноз имеет меньший средний квадрат ошибки, чем частные прогнозы. Наименьший средний квадрат ошибки для обоих рядов имеет обобщенный прогноз с мерой точности Н4 – сигнал Тригга-Лича. В таблице 3 приведены результаты построения частных и обобщенного прогнозов с использованием меры Н4 для числа солнечных пятен Вольфа, а в таблице 4 – для коэффициента выхода годной продукции. Соответственно, на рис.1 и рис. 3 представлены значения исходных рядов и обобщенных прогнозов. На рисунках 2 и 4 представлены временные диаграммы, показывающие на каком участке какая частная модель дает более точный прогноз.

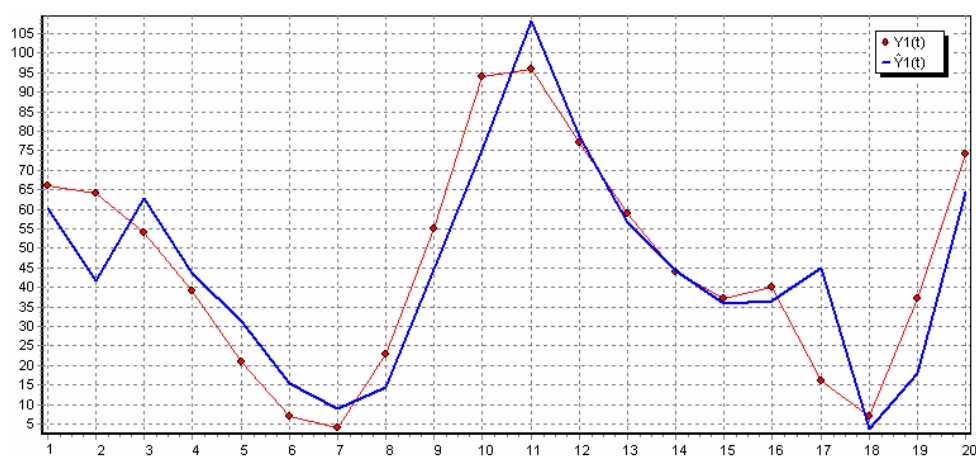


Рисунок 1 – Обобщенное прогнозирование ряда Y1



Рисунок 2 – Временная диаграмма

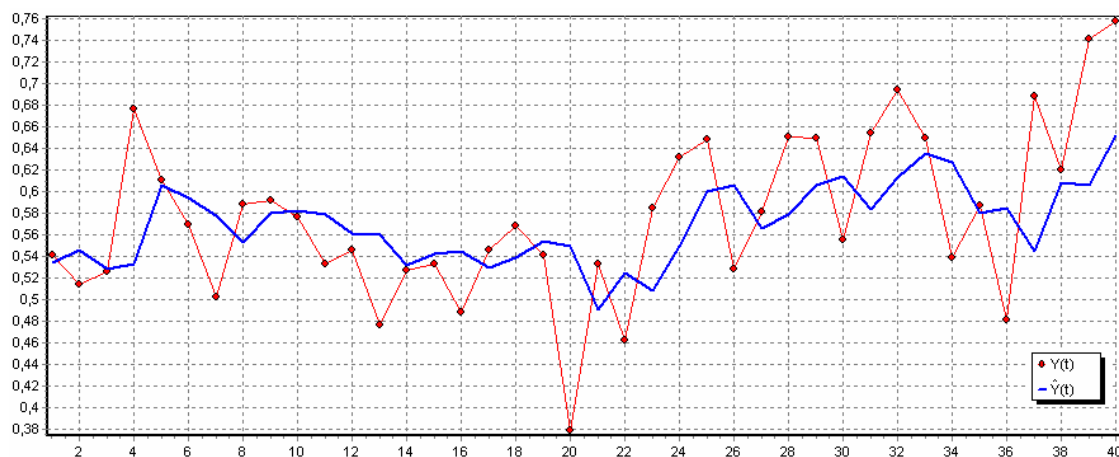


Рисунок 3 – Обобщенное прогнозирование ряда Y2



Рисунок 4 – Временная диаграмма

Таблица 3

Результаты прогнозирования для последовательности чисел
солнечных пятен Вольфа

№	Y1	(2,0,0)	(3,0,0)	(2,0,1)	$\hat{Y}_0$	№	Y1	(2,0,0)	(3,0,0)	(2,0,1)	$\hat{Y}_0$
1	66	60,938	55,827	63,818	60,134	11	96	108,13	107,87	108,73	108,242
2	64	38,447	43,206	43,575	41,743	12	77	82,696	77,530	75,445	78,558
3	54	57,352	65,064	65,85	62,755	13	59	54,140	53,987	56,894	56,565
4	39	44,536	44,656	40,964	43,571	14	44	42,241	45,691	45,676	44,201
5	21	30,390	30,859	32,299	31,208	15	37	33,897	36,455	35,760	35,868
6	7	15,590	15,741	14,624	15,321	16	40	34,789	36,992	36,859	36,575
7	4	8,672	8,975	9,101	8,916	17	16	44,146	45,709	45,340	45,082
8	23	14,546	14,808	14,407	14,587	18	7	7,731	3,012	0,240	3,727
9	55	43,828	44,931	45,374	44,716	19	37	12,298	14,402	18,030	18,024
10	94	75,7	75,185	74,554	75,144	20	74	61,625	65,982	65,358	64,328

Таблица 4

Результаты прогнозирования для последовательности коэффициентов
выхода годной продукции

№	Y2	(1,0,0)	(0,1,1)	(1,0,1)	$\hat{Y}_0$	№	Y2	(1,0,0)	(0,1,1)	(1,0,1)	$\hat{Y}_0$
	0,542	0,552	0,519	0,535	0,538		0,533	0,490	0,489	0,493	0,491
	0,514	0,562	0,526	0,550	0,546		0,463	0,558	0,503	0,532	0,525
	0,526	0,550	0,522	0,544	0,528		0,585	0,527	0,490	0,517	0,509
	0,677	0,555	0,524	0,547	0,533		0,632	0,581	0,520	0,561	0,550
	0,611	0,622	0,572	0,608	0,606		0,648	0,602	0,556	0,595	0,600
	0,570	0,593	0,584	0,603	0,594		0,528	0,609	0,585	0,613	0,606
	0,503	0,575	0,580	0,584	0,578		0,582	0,556	0,567	0,571	0,566
	0,589	0,545	0,556	0,551	0,554		0,651	0,580	0,572	0,578	0,579
	0,592	0,583	0,566	0,574	0,581		0,650	0,610	0,597	0,609	0,607
	0,577	0,584	0,574	0,584	0,583		0,556	0,610	0,614	0,618	0,614
	0,533	0,578	0,575	0,581	0,579		0,655	0,568	0,595	0,584	0,584
	0,546	0,558	0,562	0,562	0,561		0,695	0,612	0,614	0,612	0,613
	0,477	0,564	0,557	0,561	0,560		0,650	0,630	0,640	0,638	0,636
	0,527	0,533	0,532	0,533	0,533		0,539	0,610	0,643	0,628	0,627
	0,533	0,555	0,530	0,543	0,542		0,587	0,561	0,610	0,581	0,580
	0,489	0,558	0,531	0,549	0,545		0,481	0,582	0,603	0,584	0,586
	0,546	0,539	0,518	0,534	0,529		0,689	0,535	0,564	0,542	0,545
	0,569	0,564	0,527	0,551	0,540		0,620	0,627	0,604	0,611	0,608
	0,541	0,574	0,540	0,566	0,555		0,742	0,597	0,609	0,607	0,606
	0,379	0,562	0,540	0,560	0,549		0,758	0,651	0,651	0,655	0,652

Выводы

1. Предложенный в работе адаптивный алгоритм построения комбинированного прогноза обобщает ряд известных алгоритмов и при отсутствии корреляции ошибок частных прогнозов может обеспечить получение оптимальных оценок параметров обобщения.
2. Выбор меры качества частных прогнозов при определении оценок параметров обобщения влияет на качество обобщенного прогноза. Экспериментально показано, что наивысшая точность прогноза для анализируемых временных рядов достигается при выборе в качестве меры точности частных прогнозов сигнала Тригга-Лича.
3. Применение предложенного подхода к построению обобщенного прогноза позволяет повысить точность прогнозирования по сравнению с применением частных моделей прогнозирования.
4. Дальнейшие исследования целесообразно посвятить развитию предложенного подхода с целью применения для прогнозирования многомерных временных последовательностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования / Ю.П. Лукашин – М.: Статистика, 1979. – 251с.
2. Ершов Э.Б. Об одном методе объединения частных прогнозов / Э.Б. Ершов // Статистический анализ экономических временных рядов и прогнозирование. – М.: Наука, 1973. – С.87–105.
3. Diskinson I.P. Some Comments results in the combination of forecasts / I.P. Diskinson//Oper.Res.Quart.–1973. – V.24. – P.253-264.
4. Trigg D.W. Exponential smoothing with an adaptive response rate/ D.W.Trigg, A.E. Leach//Oper.Res.Quart.–1967.–V.18.–N.1.–P.258-269.
5. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. Вып. 1 / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М.: Мир, 1974.– 406 с.
6. Петренко В.Р. Синтез ARIMA-моделей динамики технико-экономических показателей производства монокристаллического кремния / В.Р. Петренко, К.А. Куделина, Л.Г. Шепель // Нові технології. – 2006. – № 2 – С. 189–196.
7. Bodyanskiy Ye. An Optimal Algorithm for Combining Multivariate Forecasts in Hybrid Systems / Ye. Bodyanskiy, P. Otto, S. Popov [V. Palade, R.J. Howlett, and L.C. Jain (Eds.)] // KES-2003. – LNAI 2774. – 2003. – P. 967–972.

Получено 14.02.2009г.

УДК 681.515: 519.7

Т.А. Бубнова, В.І. Корнієнко

АДАПТИВНЕ ВЕЙВЛЕТ-НЕЙРОННЕ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕЛІНІЙНИХ СТОХАСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Вступ

Для складних динамічних систем (процесів), що характеризуються нестационарністю, стохастичністю і нелінійністю, актуальною є розробка засобів для їх ідентифікації і прогнозування.

До таких складних динамічних систем можна віднести, наприклад, технологічні процеси дроблення і здрібнювання руди, ефективність управління якими визначає ефективність всього гірничо-збагачувального виробництва.

Постановка завдання

На даний час для оцінювання (спостереження) процесів широкого поширення набули лінійні адаптивні фільтри (АФ) [1,2], в яких процедура адаптації включає визначення шуканого виходу фільтру й корегування його параметрів за величиною помилки його виходу. При цьому АФ може використовуватися як прогнозуючий фільтр, схема якого наведена на рис.1.

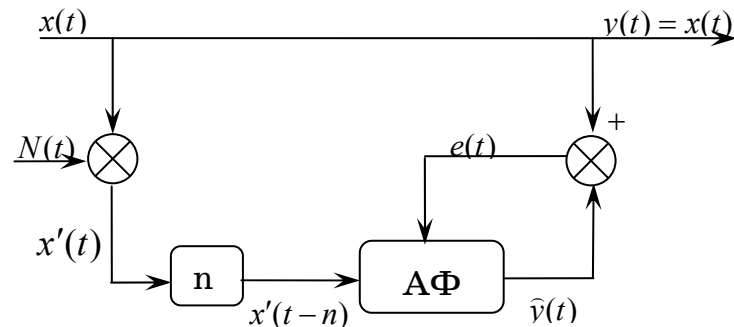


Рисунок 1 – Структурна схема прогнозуючого фільтру

Тут $x'(t) = x(t) + N(t)$ – вхідний сигнал АФ, $N(t)$ – шум, n – затримка (необхідна глибина прогнозу).

Адаптація параметрів АФ виконується згідно з величиною помилки $e(t) = y(t) - \hat{y}(t)$ між реальним $y(t)$ і оцінюваним $\hat{y}(t)$ значеннями сигналу.

Для спостереження за нелінійними нестационарними процесами АФ реалізуються з використанням методів систем штучного інтелекту, наприклад, на основі нейронних мереж [3].

Найбільш простими (з малими обчислювальними витратами та швидким навчанням) є АФ у вигляді комбінації нейронної мережі з радіальними базисними функціями (РБФ) і фільтру з нескінченною імпульсною характеристикою (БІХ). В них апроксимацію нелінійного сигналу здійснює РБФ-мережа, а прогнозування виконується за допомогою лінійної БІХ-структури.

Структура такого АФ наведена на рис. 2, а його рівняння згортки має вигляд:

$$\hat{y}(t) = \sum_{r=1}^N c_r \hat{y}(t-r) + \sum_{m=0}^M d_m z(t-m) \quad (1)$$

$$z(t) = \sum_{i=1}^K \omega_i h_i[x(t)] \quad (2)$$

$$h_i[x(t)] = h\left(\frac{x(t) - b_i}{a_i}\right) \quad (3)$$

де $h_i[x(t)]$ – вейвлет-функція i -ої гілки РБФ-мережі з масштабом a_i і зсувом b_i ; ω_i – вагові коефіцієнти лінійного вихідного шару РБФ-мережі розміром K ; d_m, c_r – коефіцієнти прямої та зворотної гілок БІХ-структури розміром M і N , відповідно.

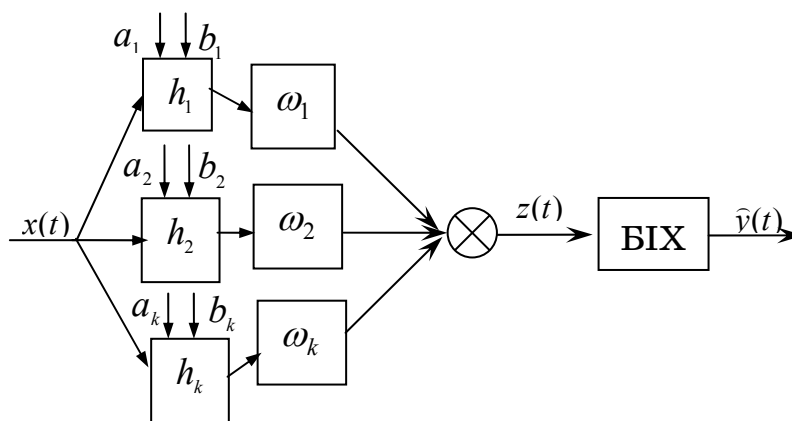


Рисунок 2 – Структурна схема АФ на основі РБФ-мережі і БІХ-фільтра

Мета статті

Обґрунтування структури адаптивного прогнозуючого вейвлет-нейронного фільтру, дослідження залежностей помилок апроксимації і прогнозування нелінійних стохастичних процесів від типів алгоритмів і параметрів їх навчання, а також оцінка ефективності реалізації цього фільтру.

Адаптивний прогнозуючий вейвлет-нейронний фільтр (ВН АФ)

Структура адаптивного прогнозуючого вейвлет-нейронного фільтру з урахуванням схем, наведених на рис. 1 і 2 має вигляд, наведений на рис. 3.

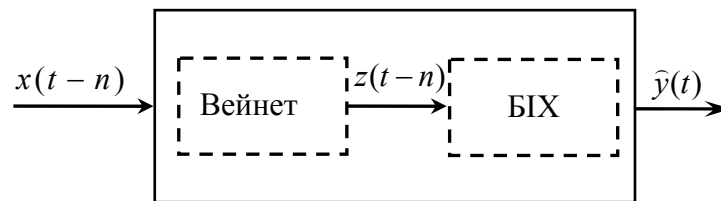


Рисунок 3 – Структура адаптивного прогнозуючого вейвлет-нейронного фільтру

Як відомо [4], довільна нелінійна динамічна система може бути представлена у вигляді комбінації лінійних динамічних і нелінійних статичних ланок.

Для апроксимації складних, нелінійних, стохастичних сигналів використовується нелінійна статична ланка у вигляді нейронної РБФ-мережі з вейвлетною функцією активації. Ця функція активації дозволяє розкласти складний сигнал на простіші складові, що сприяє швидкому навчанню мережі. Нейрон з вейвлетною функцією активації називається вавелоном, а нейронна мережа з вавелонами називається вейвнетом [5] і описується відповідно до виразу (2) у вигляді:

$$z(t - n) = \sum_{i=1}^K \omega_i h_i[x(t - n)] \quad (4)$$

Прогнозований вихідний сигнал ВН АФ (вихідний сигнал БІХ-структури) з глибиною прогнозу n відповідно до виразу (1) визначається як:

$$\hat{y}(t - n) = \sum_{r=1}^N c_r \hat{y}(t - n - r) + \sum_{m=0}^M d_m z(t - n - m) \quad (5)$$

Для налаштування АФ до конкретних умов експлуатації здійснюється його навчання шляхом оптимізації значень його параметрів.

Навчання ВН АФ виконується в пакетному режимі, а адаптація – в режимі реального часу шляхом підстроювання параметрів АФ при обробці спостережуваних сигналів згідно величині помилки прогнозу.

Схема навчання ВН АФ наведена на рис. 4.

Метою навчання ВН АФ є досягнення мінімуму помилки:

$$e_2 = E \|y(t) - \hat{y}(t)\| \rightarrow \min \quad (6)$$

де E – математичне очікування.

При цьому локальним (проміжним) критерієм налаштування ВН АФ є

$$e_1 = E \|y(t - n) - z(t - n)\| \rightarrow \min \quad (7)$$

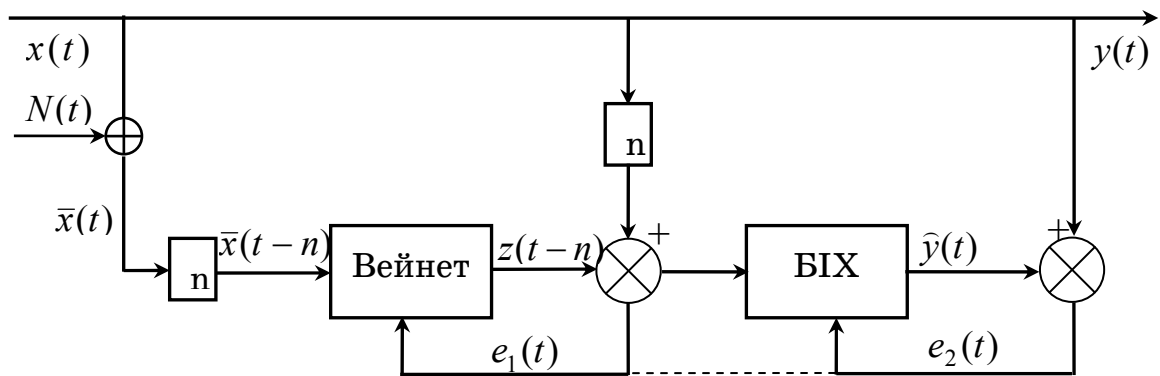


Рисунок 4 – Схема навчання адаптивного прогнозуючого вейвлет-нейронного фільтру

Параметрами налаштування ВН АФ є коефіцієнти вейвнета $\{a_i, b_i, \omega_i\}$ і коефіцієнти посилення $\{c_r\}$ і зворотного зв'язку $\{d_m\}$ БІХ-структури.

Для ініціалізації параметрів ВН АФ необхідно визначитися з кількістю вавелонів K і множиною значень L вейвлет-розкладання.

Потім на основі аналізу навчальної вибірки формується підмножина $K \leq L$ інформативних ознак (активних регресорів) для побудови моделі (4).

Кількість вавелонів можна визначити по критерію підсумкової помилки прогнозування [5]:

$$J = \frac{1 + n_p / P}{1 - n_p / P} \cdot \frac{1}{2P} \sum_{q=1}^P [\hat{z}(x_{q-n}) - y(x_{q-n})]^2 \quad (8)$$

де P – розмір навчальної вибірки, $\hat{z}(x_{q-n})$ – оцінка вихідного сигналу вейвнета для $q-n$ елементу навчальної вибірки, $y(x_{q-n})$ – вихідне значення сигналу з навчальної вибірки, n_p – кількість параметрів вейвнета, яке дорівнює $n_p = K \cdot (P + 2) + P + 1$.

З метою підвищення швидкості навчання вейвнета доцільно заздалегідь ініціалізувати множину L значень вейвлет-розкладання:

$$h[x(t)] = \left\{ h_i[x(t)] = \alpha_i \cdot h\left(\frac{x(t) - b_i}{a_i}\right), \alpha_i = \left(\sum_{j=1}^K \left(h\left(\frac{x_i(t) - b_j}{a_j}\right) \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, i = \overline{1, L} \right\} \quad (9)$$

Із (9) визначається кількість $K \leq L$ відповідних для заданої навчальної послідовності вейвлетів. Для чого вирішується задача мінімізації по критерію:

$$J(I) = \min_{\omega_i, i \in I} \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K \left(y_{j-n} - \sum_{i \in I} \omega_i h_i[x_{j-n}(t)] \right)^2 \quad (10)$$

де L_K – безліч піднаборів K -елементів з набору $\{1, \dots, L\}$.

Для вирішення цієї задачі можливе використання методу залишків, методу ортогонального покрокового відбору або методу зворотнього поширення [6,7].

До структурних параметрів вейвнета слід віднести тип вейвлета h , кількість рівнів розкладання K , а також метод ініціалізації набору K -регресорів.

Визначення значень параметрів налаштування вейвнета $\{a_i, b_i, \omega_i\}$ здійснюється квазі-ньютонівським методом, який дозволяє визначити середній градієнт поверхні помилок за всіма спостереженнями і оновити ваги в кінці кожної епохи навчання.

Налаштування параметрів БІХ-структури $\{c_r, d_m\}$ виконується з використанням градієнтного методу швидкого спуску [2].

Моделювання ВН АФ

Вибір параметрів і оцінка ефективності ВН АФ виконувалися шляхом його моделювання за допомогою розроблених програм в середовищі Matlab.

Як тестові використовувалися моделі полігармонічного, смугового і широкосмугового кореляційних нормованих сигналів [6].

Навчальна і перевірна послідовності вибиралися однакової довжини. Ефективність запропонованого ВН АФ порівнювалася з лінійним АФ [2]. Моделювання проводилося з варіацією шуму 0...0,5 від рівня сигналу і глибиною прогнозу 0...9 тактів.

В результаті моделювання було встановлено, що найкращі результати (мінімальну помилку (6)) забезпечує вейвлет типу «мексиканський капелюх» (друга похідна функції Гауса), а для здійснення прогнозування слід використовувати БІХ-структуру не менш третього порядку.

ВН АФ мав параметри: кількість нейронів в прихованому шарі 10...15 (залежно від кількості тактів затримки), функція активації – «мексиканський капелюх», 1 нейрон у вихідному шарі з лінійною функцією по кожному входу. Кількість епох навчання ВН АФ складала 20 – 30.

Лінійний фільтр мав 32-ий порядок з нормованим кроком адаптації $\mu = 0,5$ і алгоритмом адаптації по нормалізованій середньоквадратичній помилці) [2].

Графіки помилки прогнозу полігармонічного сигналу з нульовим рівнем шуму представлений на рис. 5., а на рис. 6 – смугового і широкосмугового сигналів з рівнем шуму 0,1 (відношення сигнал/шум близько 20 дБ).

В цілому, для прогнозу полігармонічного, смугового і широкосмугового сигналів пропонується ВН АФ більш ефективніший, ніж лінійний фільтр.

Моделювання, виконане на комп'ютері з процесором Pentium II (який широко використовується в сучасних контролерах) показало, що лінійний АФ виконує прогнозування за 0,19 с., а запропонований ВН АФ – за 0,6 с.

Статистична перевірка за непараметричним критерієм знаків показала, що прогнозування за допомогою ВН АФ адекватно з вірогідністю 0,99 модельним сигналам з відповідними рівнями шуму і глибиною прогнозу до 9 тактів.

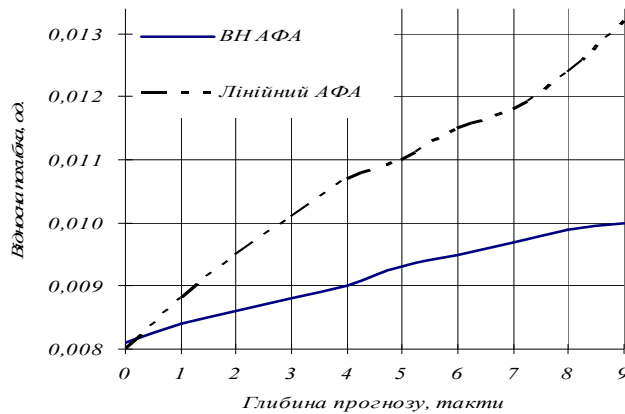


Рисунок 5 – Залежність помилки прогнозування e_2 полігармонічного сигналу від глибини прогнозу n

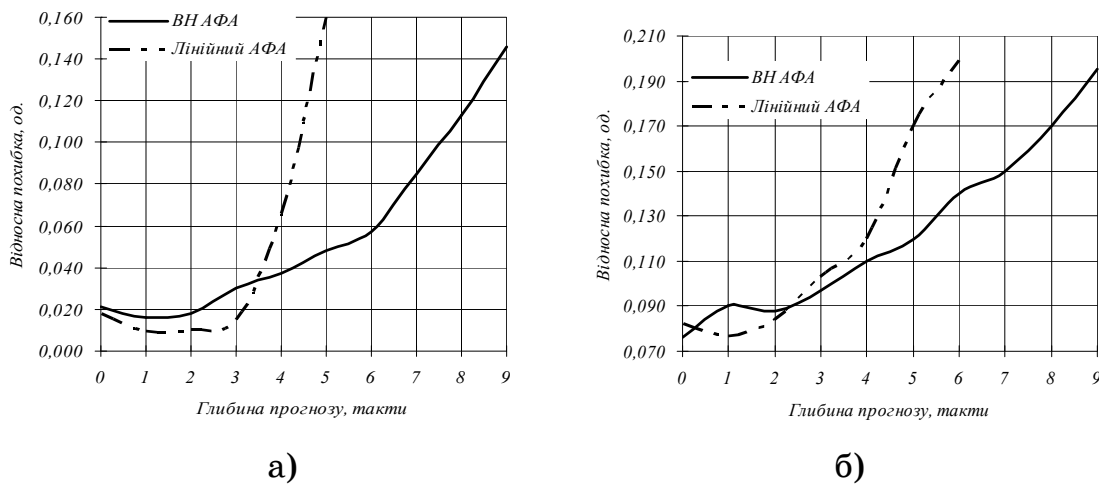


Рисунок 6 – Залежність помилки прогнозування e_2 смугового (а) і широкосмугового (б) сигналів від глибини прогнозу n

Виводи

Вибрані структура і параметри адаптивного прогноуючого вейвлет-нейронного фільтру: тип активаційної вейвлет-функції – «мексиканський капелюх», кількість регресорів 12...15, третій порядок БІХ-структури, – забезпечують ефективне прогнозування нелінійних стохастичних процесів.

Подальші дослідження повинні бути направлені на оцінку ефективності використання ВН АФ як еталонної моделі при ідентифікації технологічних процесів рудопідготовки, а також на дослідження їх стійкості при підвищенні порядку БІХ-структури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
2. Адаптивные фильтры / Под ред. К.Ф.Коуэна и П.М.Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
3. Видникевич Т.А., Корниенко В.И. Интеллектуальная фильтрация и адаптивное регулирование процессов рудоподготовки// Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. техн. зб. – 2007. –Вип. 79 .– С. 52-58.
4. Егоренков Д.Л., Фрадков А.Л., Харламов В.Ю. Основы математического моделирования с примерами на языке MATLAB. – СПб.: Изд-во БГТУ, 1996.. – 324 с.
5. Akaike H. Fitting autoregressive models for prediction// Ann. Inst. Stat. Math.. – 1969. – Vol. 21. – pp. 243-347.
6. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. –М.: Недра, 1983. –277 с.
7. Qian S., Chen D. Signal representation using adaptive normalized gaussian functions// Signal Processing. – Vol. 36. – March 1994.
Chen S., Billings S., Luo W. Ortogonal least squares methods and their application to non-linear system identification// Int. J. Control. – 1989. – Vol. 50. – no.5. – pp. 1873 – 1896.

Одержано 16.02.2009р.

СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 621.01

И.К. Косько, Г.И. Сокол, Е.В. Горбенко
К РАСЧЕТУ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ
СИСТЕМЫ ШАССИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Введение

В настоящее время колебания приобретают особое значение в связи с бурным ростом мощностей машин, скоростей движения их механизмов, обеспечением устойчивости и управляемости систем. Колебания чрезвычайно опасны, когда возникают погрешности в работе машин и механизмов, увеличивается износ, заметно понижается надежность, появляется возможность разрушений и аварий.

Составление методик для расчета колебаний различных объектов машиностроения, приборостроения, транспорта, правильная оценка их воздействия, экспериментальные исследования параметров колебаний и правильное толкование результатов измерений – это навыки, характеризующие качества современного квалифицированного инженера. Поэтому актуальность темы сомнений не вызывает.

В [1] рассмотрены характеристики демпфирования колебаний, методы их определения и экспериментального исследования, влияние эксплуатационных факторов на демпфирующие свойства конструкционных материалов.

В [2] описываются колебания ориентирующихся колес самолета-шимми. Рассматривается колебательная система «колесо-стойка шасси». В момент касания летательного аппарата поверхности посадочной полосы аэродрома колебания следует рассматривать в неустановившемся режиме, то есть как при переходном процессе. Но в [2] лишь определен коэффициент вязкого трения демпфера шимми. Резкое увеличение амплитуды колебаний в результате наличия динамической добавки не учтено.

Литвинов А.П. и Юдин С.П. [3] установили, что линейный осциллятор в отсутствии диссипативных сил совершает гармонические колебания с циклической частотой, амплитуда убывает быстрее, чем при затухающих колебаниях. В работе не рассмотрен переходной режим работы.

В [4] отмечено, что на прочность ракет и космических аппаратов (КА) влияют динамические нагрузки, возникающие при переходных процессах с быстроменяющимися внешними воздействиями. Для ракето-космического носителя (РКН) «Зенит-3SL» рассмотрен переходной процесс старта. Получена хорошая сходимость расчетных и экспериментальных параметров.

В [5] И.К. Косько рассмотрел колебания при переходных процессах в машинах. В работе любой машины выделяется три периода, а именно: период пуска или разгона, период установившегося движения и период торможения [6]. К переходным процессам относят период разгона и торможения машины. Переходной процесс – это изменение во времени координат динамических систем, возникающих при переходе из одного режима работы в другой. Длительный период во времени – это период установившегося движения, а время пуска и торможения машин измеряется секундами или их долями [5, 6, 7]. Воспринимаемые усилия отдельными звеньями машин в эти три периода работы различны и в период неустановившегося движения могут превышать усилия, действующие при установившемся режиме работы. Поэтому возникла необходимость в проверке на прочность деталей машин в период неустановившегося режима, а также и в выяснение воздействия пиковых нагрузок на организмы рабочих, шахтеров, летчиков и космонавтов.

В [7] переходные процессы в крутильной системе линии главного привода прокатных станов обусловленные захватом полосы валками, характеризуют следующие информативные параметры: максимальный пиковый момент сил упругости, коэффициент динамичности, частота и период колебаний моментов сил упругости, коэффициент затухания. В большинстве типов прокатных станов длительность переходных процессов существенно меньше цикла прокатки одной полосы в установившемся режиме.

В [5, 6, 7] для характеристики переходных режимов введены коэффициенты, которые представляют собой отношение

динамической добавки, производимой внешними возмущающими моментами к статическому действию. Коэффициент фактически характеризует динамическое воздействие внешних возмущающих нагрузок. Предложенный метод позволяет определить действительные нагрузки, воспринимаемые упругими звеньями во время переходного режима работы.

Рассмотрим методику для расчета динамических нагрузок, возникающие при посадке самолета, разработанную профессором И.К. Косько [5]. Она крайне необходима для проведения прочностных расчетов и определения воздействия пиковых нагрузок на летчика.

Целью настоящей работы является исследование переходных процессов в колебательном режиме при посадке летательного аппарата.

Постановка задачи

Расчетная схема механической системы может быть упрощенно представлена в виде (рис. 1)

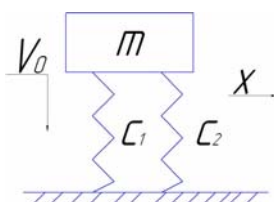


Рисунок 1

Схема позволяет провести расчет коэффициента динамичности η , который равен

$$\eta = \frac{P_{дин}}{P_{ст}},$$

где $P_{дин}$ – динамическая составляющая,
 $P_{ст}$ – статическая составляющая.

Математическая модель и метод расчета

Рассмотрим силы, действующие на самолет во время приземления с вертикальной скоростью V_0 (рис. 1). На рисунке обозначено: x – деформация шасси или отклонение массы m от положения равновесия; c_1 и c_2 – жесткости пружин шасси.

Сила упругости $P_{1,2}$ зависит от отклонения x и жесткости c

$$P_{1,2} = -cx,$$

Вынуждающие силы отсутствуют, следовательно, колебания системы будут затухающими.

Составляем дифференциальное уравнение движения массы m

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = mg, \quad (1)$$

где b – коэффициент демпфирования, g – ускорение свободного падения.

Разделив все члены уравнения (1) на массу m , получим

$$\ddot{x} + 2h\dot{x} + \omega_0^2 x = g, \quad (2)$$

где

$$2h = \frac{b}{m}, \quad \omega_0^2 = \frac{c}{m},$$

где h – коэффициент затухания.

Для интегрирования дифференциального уравнения (2) применяем операционное исчисление.

Изображение уравнения (2):

$$p^2 X(p) + 2hpX(p) + \omega_0^2 X(p) = \frac{g}{p}.$$

$$X(p) [p^2 + 2hp + \omega_0^2] = \frac{g}{p}.$$

$$X(p) = \frac{g}{p(p^2 + 2hp + \omega_0^2)} \quad (3)$$

Представим правую часть в виде суммы и перепишем равенство (3) как

$$\frac{g}{p(p^2 + 2hp + \omega_0^2)} = \frac{A}{p} + \frac{Bp + C}{p^2 + 2hp + \omega_0^2},$$

где A , B , C – коэффициенты, с помощью которых находим решение данного уравнения. Преобразуем уравнение (3) к следующему виду:

$$\begin{aligned} g &= A(p^2 + 2hp + \omega_0^2) + Bp^2 + Cp \\ g &= Ap^2 + 2Ahp + \omega_0^2 A + Bp^2 + Cp \end{aligned} \quad (4)$$

Выбирая из уравнения (4) значения коэффициентов сначала при p^2 , потом при p и при p^0 составляем систему (5)

$$\begin{aligned} A + B &= 0, \\ 2hA + C &= 0, \\ \omega_0^2 A &= g. \end{aligned} \quad (5)$$

Из (5) получаем выражения для коэффициентов A , B , C :

$$A = \frac{g}{\omega_0^2}, B = -\frac{g}{\omega_0^2}, C = -\frac{2hg}{\omega_0^2}$$

Используем вид коэффициентов А, В, С и преобразуем (3) к виду:

$$X(p) = \frac{g}{p(p^2 + 2hp + \omega_0^2)} = \frac{q}{\omega_0^2} \cdot \frac{1}{p} - \frac{q \cdot p}{b^2(p^2 + 2hp + \omega_0^2)} - \frac{2hg}{\omega_0^2} \cdot \frac{1}{(p^2 + 2hp + \omega_0^2)}$$

По таблице соответствия оригиналов и изображений находим решение уравнения (2) в виде

$$x = \frac{q}{\omega_0^2} - \frac{q}{\omega_0^2} \cdot e^{-ht} (\cos \sqrt{\omega_0^2 - h^2} t - \frac{h}{\sqrt{\omega_0^2 - h^2}} \sin \sqrt{\omega_0^2 - h^2} t) - \frac{2hg}{\omega_0^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{\omega_0^2 - h^2}} \cdot e^{-ht} \cdot \sin \sqrt{\omega_0^2 - h^2} t.$$

Введем обозначение $\sqrt{\omega_0^2 - h^2} = \omega$, где ω - круговая частота затухающих колебаний. Тогда получим решение для x в виде

$$x = \frac{g}{\omega_0^2} \left[1 - e^{-ht} \left(\cos \omega t + \frac{h}{\omega} \sin \omega t \right) \right]. \quad (6)$$

Умножив обе части выражения (6) на s , получим

$$P_{1,2} = mg \left[1 - e^{-ht} \left(\cos \omega t + \frac{h}{\omega} \sin \omega t \right) \right]. \quad (7)$$

Это выражение описывает силу упругости $P_{1,2}$, которая представляет собой сумму статической $P_{1,2ст}$ и динамической $P_{1,2дин}$ составляющих, зависящих от времени

$$P_{1,2} = P_{1,2ст} + P_{1,2дин}$$

Здесь

$$P_{1,2ст} = mg,$$

$$P_{1,2дин} = -mg \cdot e^{-ht} \left(\cos \omega t + \frac{h}{\omega} \sin \omega t \right)$$

Результаты расчета

При малом значении коэффициента затухания $h > \omega_0$ считаем, что $h = 0,2\omega$, $\omega = 0,98$. Массу самолета примем равной 1500кг, длину пружины $l = 0,5$ м, диаметр пружины $d = 7$ см. Модуль упругости первого рода для пружины $E = 0,7 \cdot 10^6$ кг/см². Рассчитаем жесткость пружины $C_1 = C_2 = \frac{EF}{l} = \frac{E\pi d^2}{4l}$. Приведенная жесткость всей механической системы равна $C = C_1 + C_2$ (см. рис.1).

Тогда изменение силы упругости $P_{1,2}(t)$ получаем в следующем виде:

$$P_{1,2} = mg \left[1 - e^{-2,68t} (\cos \omega t + 0,2 \sin \omega t) \right]. \quad (8)$$

Введем коэффициент $\lambda = \frac{t_1}{T/2}$, где $T = \frac{2\pi}{\omega}$ - период затухающих колебаний, t_1 - время нагружения кратковременной силой шасси. Имеем таблицу значений:

Таблица 1

№	λ	t	$P_{1,2}$
1	0	0	0
2	0.5	1.603	1.2mg
3	1	3.206	1.533mg
4	1.5	4.809	0.8mg
5	2	6.411	0.715mg
6	2.5	8.014	1.2mg
7	3	9.617	1.152mg
8	3.5	11.22	0.8mg
9	4	12.823	0.919mg
10	4.5	14.426	1.2mg
11	5	16.029	1.043mg
12	5.5	17.631	0.8mg
13	6	19.234	0.977mg
14	6.5	20.837	1.2mg
15	7	22.44	1.012mg
16	7.5	24.043	0.8mg
17	8	25.646	0.994mg
18	8.5	27.249	1.2mg
19	9	28.851	1.004mg
20	9.5	30.454	0.8mg
21	10	32.057	0.998mg

Оценку динамических нагрузок во время посадки самолета производим используя коэффициент динамичности η :

$$\eta = \frac{P_{1,2}}{P_{1,2cm}} = \frac{P_{1,2}}{mg},$$

Тогда рассчитав значения η , в программе MathCAD можно построить график:

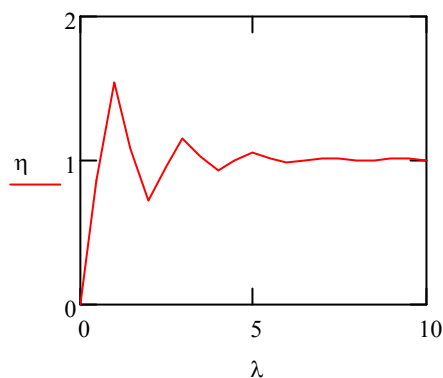


Рисунок 2

Из графика видно, что коэффициент динамичности η имеет максимальное значение при $\lambda = 1,36$. Максимумы его значения от $\lambda = 0$ до $\lambda = 5$ постепенно затухают. Следовательно, наиболее опасным моментом с точки зрения наличия пиковых нагрузок является переходной режим.

Расчеты проводим с помощью программы MathCAD. Тогда несложно проследить, как будет вести себя динамическая составляющая силы $P_{1,2дин}$ при изменении круговой частоты механической системы ω . Составим таблицу значений $P_{1,2дин}$ и ω :

Таблица 2

t	$P_{1,2дин}$
0	0
0.5	1.2mg
1	1.533mg
1.5	0.8mg
2	0.715mg
2.5	1.2mg
3	1.152mg
3.5	0.8mg
4	0.919mg
4.5	1.2mg
5	1.043mg
5.5	0.8mg
6	0.977mg
6.5	1.2mg

7	1.012mg
7.5	0.8mg
8	0.994mg
8.5	1.2mg
9	1.004mg
9.5	0.8mg
10	0.998mg

На рис. 3 представлен график $P_{1,2дин}(t)$:

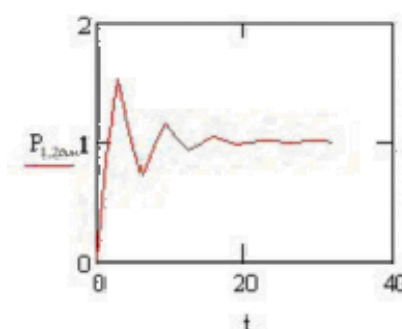


Рисунок 3

Из графика видно, что наиболее нагруженным является переходной режим при $0 \leq t \leq 20 \text{сек}$. В это время динамическая составляющая сил упругости имеет резкие пиковые значения, которые при $t \geq 20 \text{сек}$ начинают затухать.

Выводы

1. Разработана методика расчета характеристик колебаний при посадке летательного аппарата во время переходного процесса.
2. Рассчитаны коэффициент динамичности η и λ .
3. Получен результат коэффициента динамичности η , которые имеет максимальное значение при $\lambda = 1,36$. Максимумы его значения от $\lambda = 0$ до $\lambda = 5$ постепенно затухают. Следовательно, наиболее опасным моментом с точки зрения наличия пиковых нагрузок является переходной режим.
4. Было установлено, что наиболее нагруженным является переходной режим при $0 \leq t \leq 20 \text{сек}$. В это время динамическая составляющая сил упругости имеет резкие пиковые значения, которые при $t \geq 20 \text{сек}$ начинают затухать.

5. Динамическая добавка силы $P_{1,2дин}$ изменятся в зависимости от круговой частоты колебаний механической системы и носит колебательный характер с затуханием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвеев, В.В. Демпфирование колебаний деформируемых тел. – Киев: Наук. Думка, 1985. – 264 с.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. / Ред. В.Н. Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1980. – Т.3. Колебания машин, конструкций и их элементов / Под ред. Ф.М. Диментберга, К.С. Колесникова. 1980. – 544 с.
3. Литвинов А.П., Юдин С.П. Линейный осциллятор при наличии диссипативных сил / XI Міжнародна молодіжна НПК «Людина і Космос», 8-10 квітня 2009 р., Дніпропетровськ: Збірник Тез. – Д.: НЦ АОМ, 2009. - С. 292.
4. Таран О.А., Арлекинов О.Э. Математическое моделирование РКН «Зенит-3SL» при старте со стартовой пусковой платформы / XI Міжнародна молодіжна НПК «Людина і Космос», 8-10 квітня 2009 р., Дніпропетровськ: Збірник Тез. – Д.: НЦ АОМ, 2009. - С. 306.
5. Косько, И.К. Динамика переходных процессов. – Д.: ДНУ, – 1988. – 64 с.
6. Крайнев, А.Ф. Словарь-справочник по механизмам. – М: Машиностроение. – 1981. – 227 с.
7. Веренев, В.В. Диагностика и динамика прокатных станов. – Днепропетровск: ИМА – пресс, 2007. – 144 с.

Получено 10.02.2009г.

УДК 629.7.064.56

В.А. Шабохин, И.Т. Перекопский

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ НА КОСМИЧЕСКОМ АППАРАТЕ

Энерговооруженность космического аппарата (КА) является одной из его основных характеристик и обеспечивается выбором оптимальных размеров и схемы расположения солнечных батарей (СБ) на базовой платформе КА.

Схемам размещения солнечных батарей на ориентированных на Землю космических аппаратах посвящено ряд работ [1, 2, 3, 4 и др.].

На этих КА целесообразно применение неподвижных панелей СБ, так как в этом случае не требуется разработка аппаратуры управления ориентацией, систем токосъема с подвижной СБ, компенсация кинетических моментов, а, следовательно, требует меньшего энергопотребления; неподвижные СБ повышают вероятность получения гарантированной мощности системы энергоснабжения (СЭС) и выполнения целевой задачи. Указанные особенности неподвижной СБ имеют преимущества и целесообразны, если выбранная форма СБ обеспечивает съем необходимой мощности для обеспечения работы систем КА с учетом выполнения существующих ограничений по площади и размещению панелей СБ.

Результаты исследований показывают, что наилучшие показатели по сравниваемому параметру имеют формы СБ, выполненные в виде конуса, основанием обращенного к центру Земли с углом полу-раствора около 45° .

С целью уменьшения аэродинамических возмущений целесообразно этот конус совместить с цилиндрической частью КА таким образом, чтобы их центры масс и центры давления были наиболее близки друг к другу.

Но боковые поверхности КА используются для размещения бортовой и специальной, например, научной аппаратуры. Поэтому есть необходимость иметь разрезы в конусе. Это приводит к форме КА, приведенной на рис. 1. Величина зазора А и зоны Б

© Шабохин В.А., Перекопский И.Т., 2009

определяются необходимостью размещения под СБ аппаратуры и ограничена габаритами головного обтекателя ракеты-носителя при размещении панелей СБ вдоль зоны Б (на активном участке).

На основании изложенного пространственную ферму, на которой расположены панели СБ, целесообразно выполнить в виде сопряженных между собой усеченных пирамид, основания которых перпендикулярны продольной оси корпуса КА, а вершины направлены в сторону, противоположную направлению на Землю (рис. 2). Частным случаем такой конструктивной схемы могут быть сопряженные панели СБ, выполненные в виде прямоугольников.

Целью настоящей статьи является исследование возможностей более полного использования энергетических характеристик солнечных батарей для предложенной компоновки путем определения оптимальных углов установки панелей СБ на КА.

Критерием эффективности схемы расположения СБ может быть использован среднеинтегральный коэффициент K_c при прочих одинаковых характеристиках солнечной батареи (площадь панелей СБ, коэффициент заполнения СБ фотопреобразователями, одинаковый КПД элементов и др.)

Среднеинтегральный коэффициент K_c может быть определен выражением [5]:

$$K_c = \frac{\int \int_{TF} \cos \gamma(t) dF \cdot dt}{T \cdot F} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \int_{\Delta \tau_i} \cos \gamma dt,$$

где $\Delta \tau_i$ - интервалы времени на освещенном участке орбиты, для которых:

$\gamma(t)$ - текущая характеристика освещенности;

γ - угол падения солнечного потока на элемент поверхности, т.е. угол между направлением на Солнце $\bar{S}_0$ и нормалью $\bar{n}$ к поверхности панели СБ;

T - период обращения;

F - поверхность, покрытия фотопреобразователями.

С другой стороны $\cos \gamma = f(\beta, \nu)$, где

β - угол между проекцией $\bar{S}_0$ на плоскость орбиты и радиусом-вектором орбиты (рис. 1);

ν - угол между вектором $\bar{S}_0$ и нормалью к плоскости орбиты.

Необходимо подчеркнуть, что для подавляющего большинства КА, используемых на околоземных орбитах, диапазон изменения угла ν составляет $0...180^\circ$.

Введем также угол Θ - угол между нормалью к поверхности СБ и радиусом-вектором орбиты и угол φ - угол между проекцией нормали к поверхности панели СБ на плоскость, нормальную к радиусу-вектору и направлением полета КА (для верхней панели Θ_v , и для нижней панели - Θ_n на рис.2).

Положение нормали к рабочей поверхности СБ в орбитальной системе координат (ОСК) может быть неуправляемым (неориентированная СБ), и управляемым (ориентируемая СБ). В последнем случае ориентация может осуществляться поворотом вокруг любой одной или двух осей ОСК.

Зависимость $K_c(\nu)$ для приведенной на рис. 2 схемы, при различных углах $\Theta_v = \Theta_n = \Theta$, показана на рис. 3, а на рис. 4 – график функции

$$f(\Theta) = \min K_c(\gamma, \Theta)$$

Расчеты показали, что значения Θ_{ont} для формы СБ, приведенной на рис. 2, довольно устойчивы к изменению высоты полета и остаются почти постоянными по крайней мере в диапазоне $H=500-2000$ км.

Значение $\cos \gamma$ определялось из выражения [6]:

$$\cos \gamma = \sin \Theta \cos \varphi \sin \nu \sin \beta + \sin \Theta \sin \varphi \cos \nu + \cos \Theta \sin \nu \cos \beta, \quad (2)$$

Из (2) следует, что при $\Theta = \text{const}$ и $\varphi = \text{const}$, K_c зависит только от продолжительности теневого участка орбиты и от положения плоскости орбиты относительно Солнца, то есть от высоты и угла ν .

Следовательно, задача сводится к определению оптимальных значений Θ_i и φ_i панелей СБ для выбранных высоты полета и наклона орбиты.

Рассмотрим вопрос оптимизации углов установки панелей СБ относительно его корпуса для повышения энерговооруженности КА в случае различающихся углов установки отдельных панелей и возможности поворота СБ (либо КА) вокруг радиуса-вектора как без привязки к конкретной конструкции КА, так и с точки зрения возможности практической реализации с использованием конструкции СБ, приведенной на рис. 2.

Выбор оптимальных вариантов осуществлялся по максимальному абсолютному значению минимально возможной величины среднеинтегрального коэффициента $\xi_{эв}$ далее именуемым коэффициентом энерговооруженности. Оптимальным принимается такое сочетание φ и Θ , которое обеспечивает максимум наименьшего значения K_c во всем диапазоне v , т.е. удовлетворяет условию

$$\max_{\varphi, \Theta} \min_v K_c(\varphi, \Theta, v).$$

При равенстве коэффициентов энерговооруженности нескольких схем установки панелей СБ, сравнение производим по величине суммарной за время эксплуатации энергетической эффективности СЭС – $S_{э}$, характеризуемой интегралом

$$S_{э} = \int_T K_c(v(t)) dt$$

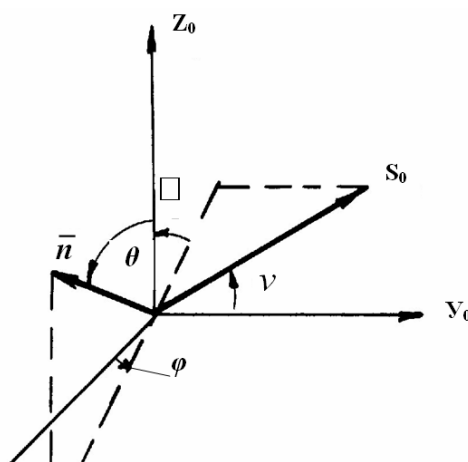


Рисунок 1

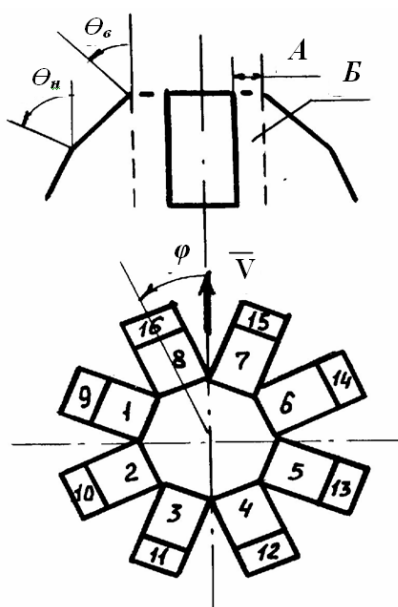


Рисунок 2

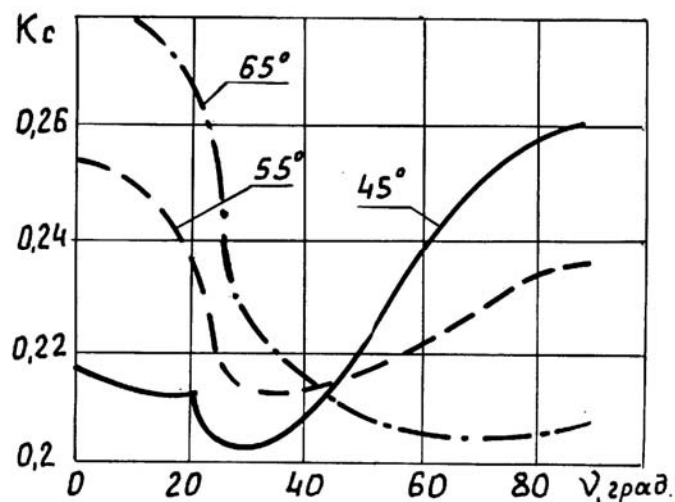


Рисунок 3 - Значения коэффициента интегральной освещенности для значений $\Theta_1=45^\circ, 55^\circ, 65^\circ$

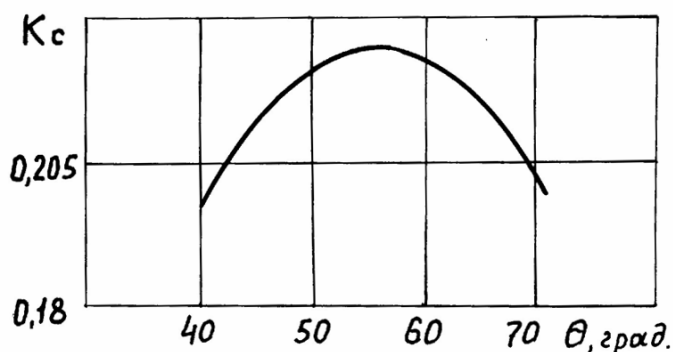


Рисунок 4 - Зависимость минимального значения коэффициента интегральной освещенности от угла установки панелей СБ относительно корпуса КА

Более предпочтительной принимается схема установки панелей СБ, имеющая большую величину S_z .

Как видно из рис. 3, КА, ориентированный на Землю с неподвижными относительно его корпуса солнечными батареями, имеет нелинейную зависимость энергетической эффективности от освещенности орбиты, определяемой углом между нормалью к плоскости орбиты и направлением на Солнце.

Найдем оптимальные значения угла Θ для следующих случаев:

1 КА не имеет возможности поворота СБ (либо вращения КА);

а) вариация углов Θ лобовых панелей $\Theta_{\text{лоб}}$ (рис. 2, панели № 3, 4, 7, 8, 11, 12, 15, 16) при фиксированных углах боковых панелей

(рис. 2, панели № 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14) – несимметричная схема установки СБ.

б) вариация углов одновременно всех нижних панелей Θ_n , при фиксированных углах Θ_v верхних панелей.

2 При возможности поворота СБ (КА) на 90° вокруг вертикальной оси вращения – вариации углов Θ_v при фиксированных углах $\Theta_{\text{лоб}}$.

Решения получены при следующих основных упрощающих допущениях:

- энергетическая эффективность СЭС прямо пропорциональна усредненному за виток суммарному коэффициенту освещенности всех панелей СБ. Указанное допущение позволяет не учитывать внутренних характеристик СЭС различных типов КА;

- в течение одного периода обращения КА положение плоскости орбиты относительно Солнца фиксировано;

- тень Земли принимается в форме кругового цилиндра с диаметром, равным среднему диаметру Земли;

- расчеты проведены для круговой орбиты в диапазоне высот 500-2000 км.

Кроме того, принято, что:

- площадь всех панелей СБ одинакова;

- СБ симметрична относительно плоскости орбиты и углы установки панелей одинаковые с шагом $22,5^\circ$.

Результаты расчетов подтверждают вывод о том, что оптимальное значение $\Theta = 55^\circ$ обеспечивает максимальное значение $\xi_{\Sigma v} = 0,215$ (рис. 3, рис. 4, рис. 5, кривая 2).

При вариации углов установки в соответствии с вариантом 1а получено, что оптимальное значение угла Θ лобовых панелей составляет $\Theta_{\text{лоб}} = 30^\circ$, а боковых панелей $\Theta_{\text{бок}} = 65^\circ$ при этом реализуется коэффициент энерговооруженности $\xi_{\Sigma v} = 0,222$ (рис. 5, кривая 3) $S_{\Sigma} = 408$ ед, что соответствует повышению энерговооруженности КА на 10% по сравнению с существующими схемами установки панелей СБ.

Расчеты для варианта 1б при вариации углов Θ_n нижних панелей и фиксированных углов Θ_v верхних панелей ($\Theta_n > \Theta_v$ из условия незатенения) показали, что подобные вариации углов не

позволяют увеличить коэффициент энерговооруженности $\zeta_{эв}$ больше 0,215, имеющего место при $\Theta_{\text{в}} = 50^\circ$ и $\Theta_{\text{н}} = 60^\circ$.

При возможности обеспечения поворота панелей СБ (или поворота КА) на 90° в случае 2, из графика рис. 5 следует, что при подобных маневрах может быть увеличена только суммарная за время эксплуатации энергетическая эффективность СЭС – S_{Σ} (кривая 4 рис. 5), которая получается, если первоначально панели СБ были установлены при $\Theta_{\text{лоб}} = 30^\circ$, $\Theta_{\text{бок}} = 65^\circ$ (кривая 3, рис. 5), а затем при значении $\nu \geq 60^\circ$ произведен поворот СБ (КА) на 90° .

Коэффициент энерговооруженности в этом случае составляет $\xi_{эв} = 0,222$ при значении $S_{\Sigma} = 430$ ед, что соответствует увеличению суммарной энергетической эффективности СЭС на $\sim 5,5\%$.

КА с рассмотренными схемами расположения СБ обладают улучшенными функциональными свойствами благодаря увеличению полезной поверхности для размещения аппаратуры и повышения энерговооруженности вследствие более благоприятного расположения панелей СБ относительно солнечного потока при движении КА по орбите с переменной освещенностью, обеспечивая простоту конструкции, отсутствие динамических возмущений от СБ на КА и постоянство сечения мишени в полете.

Таким образом, показана принципиальная возможность повышения энерговооруженности КА путем оптимизации углов установки панелей СБ [7]:

1. Для КА, не имеющих возможности маневра вокруг вертикальной оси, оптимальными углами установки для рассмотренных случаев являются: $\Theta_{\text{бок}} = 65^\circ$ для боковых панелей, $\Theta_{\text{лоб}} = 30^\circ$ для лобовых панелей. Энерговооруженность КА в этом случае повышается на 10% по сравнению с энерговооруженностью КА с симметричной схемой установки панелей СБ.

2. Для КА, имеющих возможность маневра на 90° вокруг вертикальной оси, оптимальными углами являются: для боковых панелей $\Theta_{\text{бок}} = 65^\circ$, для лобовых панелей $\Theta_{\text{лоб}} = 30^\circ$ в сочетании с маневром на 90° при входе в диапазон углов $60^\circ \leq \nu \leq 120^\circ$. Энерговооруженность КА в этом случае соответствует приведенной выше (в пункте 1) при увеличении суммарной за время эксплуатации энергетической эффективности СЭС на $\sim 5,5\%$.

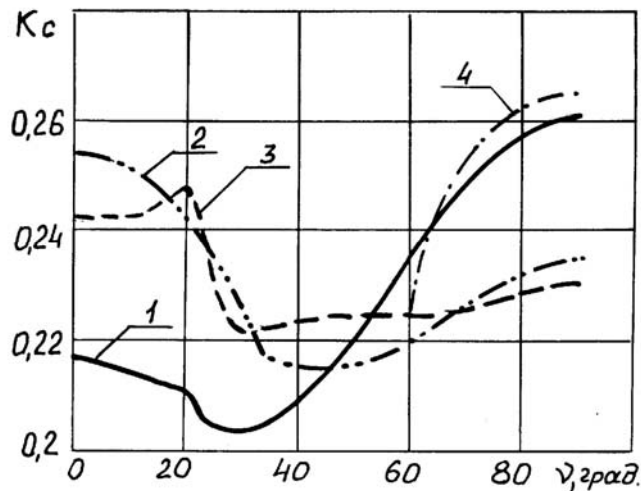


Рисунок 5 - Значение коэффициента интегральной освещенности при различных положениях панелей СБ 1. $\Theta_i=45^\circ$; 2. $\Theta_i=55^\circ$; 3. $\Theta_{\text{лоб.}}=30^\circ$, $\Theta_{\text{бок.}}=65^\circ$; 4. $\Theta_{\text{лоб.}}=30^\circ$, $\Theta_{\text{бок.}}=65^\circ$; при $\nu=60^\circ$ производится поворот на 90°

Маневр КА может быть заменен на соответствующий разворот панелей на КА, неподвижном в орбитальной системе координат.

Исследования по повышению энерговооруженности КА, по нашему мнению целесообразно продолжить. Одним из направлений может быть создание конструкций с асимметричным расположением панелей СБ, в которых панели солнечных батарей могут быть установлены асимметрично относительно базовой плоскости, проходящей через продольную и одну из поперечных осей, при этом панели, расположенные по одну сторону от указанной плоскости, установлены под разными углами. Ассиметричное расположение панелей БС особенно эффективно для КА, эксплуатируемых на солнечно-синхронных орбитах, для которых диапазон изменения угла между нормалью к орбите и направлением на Солнце существенно меньше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронков О.Г., Чернышенко В.М. Выбор наилучшего расположения солнечных батарей неориентируемых СБ на ИСЗ//Космич. исслед. – 1974, т. 12, № 6.
2. Михалевич В.С., Ржевский С.В., Токарев Г.Н., Юн Г.Н. Определение оптимальных углов установки панелей СБ невыпуклой формы: Изв. ВУЗ, Авиац. Техника. – 1977, № 3.

3. Ржевский С.В., Токарев О.Н., Шор Н.З., Юн Г.Н. Об одной задаче оптимизации углов установки панелей СБ выпуклой формы// Уч. зап. центр. аэрогидродинамического ин-та. – 1977, т. 8, № 3.
4. Белов Д.Г., Гладилин В.С., Медведников С.В., Перекопский И.Т. Прогноз энергетических возможностей системы энергоснабжения// Справочно-информац. бюллетень ОФАП СПР. – 1985, вып. 31.
5. Латайко П.А. Текущая интегральная освещенность поверхности спутника, ориентированного на Землю// Космич. исслед. – 1969. – т. 7, № 3. – с. 450-455.
6. Хок У, Элрод Б. Рабочая характеристика солнечных батарей в функции орбитальных параметров и ориентации КА. Труды Америк. Об-ва инж-ров (русск. пер.). – 1969. – т. 91, сер В, № 1, с. 11-20.
7. Космический аппарат. А.с. 232009 СССР. Д.Г. Белов, С.С. Кавелин, И.Т. Перекопский, В.А. Шабохин. - № 3103607. Заявлено 26.12.84. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений 03.02.86.

Получено 14.02.2009г.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ОТРАСЛЕВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

1. Постановка задачи

Главным объектом деятельности гидрометеорологической службы являются гидрометеорологическая информация и гидрометеорологические данные. Функционирующие в гидрометеорологической отрасли Украины базы и банки данных разрозненны, не отражают целей комплексного подхода к построению единой отраслевой автоматизированной системы. На сегодняшний день не существует единого подхода к проектированию подобных глобальных отраслевых систем, разобщенных как пространственно (сеть гидрометеорологических наблюдений), так и информационно (наличие различных форматов хранения данных)[1]. Таким образом, целью работы является совершенствование методики проектирования глобальных отраслевых информационных систем на примере гидрометеорологической отрасли Украины.

2. Вероятностный анализ

Анализ отраслевых потребностей и функционирующих автоматизированных систем технологии АССОКА [2], предназначенных для практической реализации цикла гидрометеорологических данных (ЦГМД)[3], позволил выбрать пять вариантов схем структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы. Первый вариант структуры характеризуется наличием подсистемы управления датчиками на этапе сбора гидрометеорологических данных. Второй вариант – наличие блока визуального критического контроля. Третий вариант – с ручным вводом данных в ТГМ, четвертый – с автоматической фильтрацией данных, и, наконец, пятый вариант – с возможностью выбора подсистемы хранения данных.

Пусть в момент времени t некоторый вариант системы находится в состоянии i . Положим, что вероятность $P_{ij}(t, \tau)$ перехода системы за время τ из состояния i в состояние j не зависит от

поведения системы до момента времени t , то имеет место марковский процесс. Все варианты схем структуры имеют конечное множество возможных состояний и характеризуется непрерывным функционированием. Следовательно, система является дискретной в пространстве и непрерывной во времени, а значит, описывается неоднородной марковской цепью с непрерывным временем. Неоднородность проявляется в том, что $\alpha_{ij}(t) \neq \text{const}$ для любых $i, j = \overline{1, n}$. Для оценки надежности и производительности составим систему дифференциальных уравнений Колмогорова. Система уравнений Колмогорова для вариантов схем системы очень громоздка, вследствие большого числа состояний, что затрудняет дальнейший анализ. Применим метод фазового укрупнения системы (СФУ) и рассмотрим следующие СФУ: СФУ графа состояний ЦГМД и СФУ вариантов структур гидрометеорологической отраслевой системы. Для цикла гидрометеорологических данных (ЦГМД) граф состояний имеет вид:

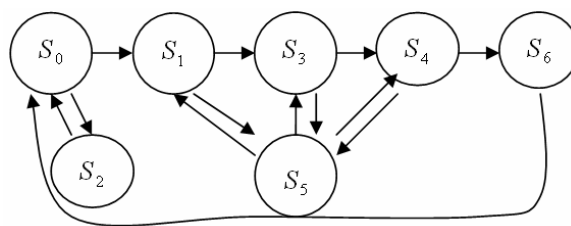


Рисунок 1 – Граф состояний ЦГМД

На рисунке 1 показаны следующие состояния: S_0 – начальное состояние системы, сбор данных; S_1 – данные получены; S_2 – состояние отказа (данные не получены); S_3 – обработка данных; S_4 – хранение данных; S_5 – контроль данных; S_6 – использование (востребование данных).

3. Модели надежности фазово - укрупненной системы (СФУ) вариантов

Сложность структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы обусловила необходимость оперировать с укрупненной моделью этой системы. Граф переходов фазово-укрупненной системы для вариантов w_1 и w_2 - w_5 приведены на рисунке 2.

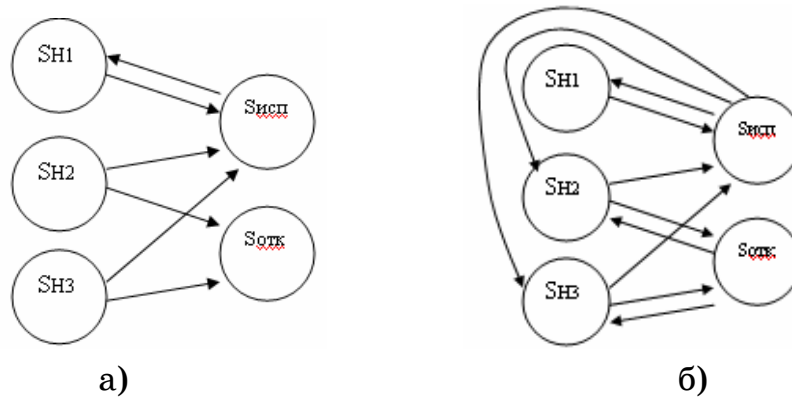


Рисунок 2 – а) граф переходов фазово-укрупненной системы для варианта w1; б) граф переходов фазово-укрупненной системы для вариантов w2-w5

4 Описание графов вариантов ЦГМД и варианта w1

Пусть $G(V, E)$ – граф СФУ ЦГМД, $V \neq \emptyset$, $E \subset V \times V$, где $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ – множество вершин графа. Тогда для графа СФУ ЦГМД справедлива запись:

$$G_{\text{СФУ ЦГМД}}(V_{\text{СФУ ЦГМД}}, E_{\text{СФУ ЦГМД}}), \quad V_{\text{СФУ ЦГМД}} = \{v_{S_n}, v_{S_0}, v_{S_u}\}, \quad (4)$$

где v_{S_n} – вершина графа, соответствующая начальным состояниям системы, v_{S_0} – вершина графа, соответствующая состоянию отказа системы, v_{S_u} – вершина графа, соответствующая исправному состоянию системы.

Пусть E_b, E_c, E_a, E_d – ребра графа, где индексами a, b, c, d обозначены интенсивности перехода в соответствующие состояния системы.

$$e_b = \langle v_{S_n}, v_{S_0} \rangle, e_c = \langle v_{S_0}, v_{S_u} \rangle, e_a = \langle v_{S_n}, v_{S_u} \rangle, e_d = \langle v_{S_u}, v_{S_n} \rangle, \quad (5)$$

где e_i – ребра, соединяющие вершины графа СФУ ЦГМД.

Опишем граф полной структуры ЦГМД.

$$G_{\text{ЦГМД}}(V_{\text{ЦГМД}}, E_{\text{ЦГМД}}), \quad V_{\text{ЦГМД}} = \{v_{S_1}, v_{S_2}, v_{S_3}, v_{S_4}, v_{S_5}, v_{S_6}\}, \quad (6)$$

где v_{S_i} – вершины, соответствующие состояниям системы ЦГМД.

Ребра, инцидентные этим вершинам, можно представить в виде следующего множества пар:

$$\begin{aligned}
e_{a01} &= \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_1} \rangle, e_{02} = \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_2} \rangle, e_{a20} = \langle \nu_{S_2}, \nu_{S_0} \rangle, e_{a13} = \langle \nu_{S_1}, \nu_{S_3} \rangle, \\
e_{a15} &= \langle \nu_{S_1}, \nu_{S_5} \rangle, e_{a51} = \langle \nu_{S_5}, \nu_{S_1} \rangle, e_{a35} = \langle \nu_{S_3}, \nu_{S_5} \rangle, e_{a53} = \langle \nu_{S_5}, \nu_{S_3} \rangle, \\
e_{a34} &= \langle \nu_{S_3}, \nu_{S_4} \rangle, e_{a45} = \langle \nu_{S_4}, \nu_{S_5} \rangle, e_{a54} = \langle \nu_{S_5}, \nu_{S_4} \rangle, e_{a46} = \langle \nu_{S_4}, \nu_{S_6} \rangle, \\
e_{a60} &= \langle \nu_{S_6}, \nu_{S_0} \rangle.
\end{aligned} \tag{7}$$

Причем, $\nu_{S_n} = \nu_{S_0}$ - начальное состояние системы, $\nu_{S_0} = \nu_{S_2}$ - состояние отказа вследствие неполучения гидрометеорологических данных, $\nu_{S_u} = \{\nu_{S_1}, \nu_{S_3}, \nu_{S_4}, \nu_{S_5}, \nu_{S_6}\}$ - исправные состояния.

Если Gwi ($Vwi, E wi$), $i=1..5$ – граф СФУ вариантов $w1-w5$, причем $V \neq \emptyset$. Тогда $Gw1(Vw1, E w1)$ – граф СФУ $w1$, $V \neq \emptyset$, где $V_{w1} = \{\nu_{S_{n1}}, \nu_{S_{n2}}, \nu_{S_{n3}}, \nu_{S_0}, \nu_{S_u}\}$ – множество вершин графа СФУ $W1$ и V_{w1} - множество инвариантно относительно $w1-w5$ (рисунок 3.14).

Тогда для графа СФУ $w1$ с учетом значений интенсивностей полного графа справедливо описание ребер, инцидентных вершинам множества V_{w1} . Ребра e_j и e_k представляют собой устойчивые состояния графа Gwi , то есть описывают переход системы вида $Su \rightarrow Su$, поэтому могут быть исключены из дальнейшего анализа.

5 Описание графов СФУ W2-W5

Пусть $Gwm(Vwm, E wm)$, $m=2..5$ – граф СФУ вариантов схем автоматизированной гидрометеорологической системы $w2-w5$, $V \neq \emptyset$. Тогда для графа СФУ $w2-w5$ с учетом значений интенсивностей полного справедливо описание ребер, инцидентных вершинам множества V_{wi}

$$\begin{aligned}
e_a &= e_{a14} = \langle \nu_{S_{n1}}, \nu_{S_u} \rangle, e_{b1} = e_{a16'1} = \langle \nu_{S_u}, \nu_{S_{n1}} \rangle, e_x = e_{a72} = \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_{n2}} \rangle, \\
e_c &= e_{a25} = \langle \nu_{S_{n2}}, \nu_{S_u} \rangle, e_d = e_{a27} = \langle \nu_{S_{n2}}, \nu_{S_0} \rangle, e_{h1} = e_{a16'3} = \langle \nu_{S_u}, \nu_{S_{n3}} \rangle, \\
e_{e1} &= e_{a16'2} = \langle \nu_{S_u}, \nu_{S_{n2}} \rangle, e_f = e_{a36} = \langle \nu_{S_{n3}}, \nu_{S_u} \rangle, e_y = e_{a73} = \langle \nu_{S_0}, \nu_{S_{n3}} \rangle, \\
e_g &= e_{a37} = \langle \nu_{S_{n3}}, \nu_{S_0} \rangle.
\end{aligned} \tag{8}$$

Для вариантов графа СФУ $w2-w5$ наблюдается инвариантность относительно структуры графа СФУ.

Замечание1 Важнейшим критерием построения модели надежности отраслевой гидрометеорологической системы является

наличие данных, следовательно, важнейшим нерабочим (состоянием отказа) в надежности системы является отсутствие данных. Причем, это состояние связано с состоянием управления данными на этапе их сбора.

Утверждение 1 Для множества вариантов структур отраслевой гидрометеорологической системы граф СФУ имеет две формы: $Gw1(Vw1, E w1)$ – граф СФУ $w1$, $V \neq \emptyset$ при наличии состояния управления датчиками и $Gwm(Vwm, E wm)$, $m=2..z$ – граф СФУ wZ -, $V \neq \emptyset$ инвариантных относительно Z при условии наличия единственного состояния отказа, связанного с отсутствием данных.

Замечание 2 Инвариантность справедлива для наиболее вероятного множества вариантов схем wZ , где Z – натуральное, целое число.

Доказательство утверждения 1 Построим некоторый Z -ый вариант схемы автоматизированной гидрометеорологической системы, например, содержащий состояние $S20$ – автоматизированное создание таблиц Государственного водного кадастра (ГВК). Для СФУ представленного варианта схемы введенное состояние $S20$ является устойчивым, то есть $Su \rightarrow Su$. Таким образом, любые введенные состояния в графе варианта схемы, не связанные с состоянием отказа (отсутствие данных), будут устойчивыми, а значит, не изменят вид графа СФУ.

Утверждение 2 Для графа СФУ $Gwm(Vwm, E wm)$, $m=z+1$ варианта структуры $wZ+1$, $V \neq \emptyset$ возможно ввести второе и только одно состояние отказа, связанное с данными, описываемое ребрами на графе СФУ $Gwm(Vwm, E wm)$, $m=2..z$ следующего вида:

$$e_{aE1} = \langle v_{S_0}, v_{S_{n1}} \rangle, e_{a1F} = \langle v_{S_{n1}}, v_{S_0} \rangle, \quad (9)$$

где F -индекс второго состояния отказа, связанного с наличием данных; e_{a1F}, e_{aF1} – ребра, связывающие состояния отказа с состоянием ручного сбора гидрометеорологических данных; $\{v_{S_{n1}}, v_{S_{n2}}, v_{S_{n3}}, v_{S_0}, v_{S_u}\}$ – множество вершин графа СФУ $Wz+1$.

Доказательство утверждения 2 На рисунке 3 показан граф СФУ с дополнительным состоянием отказа, например, связанного с невозможностью передачи данных по каналу связи или утерей данных при пересылке на станцию, где производится ручной ввод данных в ТГМ.

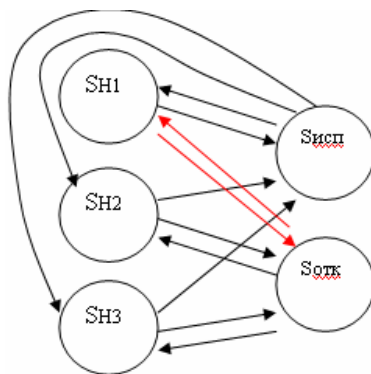


Рисунок 3 - Граф переходов фазово-укрупненной системы для варианта вторым состоянием отказа

Вновь введенное состояние отказа SF «уравновешивает» граф СФУ - $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$, $m=2..z$, $V \neq \emptyset$, дополняя отсутствующую связь между состояниями So и $Sh1$. Таким образом, граф $\overline{G}_{w_m}(V_{w_m}, \overline{E}_{w_m})$, $m=z+1$, множество вершин которого совпадает с множеством вершин графа $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$, $m=2..z$, а множеством ребер является множество $\overline{E}_{w_m} = \{e \in V_{w_m} \times V_{w_m} : e \notin E_{w_m}\}$ то этот граф - дополнение графа $G_{wm}(V_{wm}, E_{wm})$. Переход из состояния So в Su невозможен, исходя из Замечания 1.

Моделирование ситуации, описанной в Утверждении 2, показало, что вероятность перехода (интенсивности переходов) на ребрах графа СФУ $\rightarrow 0$, а значит этой ситуацией при проектировании можно пренебречь.

Выводы

Вероятностно-аналитические исследования схем вариантов структуры отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы позволили построить модели этой системы на различных уровнях: на уровне функционального укрупнения – цикла гидрометеорологических данных (ЦГМД), рассмотрев при этом и фазово-укрупненную модель (СФУ ЦГМД), а также фазово-укрупненные модели вариантов структур указанной системы. Построены модели Маркова указанных систем, проведено численное моделирование, рассчитаны стационарные характеристики надежности. Так, во всех моделях коэффициент готовности принимает следующие значения: $K_z=0.88$ ($W2-W5$), $K_z=0.81$ (модель ЦГМД), вариант $W1$ - $K_z=0.76$, вариант $W6$ - $K_z=0.72$. Таким образом, исключая функционально укрупненную модель ЦГМД с высоким

коэффициентом надежности, можно сделать заключение о преимуществе с точки зрения надежности варианта схемы $W1$. Исходя из того, что в Утверждении 1 доказана инвариантность относительно вида схемы при условии наличия единственного состояния отказа, связанного с отсутствием данных, следовательно необходимо продолжить рассмотрение вариантов $W2-W5$ для их качественного сравнения[4]. В связи с низким коэффициентом готовности системы с двумя типами состояния отказа из дальнейшего анализа она исключается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизированная система сбора, хранения, обработки и доведения до пользователей океанологической информации (ГАСОИ Физическая океанография).- Обнинск: ВНИГМИ-МЦД, 1992.-186 с.
2. Доронина Ю.В. Автоматизированная система сбора, обработки, контроля и анализа данных морских прибрежных гидрометеорологических наблюдений/Ю.В. Доронина// Оптимизация производств. процессов: Сб.науч.тр.Вып.7. Севастоп. нац. техн. ун-т; Редкол.:В.Я.Копп (отв.ред.) и др.- Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004.-200 с.:ил, С.73-77.
3. Доронина Ю.В. Автоматизация цикла гидрометеорологических данных / Ю. В. Доронина // Сб. научн. тр. УкрНИГМИ, Киев, 1999.с 250-254.
4. Доронина Ю.В, Валентюк М.Р. Вариантный структурный подход к проектированию отраслевых автоматизированных систем / М.Р. Валентюк, Ю.В. Доронина // Материалы X международной научно-практической конференции «Системный анализ и информационные технологии», 20 – 24 мая 2008, г. Киев. – К.: НТУУ "КПИ", 2008. – С. 83.

Получено 22.01.2009г.

УДК 624.046.3

С.В. Хорошилов

**ОБ АЛГОРИТМИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ УПРАВЛЕНИЯ
ОРИЕНТАЦИЕЙ СОЛНЕЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. ЧАСТЬ 1**

В настоящее время уже достаточно четко видна перспектива истощения невозобновляемых источников энергии, таких как газ, нефть, уголь и других. К сожалению, в настоящее время энергетика сегодняшнего дня практически целиком базируется на таких источниках. В связи с этим все активнее идет поиск и освоение новых возобновляемых источников энергии. Одним из возможных таких источников является энергия Солнца. Перспективным направлением солнечной энергетики является создание солнечных космических электростанций (СКЭС) [1]. Такие электростанции будут располагаться на орбите для преобразования солнечной энергии в электрическую и ее передачи на Землю при помощи лазера или микроволнового луча.

Интерес к проблеме создания СКЭС в настоящее время в мире высок, при этом, следует отметить, что этими вопросами солнечной энергетики занимаются не только такие космические гиганты как США и Россия, но также страны Европейского союза, Япония, Турция.

Важной научно-технической проблемой при создании СКЭС является управление ориентацией большой системы в космосе с целью непрерывного слежения за Солнцем огромных солнечных батарей (СБ) и ориентации микроволновых пучков на наземные приемные антенны. Важность и необходимость тщательной проработки этой проблемы связана с тем, что СКЭС, как объект управления, существенным образом отличается от космических аппаратов, эксплуатируемых на орбите в настоящее время. Однако, несмотря на достаточно большое количество публикаций о различных аспектах создания СКЭС, работы, посвященные проблемам использования и разработки алгоритмического обеспечения управления ориентацией СКЭС, практически отсутствуют.

© Хорошилов С.В., 2009

Учитывая этот факт целью настоящей статьи является выделение задач, решение которых особенно важно при разработке систем управления ориентацией СКЭС, а также выбор возможных путей для их решения.

Важным направлением исследований по этой проблеме является анализ динамических характеристик СКЭС, ее управляемости и способов ориентации. Для решения этих задач необходимы математические модели, адекватно описывающие движение таких систем. Однако результаты, изложенные в существующих работах, например [2-3], не всегда могут быть непосредственно использованы при моделировании движения СКЭС.

Учет упругости в математической модели СКЭС как объекта управления. Проекты рассматриваемых энергосистем основываются на использовании различных конструкций больших размеров. В известных проектах рассматриваются размеры порядка десятков километров. Учитывая этот факт при получении модели динамики СКЭС необходим тщательный учет упругости элементов конструкции.

В соответствии с методами аналитической механики [4] движение СКЭС с упругими элементами можно представить в виде движения несущего тела (СКЭС + недеформированные элементы конструкции) и относительного движения носимых тел (частиц деформированных элементов конструкции), совершающих малые колебания около тех положений, которые они занимали бы в абсолютно твердом теле.

Введем в рассмотрение следующие системы координат: $OXYZ$ - инерциальная система, связанная с центром масс Земли; $O_c x_c y_c z_c$ - связанная с центром масс станции; $O_i x_i y_i z_i$ - система, связанная с i -м упругим элементом.

Движение несущего тела определяется вектором скорости полюса $\bar{V}$ и вектором угловой скорости $\bar{\omega}$. В качестве полюса выберем центр масс СКЭС с недеформированными элементами конструкции. Будем считать известной функциональную зависимость вектора смещения любой точки деформируемого элемента. Эта зависимость может быть представлена рядом по степеням обобщенных координат q_α

$$\bar{u} = \sum_{\alpha=1}^n q_{\alpha}(t) \bar{U}_{\alpha}(x, y, z) + \frac{1}{2} \sum_{\alpha=1}^n \sum_{\beta=1}^n q_{\alpha}(t) q_{\beta}(t) \bar{U}_{\alpha\beta}(x, y, z) + \dots, \quad (1)$$

где $\bar{U}_{\alpha}(x, y, z)$, $\bar{U}_{\alpha\beta}(x, y, z)$ - векторные коэффициенты.

В таком случае динамика СКЭС с упругими элементами может быть описана следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} \bar{J}_{\Sigma} \dot{\bar{\omega}} + \sum_{\alpha=1}^n \left(2\bar{\Lambda}_{\alpha} \bar{\omega} + \bar{\omega} \times \bar{G}_{\alpha} \right) \dot{q}_{\alpha} + \sum_{\alpha=1}^n \bar{G}_{\alpha} \ddot{q}_{\alpha} = \\ = \bar{M}_{\Sigma} - \bar{\omega} \times \bar{J}_{\Sigma} \bar{\omega} - \sum_{\alpha=1}^n \bar{a}_{\alpha} \times \left(\dot{\bar{V}} + \bar{\omega} \times \bar{V} \right) q_{\alpha}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \left(\bar{G}_{\alpha} + \sum_{\beta=1}^n \bar{G}_{\beta\alpha} q_{\beta} \right) \dot{\bar{\omega}} - 2\bar{\omega} \sum_{\beta=1}^n \bar{\Gamma}_{\alpha\beta} \dot{q}_{\beta} + \sum_{\beta=1}^n A_{\alpha\beta} \ddot{q}_{\beta} = Q_{\alpha} - \\ - \left(\bar{a}_{\alpha} + \sum_{\beta=1}^n \bar{a}_{\alpha\beta} q_{\beta} \right) \left(\dot{\bar{V}} + \bar{\omega} \times \bar{V} \right) q_{\alpha} + \bar{\omega} \left(\bar{\Lambda}_{\alpha} + \sum_{\beta=1}^n \bar{Q}_{\alpha\beta} q_{\beta} \right) \bar{\omega}, \quad \alpha = \overline{1, n}. \end{aligned}$$

$$\text{Здесь } \bar{J}_{\Sigma} = \bar{\theta} + 2 \sum_{\alpha=1}^n \bar{\Lambda}_{\alpha} q_{\alpha},$$

где $\bar{\theta}$ - постоянная часть тензора инерции СКЭС (тензор инерции станции с недеформированными упругими элементами).

Коэффициенты, входящие в уравнения (2), определяются выражениями

$$\begin{aligned} \bar{a}_{\alpha} &= \int_m \bar{U}_{\alpha} dm, \quad \bar{a}_{\alpha\beta} = \int_m \bar{U}_{\alpha\beta} dm, \quad \bar{G}_{\alpha} = \int_m \rho \times \bar{U}_{\alpha} dm, \quad \bar{G}_{\beta\alpha} = \bar{\Gamma}_{\beta\alpha} + \int_m \rho \times \bar{U}_{\beta\alpha} dm, \\ \bar{\Gamma}_{\beta\alpha} &= \int_m \bar{U}_{\beta} \times \bar{U}_{\alpha} dm, \quad \bar{\Gamma}_{\alpha\beta} = \int_m \bar{U}_{\alpha} \times \bar{U}_{\beta} dm, \\ \bar{\Lambda}_{\alpha} &= \int_m \left[E \bar{\rho} \cdot \bar{U}_{\alpha} - \frac{1}{2} (\overline{\rho U_{\alpha}} + \overline{U_{\alpha} \rho}) \right] dm, \\ \bar{Q}_{\alpha\beta} &= \int_m \left[E \bar{U}_{\alpha} \cdot \bar{U}_{\beta} - \frac{1}{2} (\overline{U_{\alpha} U_{\beta}} + \overline{U_{\beta} U_{\alpha}}) + E \bar{\rho} \cdot \bar{U}_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} (\overline{\rho U_{\alpha\beta}} + \overline{U_{\alpha\beta} \rho}) \right] dm, \\ A_{\alpha\beta} &= \int_m \bar{U}_{\alpha} \cdot \bar{U}_{\beta} dm, \end{aligned}$$

где m - масса упругого элемента; $\bar{\rho}$ - вектор, характеризующий расстояние от центра масс станции до произвольной точки деформируемого элемента; E - единичная матрица.

На этапе проведения предварительных проработок при создании первых экспериментальных СКЭС движение плоских антенных

решеток и панелей СБ можно описать с помощью уравнений свободных колебаний однородных стержней и пластин. Традиционно отклонение таких элементов конструкции от своего недеформированного положения представляются в виде изгиба и кручения. Изгиб представляется в виде отклонения в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, а кручение вокруг продольной оси.

Представим вектор смещения частиц $\bar{u}$ при изгибе в связанной со стержнем системе координат в виде

$$\bar{u} = \bar{j} \sum_{\alpha=1}^n q_{\alpha}(t) \varphi_{\alpha}(x) + \bar{k} \sum_{\alpha=1}^n q_{n+\alpha}(t) \varphi_{\alpha}(x) - \frac{1}{2} \bar{i} \sum_{\alpha=1}^n [q_{\alpha}(t) q_{\beta}(t) + q_{n+\alpha}(t) q_{n+\beta}(t)] \int_0^x \varphi'_{\alpha}(\xi) \varphi'_{\beta}(\xi) d\xi,$$

где $\varphi_{\alpha}(x)$ - собственные формы изгибных колебаний стержней; $\bar{i}$, $\bar{j}$; $\bar{k}$ - единичные орты.

Смещение $\tilde{u}$ произвольной точки стержня при кручении представим в виде ряда

$$\tilde{u} = (-\bar{j}z + \bar{k}y) \sum_{\alpha=1}^n r_{i\alpha}(t) Q_{\alpha}(x),$$

где $Q_{\alpha}(x)$ - собственные формы крутильных колебаний стержней.

Запишем систему уравнений (2) с учетом изгибно-крутильных колебаний N гибких элементов и n форм колебаний для каждого элемента.

$$\begin{aligned} & \bar{J}_{\Sigma} \dot{\bar{\omega}} + \sum_{i=1}^N \left[\sum_{\alpha=1}^n \left(2\bar{\Lambda}_{i\alpha} \bar{\omega} + \bar{\omega} \times \bar{G}_{i\alpha} \right) \dot{q}_{i\alpha} + \left(2\bar{\Lambda}_{i,n+\alpha} \bar{\omega} + \bar{\omega} \times \bar{G}_{i,n+\alpha} \right) \dot{q}_{i,n+\alpha} + \right. \\ & \left. + \left(2\bar{\Lambda}_{i\alpha} \bar{\omega} + \bar{\omega} \times \bar{G}_{i\alpha} \right) \ddot{r}_{i\alpha} + \bar{G}_{i\alpha} \ddot{q}_{i\alpha} + \bar{G}_{i,n+\alpha} \ddot{q}_{i\alpha} + \bar{G}_{i\alpha} \ddot{r}_{i\alpha} \right] = \\ & = \bar{M}_{\Sigma} - \bar{\omega} \times \bar{J}_{\Sigma} \bar{\omega} - \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^n \left(\bar{a}_{i\alpha} q_{i\alpha} + \bar{a}_{i,\alpha+n} q_{i,n+\alpha} + \tilde{a}_{i\alpha} r_{i\alpha} \right) \times \left(\dot{\bar{V}} + \bar{\omega} \times \bar{V} \right), \quad (3) \\ & \left[\bar{G}_{i\alpha} + \sum_{\beta=1}^n \left(\bar{G}_{i\beta\alpha} q_{i\beta} + \bar{G}_{i,n+\beta,\alpha} q_{i,n+\beta} \right) \right] \dot{\bar{\omega}} - 2\omega \sum_{\beta=1}^n \bar{\Gamma}_{i\alpha,n+\beta} \dot{q}_{i,n+\beta} + A_{i\alpha} \ddot{q}_{i\alpha} = Q_{i\alpha} - \\ & - \left(\bar{a}_{i\alpha} + \sum_{\beta=1}^n \bar{a}_{i\alpha\beta} q_{i\beta} \right) \left(\dot{\bar{V}} + \bar{\omega} \times \bar{V} \right) q_{\alpha} + \bar{\omega} \left(\bar{\Lambda}_{i\alpha} + \sum_{\beta=1}^n \left(\bar{Q}_{i\alpha\beta} q_{i\beta} + \bar{Q}_{i\alpha,n+\beta} q_{i,n+\beta} \right) \right) \bar{\omega}, \\ & \tilde{G}_{i\alpha} \dot{\bar{\omega}} - \tilde{A}_{i\alpha} \ddot{r}_{i\alpha} = \tilde{Q}_{i\alpha} - \bar{\omega} \tilde{Q}_{i\alpha} r_{i\alpha} \bar{\omega}, \quad \alpha = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, N}. \end{aligned}$$

В приведенной системе уравнений (3) уравнение для обобщенных координат, характеризующих изгибные колебания из плоскости панели, не приведено по причине ограниченности объема статьи. Вид этого уравнения аналогичен уравнению для обобщенных координат, описывающих изгибные колебания в плоскости панели.

Входящие в уравнения (3) векторные и матричные коэффициенты, записанные в связанной со станцией системе координат, определяются следующим образом

$$\begin{aligned}\bar{a}_{i\alpha}^{(c)} &= m_i n_{\alpha} \bar{b}_{i2}^{(c)}, \quad \bar{a}_{i,n+\alpha}^{(c)} = m_i n_{\alpha} \bar{b}_{i3}^{(c)}, \quad \bar{a}_{i\alpha\beta}^{(c)} = \bar{a}_{i,n+\alpha,n+\beta}^{(c)} = -\frac{m_i C_{\alpha\beta}}{l_i} \bar{b}_{i1}^{(c)}, \\ \bar{G}_{i\alpha}^{(c)} &= m_i \left(n_{\alpha} \bar{\rho}_{i1}^{(c)} \times \bar{b}_{i2}^{(c)} + l_i d_{\alpha} \bar{b}_{i3}^{(c)} \right), \quad \bar{G}_{i\alpha\beta}^{(c)} = \bar{G}_{i,n+\alpha,n+\beta}^{(c)} = -\frac{m_i C_{\alpha\beta}}{l_i} \bar{\rho}_{i1}^{(c)} \times \bar{b}_{i1}^{(c)}, \\ \bar{G}_{i\beta,n+\alpha}^{(c)} &= \bar{G}_{i\alpha,n+\beta}^{(c)} = m_i n_{\alpha\beta} \bar{b}_{i1}^{(c)}, \quad \bar{G}_{i,n+\alpha,\beta}^{(c)} = \bar{G}_{i,\alpha,n+\beta}^{(c)} = -m_i n_{\alpha\beta} \bar{b}_{i1}^{(c)}, \quad \bar{A}_{i\alpha} = \bar{A}_{i,n+\alpha} = m_i \\ \bar{\bar{A}}_{i\alpha}^{(c)} &= m_i \left\{ n_{\alpha} \left[E \bar{\rho}_{i1}^{(c)} \cdot \bar{b}_{i2}^{(c)} - \frac{1}{2} \left(\overline{\rho_{i1}^{(c)} b_{i2}^{(c)}} + \overline{b_{i2}^{(c)} \rho_{i1}^{(c)}} \right) \right] - \frac{1}{2} l_i d_{\alpha} T_{ci} (\bar{j}\bar{j} + \bar{j}\bar{i}) T_{ic} \right\}, \\ \bar{\bar{A}}_{i,n+\alpha}^{(c)} &= m_i \left\{ n_{\alpha} \left[E \bar{\rho}_{i1}^{(c)} \cdot \bar{b}_{i3}^{(c)} - \frac{1}{2} \left(\overline{\rho_{i1}^{(c)} b_{i3}^{(c)}} + \overline{b_{i3}^{(c)} \rho_{i1}^{(c)}} \right) \right] - \frac{1}{2} l_i d_{\alpha} T_{ci} (\bar{i}\bar{k} + \bar{k}\bar{i}) T_{ic} \right\}, \\ \bar{\bar{Q}}_{i\alpha\beta}^{(c)} &= m_i \left\{ n_{\alpha\beta} T_{ci} \bar{i}\bar{i} T_{ic} - d_{\alpha\beta} T_{ci} \bar{j}\bar{j} T_{ic} + (n_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}) T_{ci} \bar{k}\bar{k} T_{ic} + \right. \\ &+ \left. \frac{C_{\alpha\beta}}{l_i} \left[E \bar{\rho}_{i1}^{(c)} \cdot \bar{b}_{i1}^{(c)} - \frac{1}{2} \left(\overline{\rho_{i1}^{(c)} b_{i2}^{(c)}} + \overline{b_{i2}^{(c)} \rho_{i1}^{(c)}} \right) \right] \right\}, \\ \bar{\bar{Q}}_{i,n+\alpha,n+\beta}^{(c)} &= m_i \left\{ n_{\alpha\beta} T_{ci} \bar{i}\bar{i} T_{ic} + (n_{\alpha\beta} - d_{\alpha\beta}) T_{ci} \bar{j}\bar{j} T_{ic} - d_{\alpha\beta} T_{ci} \bar{k}\bar{k} T_{ic} - \right. \\ &- \left. \frac{C_{\alpha\beta}}{l_i} \left[E \bar{\rho}_{i1}^{(c)} \cdot \bar{b}_{i1}^{(c)} - \frac{1}{2} \left(\overline{\rho_{i1}^{(c)} b_{i1}^{(c)}} + \overline{b_{i1}^{(c)} \rho_{i1}^{(c)}} \right) \right] \right\}, \\ \bar{\bar{Q}}_{i,n+\alpha,\beta}^{(c)} &= \bar{\bar{Q}}_{i,\alpha,n+\beta}^{(c)} = \frac{1}{2} m_i n_{\alpha\beta} T_{ci} (\bar{j}\bar{k} + \bar{k}\bar{j}) T_{ic}, \quad \tilde{\bar{G}}_{i\alpha}^{(c)} = J_i \tilde{n} \bar{b}_{i1}^{(c)}, \quad \tilde{\bar{A}}_{i\alpha} = J_i, \\ \tilde{\bar{\bar{Q}}}_{i\alpha}^{(c)} &= J_i T_{ci} \left[E - \frac{1}{2} (\bar{j}\bar{j} + \bar{k}\bar{k}) \right] T_{ic},\end{aligned}$$

где m_i , l_i - масса и длина стержня соответственно; J_i - момент инерции стержня относительно продольной оси; T_{ci} - матрица перехода от системы координат $O_i x_i y_i z_i$, связанной с i -м стержнем к системе $O_c x_c y_c z_c$; $\bar{b}_{i1}^{(c)}$, $\bar{b}_{i2}^{(c)}$, $\bar{b}_{i3}^{(c)}$ - векторы-столбцы матрицы T_{ci} ; $\bar{\rho}_{i1}^{(c)}$ - радиус-вектор, соединяющий центр масс станции с точкой крепления

стержня; $\vec{\rho}_{i2}^{(c)}$ - радиус-вектор, соединяющий точку крепления стержня с произвольной точкой стержня.

При вычислении коэффициентов, интегрирование по массе заменяется интегрированием по безразмерному параметру.

С учетом этого введены следующие обозначения интегралов

$$\begin{aligned} n_\alpha &= \int_0^1 \varphi_\alpha(s) ds, \quad d_\alpha = \int_0^1 s \varphi_\alpha(s) ds, \quad n_{\alpha\beta} = \int_0^1 \varphi_\alpha(s) \varphi_\beta(s) ds, \\ c_{\alpha\beta} &= \int_0^1 \int_0^s \varphi'_\alpha \varphi'_\beta d\xi ds, \quad d_{\alpha\beta} = \int_0^1 s \int_0^s \varphi'_\alpha \varphi'_\beta d\xi ds, \quad \tilde{n}_\alpha = \int_0^1 Q_\alpha(s) ds, \\ \tilde{n}_{\alpha\beta} &= \int_0^1 Q_\alpha(s) Q_\beta(s) ds, \quad n_{\alpha\beta} = \tilde{n}_{\alpha\beta} = \delta_{\alpha\beta}, \end{aligned}$$

где $\delta_{\alpha\beta}$ - символ Кронекера.

Система уравнений (3) может быть упрощена. Для этого необходимо пренебречь рядом членов, влияние которых на динамику незначительно. Так можно пренебречь смещением центра масс при колебаниях упругих элементов. Это приводит к обнулению следующих коэффициентов: $\bar{a}_{i\alpha}^{(c)}$, $\bar{a}_{i,n+\alpha}^{(c)}$, $\bar{a}_{i\alpha\beta}^{(c)}$, $\bar{a}_{i,n+\alpha,n+\beta}^{(c)}$. В целом ряде случаев можно не учитывать влияние колебаний упругих элементов на моменты инерции системы. Тогда равны нулю коэффициенты $\bar{\Lambda}_{i\alpha}^{(c)}$, $\bar{\Lambda}_{i,n+\alpha}^{(c)}$, $\bar{Q}_{i\alpha\beta}^{(c)}$, $\bar{Q}_{i,n+\alpha,n+\beta}^{(c)}$, $\bar{Q}_{i,\alpha,n+\beta}^{(c)}$.

Можно пренебречь в выражении (1) квадратичной составляющей, учитывающей смещение поперечного сечения стержня вдоль продольной оси при изгибе. В этом случае равны нулю $\bar{G}_{i\beta\alpha}^{(c)}$, $\bar{G}_{i,n+\beta,n+\alpha}^{(c)}$, $\bar{G}_{i\beta,n+\alpha}^{(c)}$, $\bar{G}_{i,n+\beta,\alpha}^{(c)}$.

С учетом этих соображений система уравнений (3) принимает вид

$$\begin{aligned} \bar{J}_\Sigma \dot{\bar{\omega}} + \bar{\omega} \times \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^n \left(\bar{G}_{i\alpha} \dot{q}_{i\alpha} + \bar{G}_{i,n+\alpha} \dot{q}_{i,n+\alpha} + \tilde{\bar{G}}_{i\alpha} \dot{r}_{i\alpha} \right) + \\ \sum_{i=1}^N \sum_{\alpha=1}^n \left(\bar{G}_{i\alpha} \ddot{q}_{i\alpha} + \bar{G}_{i,n+\alpha} \ddot{q}_{i,n+\alpha} + \tilde{\bar{G}}_{i\alpha} \ddot{r}_{i\alpha} \right) = \bar{M}_\Sigma - \bar{\omega} \times \bar{J}_\Sigma \bar{\omega}, \quad (4) \\ \bar{G}_{i\alpha} \dot{\bar{\omega}} + A_{i\alpha} \ddot{q}_{i\alpha} = Q_{i\alpha}, \\ \bar{G}_{i,n+\alpha} \dot{\bar{\omega}} + A_{i,n+\alpha} \ddot{q}_{i,n+\alpha} = Q_{i,n+\alpha}, \end{aligned}$$

$$\tilde{G}_{i\alpha}\dot{\tilde{\omega}} - \tilde{A}_{i\alpha}\ddot{r}_{i\alpha} = \tilde{Q}_{i\alpha}, \quad \alpha = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, N}$$

Для более точного учета влияния упругих деформаций на динамику СКЭС целесообразно использовать метод конечных элементов (МКЭ) [5]. Так в работах [6-8] рассмотрены вопросы получения и решения уравнений динамики конструкций, состоящих из стержней, шарниров и точечных масс, с использованием метода конечных элементов. Такой подход может использоваться при анализе динамики различных конструкций космического применения.

Для иллюстрации использования МКЭ рассмотрим СКЭС, несущую одну СБ. Будем использовать шарнирно-стержневую модель СБ, изображенную на рис. 1. Разобьем стержневую конструкцию на элементарные стержни. Место жесткого соединения стержней будем обозначать одним узлом, а место шарнирного соединения двумя узлами с одинаковыми координатами. Пронумеруем соединения индексами ϕ , каждому узлу соответствует точка плоскости $x_1 O_1 y_1$ с координатами (x_1, y_1) .

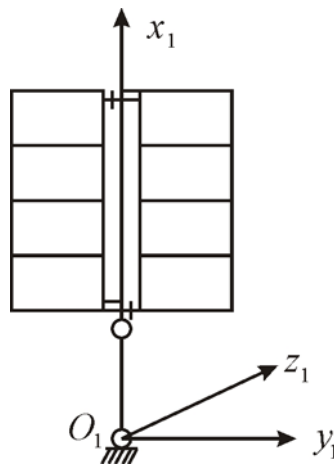


Рисунок 1 - Шарнирно-стержневая модель СБ

При построении вектора перемещений $\bar{u}$ произвольной точки панели будем учитывать поворот сечений стержней при изгибе и при кручении вокруг своей оси. За обобщенные координаты ϕ -го стержня $q_\phi(t)$ принимаем компоненты вектора-столбца, зависящие только от времени, которые характеризуют упругие перемещения и углы поворота стержней:

$$q_\phi = \left[v_{xg}(t), v_{yg}(t), v_{zg}(t), p_{xg}(t), p_{yg}(t), p_{zg}(t), v_{xh}(t), v_{yh}(t), v_{zh}(t), \right. \\ \left. p_{xh}(t), p_{yh}(t), p_{zh}(t) \right]^T,$$

где $v_{xg(h)}(t), v_{yg(h)}(t), v_{zg(h)}(t)$ - перемещения точки в направлении осей O_1x_1, O_1y_1, O_1z_1 соответственно; $p_{xg(h)}(t), p_{yg(h)}(t), p_{zg(h)}(t)$ - поворот элементарного участка стержня в окрестности рассматриваемой точки относительно осей O_1x_1, O_1y_1, O_1z_1 соответственно; g, h - индексы, используемые для обозначения одного и другого конца стержней.

Примем, что стержни имеют квадратное поперечное сечение со стороной $2a$. Для стержней, параллельных оси O_1x_1 их погонная масса и длина равны соответственно m_g и l_g , а для стержней, параллельных оси O_1y_1 - m_h и l_h .

При вычислении интегралов, определяющих коэффициенты уравнения (1), используется правило

$$\int_m U(x, y, z) dm = \int_{-a}^a \left[\rho_g l_g \int_0^1 d\xi \int_{-a}^a U_g(x, y, z) dy + \rho_h l_h \int_0^1 d\zeta \int_{-a}^a U_h(x, y, z) dx \right] dz,$$

где l_g, ρ_g - длина и погонная масса стержней, расположенных параллельно оси O_1x_1 ; l_h, ρ_h - длина и погонная масса стержней, расположенных параллельно оси O_1y_1 ; $\xi = x_1/l_g, \zeta = y_1/l_h$ - безразмерные координаты.

Для стержней, параллельных оси O_1x_1 , погонная масса равна соответственно $m_g = 4a^2 \rho_g$, а для стержней, параллельных оси O_1y_1 - $m_h = 4a^2 \rho_h$.

В таком случае выражения коэффициентов для стержней, расположенных параллельно O_1x_1 , могут быть представлены следующим образом:

$$\bar{a}_\phi^g = m_g l_g \left| V_{xg}, J_{1x}, J_{2x} \right|^T, \quad \bar{G}_\phi^g = m_g l_g \left| J_{2x}, -J_{4x}, (J_{10x} - y_g V_{xg}^\phi) \right|^T,$$

$$\bar{\Gamma}_\phi^g = m_g l_g \left| J_{5x}, -(V_{xg}^\phi J_{8x} - V_{xg}^\beta J_{2x}), V_{xg}^\phi J_{9x} - V_{xg}^\phi J_{1x} \right|^T,$$

$$A_{\phi\beta} = m_p l_p (V_{xg}^\phi V_{xg}^\beta + J_{6x} + J_{7x}),$$

$$\bar{\bar{\Lambda}}_\phi^g = m_g l_g \begin{vmatrix} y_g J_{1x} & -(y_g V_{xg}^\phi + J_{10x}) & -J_{4x}/2 \\ -(y_g V_{xg}^\phi + J_{10x})/2 & (x_g + l_g/2) V_{xp} & y_g J_{2x}/2 \\ -J_{4x}/2 & y_g J_{2x}/2 & y_g J_{1x} + (x_g + l_g/2) V_{xg}^\phi \end{vmatrix},$$

$$\bar{\bar{Q}}_{\phi\beta}^g = m_g l_g \begin{bmatrix} J_{6x} + J_{7x} & (V_{xg}^\phi J_{9x} + V_{xg}^\beta J_{1x})/2 & (V_{xg}^\phi J_{8x} + V_{xg}^\beta J_{2x})/2 \\ (V_{xg}^\phi J_{9x} + V_{xg}^\beta J_{1x})/2 & V_{xg}^\phi V_{xg}^\beta + J_{7x} & -J_{5x}/2 \\ (V_{xg}^\phi J_{8x} + V_{xg}^\beta J_{2x})/2 & -J_{5x}/2 & V_{xg}^\phi V_{xg}^\beta + J_{6x} \end{bmatrix}$$

Выражения для определения величин J_{1x} , J_{2x} , ..., J_{10x} имеют следующий вид:

$$J_{1x} = 0,5 \left[V_{yg}^\phi + V_{yh}^\phi + l_g (P_{zg}^\phi - P_{zh}^\phi) / 6 \right],$$

$$J_{2x} = 0,5 \left[V_{yg}^\phi + V_{yh}^\phi - l_g (P_{zg}^\phi - P_{zh}^\phi) / 6 \right], \dots,$$

$$J_{10x} = 0,5 \left[V_{yg}^\phi (x_g + 3l_g/10) + V_{yg}^\phi (x_g + 7l_g/10) + P_{zg}^\phi l_g (0.5x_g + l_g/5) / 3 - \right. \\ \left. - P_{zh}^\phi l_g (x_g/3 + l_g/5) / 3 \right].$$

Здесь величины $V_{xg(h)}^{\phi(\beta)}$, $V_{yg(h)}^{\phi(\beta)}$, $V_{zg(h)}^{\phi(\beta)}$, $P_{xg(h)}^{\phi(\beta)}$, $P_{yg(h)}^{\phi(\beta)}$, $P_{zg(h)}^{\phi(\beta)}$

представляют собой перемещения и углы поворота стержней в узлах конструкции, соответствующие формам ее собственных колебаний.

В настоящей статье выражения для величин J_{3x} , J_{4x} ..., J_{9x} , а также для коэффициентов стержней, параллельных оси O_1y_1 , не приведены по причине ограниченности ее объема.

Выражения коэффициентов для сосредоточенных масс m_g^m , расположенных в узлах стержневой конструкции, определяются с использованием выражений

$$\bar{a}_\phi^g = m_g^m \left| V_{xg}, V_{yg}, V_{zg} \right|^T, \quad \bar{G}_\phi^g = m_g^m \left| y_g V_{zg}, -x_g V_{zg}, x_g V_{yg} - y_g V_{xg} \right|^T,$$

$$\bar{\Gamma}_{\beta\phi}^g = m_g^m \left| V_{yg} V_{zg} - V_{yg} V_{zg}, V_{xg} V_{zg} - V_{xg} V_{zg}, V_{xg} V_{yg} - V_{xg} V_{yg} \right|^T,$$

$$A_{\phi\beta}^g = m_g^m (V_{xg} V_{xg} + V_{yg} V_{yg} + V_{zg} V_{zg}),$$

$$\bar{\bar{L}}_\phi^g = m_g^m \begin{vmatrix} y_g V_{yg} & -(x_g V_{yg} + y_g V_{xg})/2 & -x_g V_{zg}/2 \\ -(x_g V_{yg} + y_g V_{xg})/2 & x_g V_{xg} & y_g V_{zg}/2 \\ -x_g V_{zg}/2 & y_g V_{zg}/2 & y_g J_{1x} + (x_g + l_g/2) v_{xg} \end{vmatrix}.$$

Суммируя найденные коэффициенты для стержней, расположенных параллельно осям O_1x_1 и O_1y_1 , а так же для сосредоточенных масс, получаем коэффициенты для всей панели СБ в проекциях на оси системы $O_1x_1y_1z_1$.

Редукция математической модели. Поскольку практически очень трудно, а порой и невозможно создавать системы управления для объектов, вектор состояния которых имеет несколько десятков переменных, может оказаться, что размерность математической модели упругой СКЭС будет излишне высокой. Так, например, размерность системы уравнений динамики СКЭС при использовании представления его упругих элементов в виде стержней определяется выражением

$$\Pi = 2N(n_1 + n_2 + n_3) + 3, \quad (5)$$

где N - число упругих элементов; n_1, n_2 - число учитываемых форм изгибных колебаний в плоскости и из плоскости упругого элемента; n_3 - число учитываемых форм крутильных колебаний упругого элемента.

По аналогичной формуле может быть найден порядок системы уравнений и при использовании МКЭ. В этом случае при использовании большого количества узловых точек размерность становится чрезвычайно большой.

В случаях, когда размерность математической модели слишком велика и это вызывает определенные трудности при ее использовании, целесообразно применять методы понижения ее размерности. Существуют различные способы понижения порядка исходной системы. В работе [9] предлагается применение агрегирования переменных. В этом случае, если собственные частоты частей конструкции совпадают, обобщенные координаты, соответствующие этим частотам, можно усреднить и, таким образом, уменьшить размерность исходной системы уравнений.

Проиллюстрируем возможность агрегирования переменных для случая, когда на СКЭС установлено N одинаковых упругих элементов. Введем новые переменные следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^N G_{i1\alpha}^x q_{i\alpha} &= q_{x\alpha}, \quad \sum_{i=1}^N G_{i2\alpha}^x p_{i\alpha} = p_{x\alpha}, \quad \sum_{i=1}^N G_{i3\alpha}^x r_{i\alpha} = r_{x\alpha}, \\ \sum_{i=1}^N G_{i1\alpha}^y q_{i\alpha} &= q_{y\alpha}, \quad \sum_{i=1}^N G_{i2\alpha}^y p_{i\alpha} = p_{y\alpha}, \quad \sum_{i=1}^N G_{i3\alpha}^y r_{i\alpha} = r_{y\alpha}, \\ \sum_{i=1}^N G_{i1\alpha}^z q_{i\alpha} &= q_{z\alpha}, \quad \sum_{i=1}^N G_{i2\alpha}^z p_{i\alpha} = p_{z\alpha}, \quad \sum_{i=1}^N G_{i3\alpha}^z r_{i\alpha} = r_{z\alpha}. \end{aligned}$$

Здесь $\bar{G}_{i1\alpha}^{(c)} = |\bar{G}_{i1\alpha}^x, \bar{G}_{i1\alpha}^y, \bar{G}_{i1\alpha}^z|$, $\bar{G}_{i2\alpha}^{(c)} = |\bar{G}_{i2\alpha}^x, \bar{G}_{i2\alpha}^y, \bar{G}_{i2\alpha}^z|$,
 $\bar{G}_{i3\alpha}^{(c)} = |\bar{G}_{i3\alpha}^x, \bar{G}_{i3\alpha}^y, \bar{G}_{i3\alpha}^z|$ - коэффициенты система уравнений (4) в проекциях на оси связанной системы координат; $p_{i\alpha}$ - обобщенная координата, характеризующая отклонения из плоскости упругого элемента.

Путем введения указанных новых переменных система уравнений (4) может быть модифицирована таким образом:

$$\bar{J}_\Sigma \dot{\bar{\omega}} + \bar{\omega} \times \sum_{\alpha=1}^n (\dot{\bar{q}}_\alpha + \dot{\bar{p}}_\alpha + \dot{\bar{r}}_\alpha) + \sum_{\alpha=1}^n (\ddot{\bar{q}}_\alpha + \ddot{\bar{p}}_\alpha + \ddot{\bar{r}}_\alpha) = \bar{M}_\Sigma - \bar{\omega} \times \bar{J}_\Sigma \bar{\omega},$$

$$\bar{G}_{1\alpha} \dot{\bar{\omega}} + \ddot{\bar{q}}_\alpha + \varepsilon_{1\alpha} \dot{\bar{q}}_\alpha + c_{1\alpha} \bar{q}_\alpha = 0,$$

$$\bar{G}_{2\alpha} \dot{\bar{\omega}} + \ddot{\bar{p}}_\alpha + \varepsilon_{2\alpha} \dot{\bar{p}}_\alpha + c_{2\alpha} \bar{p}_\alpha = 0,$$

$$\bar{G}_{3\alpha} \dot{\bar{\omega}} + \ddot{\bar{r}}_\alpha + \varepsilon_{3\alpha} \dot{\bar{r}}_\alpha + c_{3\alpha} \bar{r}_\alpha = 0, \alpha = \overline{1, n},$$

где $\bar{q}_\alpha = |q_{x\alpha}, q_{y\alpha}, q_{z\alpha}|^T$; $\bar{p}_\alpha = |p_{x\alpha}, p_{y\alpha}, p_{z\alpha}|^T$; $\bar{r}_\alpha = |r_{x\alpha}, r_{y\alpha}, r_{z\alpha}|^T$; $\bar{G}_{1\alpha}$, $\bar{G}_{2\alpha}$, $\bar{G}_{3\alpha}$ - тензорные коэффициенты.

Порядок такой модифицированной системы рассчитывается по следующей формуле:

$$P_m = 6(n_1 + n_2 + n_3) + 3. \quad (6)$$

Сравнивая формулы (5) и (6) можно констатировать, что чем выше N тем эффективнее такой подход при редукции размерности.

Следует отметить, что введение новых координат затрудняет анализ движения упругих элементов. Однако, на практике больший интерес представляет влияние колебаний упругих элементов на динамику СКЭС, а не наоборот.

Определения упругих и диссипативных характеристик СКЭС. В работе [10] отмечается, что обеспечение стабилизации всех упругих собственных форм колебаний представляет собой сложную проблему. Кроме того известно, что удовлетворительная работа, а иногда и устойчивость активных систем управления с конечной шириной полосы частот, зависят от демпфирования. Эти соображения указывают на необходимость разработки методов более тщательного учета демпфирования при рассмотрении СКЭС.

Для определения диссипативных характеристик различных механических конструкций, в том числе и конструкций космического применения, широко используются экспериментальные исследования

[11]. Но применение такого подхода для СКЭС в виду их больших размеров затруднительно. Для оценки уровней демпфирования, которые можно ожидать при реализации СКЭС, может быть использован подход, основанный на анализе тех изменений коэффициентов демпфирования различных форм собственных колебаний, которые должны наблюдаться в результате изменения характерного масштаба длины в серии геометрически подобных конструкций из одного материала. Однако эффект влияния масштабного фактора на декремент колебаний еще изучен недостаточно. Поэтому особое внимание должно уделяться расчетным методам определения и уточнения параметров конструкции СКЭС. В работе [12] изложена процедура построения матрицы диссипации при анализе динамики конструкции с использованием метода конечных элементов. Однако для получения достоверных результатов целесообразно использовать методы параметрической идентификации.

На практике идентификация параметров упругости и диссипации конструкции может быть реализована с использованием следующего подхода. Пусть непрерывный идентифицируемый объект описывается следующим общим уравнением:

$$\dot{\bar{X}} = f(\bar{X}, \bar{U}, \bar{G}, t), \quad (7)$$

где $\bar{X}$ - вектор состояния объекта; $\bar{U}$ - вектор управления; $\bar{G}$ - вектор, составленный из неизвестных элементов матриц жесткости и диссипации.

Условия наблюдения представим в виде

$$\bar{Z} = H(\bar{X}, \bar{U}, t). \quad (8)$$

Характеристики настраиваемой модели и условия ее наблюдения в общем случае отличны от характеристик и функции наблюдения объекта

$$\dot{\bar{X}}^M = f(\bar{X}^M, \bar{U}, \bar{G}^M, t), \quad (9)$$

$$\bar{Z}^M = H(\bar{X}^M, \bar{U}, t). \quad (10)$$

Здесь и далее индексом M обозначены параметры, соответствующие настраиваемой модели.

Задачу идентификации можно сформулировать как управление вектором параметров модели $\bar{G}^M$, обеспечивающее достаточно малую норму невязки

$$\Delta \bar{Z} = \bar{Z} - \bar{Z}^M$$

в заданной области управляющих воздействий $\bar{U}(t)$. Функцию цели управления параметрами зададим в виде

$$Q_3 = |\bar{Z} - \bar{Z}^M|^2.$$

Алгоритм управления параметрами может быть основан на градиентном методе. Идея этого метода заключается в следующем: скорость изменения настраиваемых параметров устанавливается пропорциональной градиенту целевой функции

$$\dot{\bar{G}}^M = -K \left(\frac{\partial Q_3}{\partial \bar{G}^M} \right)^T = -K \left(\frac{\partial Q_3}{\partial \bar{Z}^M} \frac{\partial \bar{Z}^M}{\partial \bar{X}^M} \frac{\partial \bar{X}^M}{\partial \bar{G}^M} \right), \quad (11)$$

где K - матрица коэффициентов усиления, выбираемая из условия обеспечения сходимости процесса настройки; $\frac{\partial \bar{X}^M}{\partial \bar{G}^M} = X_a^M$ - матрица чувствительности.

Матрица чувствительности получается дифференцированием уравнения (9) по $\bar{G}^M$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial \bar{X}^M}{\partial \bar{G}} = \frac{\partial f^M}{\partial \bar{X}^M} \frac{\partial \bar{X}^M}{\partial \bar{G}^M} + \frac{\partial f^M}{\partial \bar{G}^M}. \quad (12)$$

С учетом заданного управляющего воздействия $\bar{U} = U(t)$ замкнутая система уравнений состоит из выражений (7)-(10), алгоритма настройки параметров (11) и матричного уравнения (12).

В случае наличия устойчивости объекта проблема задания начальных условий для $\bar{X}_a^M$ решается следующим образом. Задаются относительно произвольные начальные условия и интегрируется только одно уравнение (12) до достижения установившегося режима. Полученное решение и следует использовать в качестве начального для интегрирования всей замкнутой системы (7)-(12).

Приведенный алгоритм, полученный градиентным методом при локальной целевой функции, можно считать оптимальным лишь условно. Оптимизация по локальному критерию эквивалентна стремлению к наилучшему в каждый текущий момент времени. Хотя такой подход дает оптимальные результаты, он отличается от оптимального по интегральному критерию.

Таким образом, в настоящей статье обозначены наиболее важные задачи, которые необходимо будет решать при создании

системы управления ориентацией СКЭС. Для таких задач, как математическое описание упругих СКЭС, редукция размерности уравнений динамики станции, оценка диссипативных и упругих характеристик ее конструкции в обзорном стиле представлено методическое обеспечение, которое может служить основой при создании алгоритмического обеспечения системы управления ориентацией СКЭС. Исследование влияния упругих и диссипативных параметров на устойчивость объекта управления, вопросы наблюдаемости и управляемости при неполном векторе состояния, а также синтез алгоритмов управления ориентацией электростанции робастных по отношению к ряду неопределенностей будут рассмотрены во второй части статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванке В.А., Лесков Л.В., Лукьянов А.В. Космические энергосистемы. – М.: Машиностроение, 1990. – 144 с.
2. Згуровский М.З., Бидюк П.И. Анализ и управление большими космическими конструкциями. – Киев.: Наукова думка, 1997. – 451 с.
3. Механика больших космических конструкций/ Н.В. Баничук, И.И. Карпов, Д.М. Климов и др. – М.: Факториал, 1997. – 302 с.
4. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1961. – 824 с.
5. Галлагер Р. Метод конечных элементов. – М.: Мир, 1984. – 428 с.
6. Алпатов А.П., Хорошилов С.В., Шаповаленко В.В. О выводе уравнении колебаний сложных упругих стержневых конструкций // Космическая техника. Ракетное вооружение. Днепропетровск: ГКБ "Южное" им. М.К. Янгеля. - 1997. - вып. 2. - С. 75-92.
7. Хорошилов С.В., Шаповаленко В.В. К вопросу построения и решения уравнений колебаний криволинейных стержневых пространственных конструкций космического применения // Космическая наука и технология. 1999. – Т5, № 5/6 – С. 65–70.
8. Хорошилов С.В., Шаповаленко В.В. О расчете характеристик стержневой параболической антенны // Космическая техника. Ракетное вооружение. – Днепропетровск: ГКБ "Южное" им. М.К. Янгеля. - 1999. - Вып. 1. - С 87-95.

9. Хорошилов С.В., Шаповаленко В.В. Редукция размерности систем уравнений динамики упругих космических аппаратов. Техническая механика.– 1998. - Вып. 7. - С. 50-60.
10. Gevarter W.B. Basic Relations for Control of Flexible Vehicles // AIAA Journal. – 1970. – Vol 8. – P. 666–672.
11. Вопросы рассеяния энергии при колебаниях упругих систем. Труды научно-технического совещания / Под редакцией Г.С. Писаренко. – Киев.: Государственное издательство технической литературы УССР, 1962. – 223с
12. Алпатов А.П., Хорошилов С.В., Шаповаленко В.В. Учет диссипации энергии при анализе динамики больших конструкций космического применения. Техническая механика–2004. -Вып. 1. - С.15-23

Получено 29.01.2009г.

ДИНАМИКА КРИВОШИПНО - ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА, НАГРУЖЕННОГО ПЕРЕМЕННОЙ СИЛОЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Анализ исследований и публикаций. Вследствие ряда преимуществ наиболее широкое применение получили вибрационные конвейеры с эксцентриковым (кривошипно - шатунным) приводом. В работах [1,2] рассматривается динамика машинных агрегатов в расчетных схемах которых не учитывается одновременное изменение приведенных моментов инерции масс звеньев θ и сил сопротивления M_c в зависимости от угла поворота кривошипа. Поэтому настоящая статья представляет собой попытку использовать публикации [1,2] для определения динамических нагрузок, возникающих в процессе работы кривошипно – шатунного приводного механизма вибрационного конвейера [3].

Постановка задачи. Основной задачей работы является получение динамического уравнения кривошипно – шатунного механизма с учетом одновременного изменения момента инерции масс и момента сил сопротивления в зависимости от угла поворота кривошипа φ . Принимаем $\theta = Const$ и $M_c = f(t)$.

Метод решения. Описание движения кривошипно – шатунного механизма выполняем с помощью уравнения Лагранжа [4]:

$$\theta\ddot{\varphi} + \frac{1}{2}\dot{\varphi}\frac{d\theta}{d\varphi} = M - M_c. \quad (1)$$

В работе статье рассматриваются системы, в которых θ и M_c являются периодическими функциями φ и, кроме того, M_c может зависеть от $\dot{\varphi}$ и $\ddot{\varphi}$.

Динамическую характеристику электродвигателя (асинхронного или постоянного тока с параллельным возбуждением) полагаем заданной уравнением:

$$M + T\frac{dm}{dt} = M(\dot{\varphi}), \quad (2)$$

где $M(\dot{\varphi})$ - статическая характеристика электродвигателя;

T – постоянная времени, учитывающая переходные процессы двигателя.

Исключим из уравнений (1),(2) момент M , при этом получим уравнение движения с учетом динамической характеристики электродвигателя

$$\theta\ddot{\varphi} + \frac{1}{2}\dot{\varphi}^2 \frac{d\theta}{d\varphi} + Mc + T \frac{d}{dt} \left(\theta\dot{\varphi} + \frac{1}{2}\dot{\varphi}^2 \frac{d\theta}{d\varphi} + Mc \right) = M(\dot{\varphi}). \quad (3)$$

Переменная составляющая момента инерции, обычно, значительно меньше θ_0 его постоянной части и можно записать

$$\theta = \theta_0 [1 + \varepsilon \cdot h(\varphi)], \quad (4)$$

где $h(\varphi)$ - периодическая функция $\dot{\varphi}$ с периодом 2π ;

ε - параметр малой величины.

Момент сил сопротивления обычно имеет ту же структуру: основную не периодическую часть $M_{c0}(\dot{\varphi})$ и значительно меньшую периодическую составляющую M_{c1} , то есть

$$M_c(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}) = M_{c0}(\dot{\varphi}) + \varepsilon \cdot M_{c1}(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}). \quad (5)$$

Используя уравнения (4) и (5) в место уравнения (3) получаем уравнение:

$$T\ddot{\varphi} + \left[1 + \frac{T}{\theta_0} \cdot \frac{dM_d(\dot{\varphi})}{d\dot{\varphi}} \right] \ddot{\varphi} + \frac{M_{c1}(\dot{\varphi}) - M(\dot{\varphi})}{\theta_0} = -\varepsilon \left\{ h\ddot{\varphi} + \frac{1}{2}\dot{\varphi}^2 \frac{dh}{d\varphi} + \frac{M_{c1}}{\theta_0} + T \left[h\ddot{\varphi} + 2\dot{\varphi}\ddot{\varphi} \cdot \frac{dh}{d\varphi} + \frac{1}{2}\dot{\varphi}^3 \frac{dh^2}{d\varphi^2} + \frac{1}{\theta_0} \cdot \left(\frac{\partial M_{1c}}{\partial \varphi} \cdot \dot{\varphi} + \frac{\partial M_{c1}}{\partial \dot{\varphi}} \cdot \ddot{\varphi} + \frac{\partial M_{1c}}{\partial \ddot{\varphi}} \cdot \ddot{\varphi} \right) \right] \right\}. \quad (6)$$

При построении решения не линейного дифференциального уравнения (6) исходим из физических представлений о поведении системы. В случае линейных M_0 , $M(\dot{\varphi})$ и $\varepsilon = 0$, в установившемся режиме движения $\dot{\varphi} = v = \text{Const}$. Поэтому, в общем случае, следуя асимптотическому методу [5], решение уравнения (6) запишем следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= v + \varepsilon \cdot v_1(\varphi) + \varepsilon^2 \dots \\ \frac{dv}{dt} &= \varepsilon \cdot c_1(v) + \varepsilon^2 + \dots \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Средняя за период угловая скорость звена привода ν определяется уравнением:

$$\frac{d\nu}{dt} = 0 \quad (8)$$

Для однозначности определения функций V_i принимаем следующее: постоянные составляющие в составе V_i отсутствуют.

Рассматривая выражение (7) как замену переменных в уравнении (6), сравнивая коэффициенты при одинаковых степенях ε и учитывая требования, наложенные на V_i , в улучшенном первом приближении будем иметь:

$$\frac{d\nu}{dt} = \frac{M(\nu) - M_{c0}(\nu)}{\theta_0 + T \cdot M'_{c0}(\nu)} \quad (9)$$

$$T \cdot \nu^2 \frac{\partial^2 V_1}{\partial \varphi^2} + \left[1 + \frac{T M'_{c0}(\nu)}{\theta_0} \right] \cdot \nu \frac{\partial V_1}{\partial \varphi} + \frac{M'_{c0}(\nu) - M'(\nu)}{\theta} \cdot V_1 =$$

$$= \left\{ \frac{1}{\theta_0} \cdot \left[M_{c1}(\varphi, \nu, 0) + \nu T \cdot \frac{\partial M_{c1}(\varphi, \nu, 0)}{\partial \varphi} \right] + \frac{\nu^2}{2} \cdot \frac{d}{d\varphi} \left(h + \nu T \frac{\partial h}{\partial \varphi} \right) \right\}, \quad (10)$$

где штрихом обозначено дифференцирование по ν .

В качестве примера рассмотрим динамику вибротранспортного конвейера с жестким эксцентриковым приводом (рис.1).

В таких конвейерах на практике обычно принимается эксцентритет $r \ll \ell$ длины шатуна и по этому перемещение рабочего органа

$$x \cong r \cdot \sin \varphi \quad (11)$$

где m - масса рабочего органа, c - жесткость упругой связи, r - эксцентритет (кривошип), ℓ - длина шатуна (масса шатуна размещена в точках А и В).

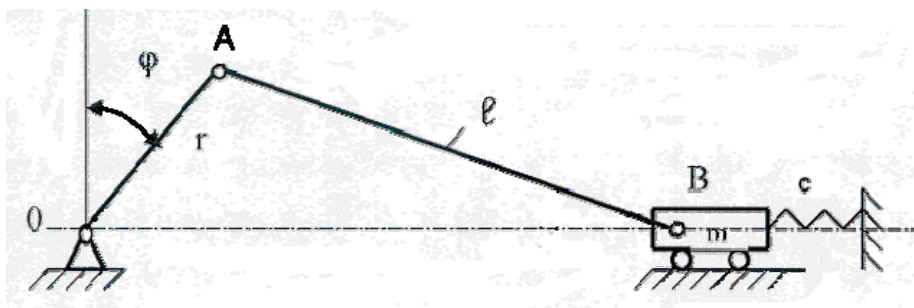


Рисунок 1 - Вибротранспортный конвейер

Имея ввиду, что вращающиеся массы уравновешены, запишем кинетическую энергию T_K , потенциальную энергию Π и функцию сил сопротивления Φ :

$$\left. \begin{aligned} T_k &= \frac{1}{2} [\theta_1 \dot{\varphi}^2] + m(r\ddot{\varphi} \cdot \cos \varphi)^2, \\ \Pi &= \frac{1}{2} C(r \cdot \sin \varphi)^2, \\ \Phi &= \frac{1}{2} \alpha (r\dot{\varphi} \cdot \cos \varphi)^2, \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где α - суммарный коэффициент не упругих сопротивлений.

Трением в подшипниках пренебрегаем, так как жесткость упругой связи выбирается с таким расчетом, чтобы при установившемся режиме движения шатун разгружался от динамических сил.

Используя уравнение Лагранжа второго рода, получим уравнение [1], в котором:

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \theta_0 + \frac{1}{2} m r^2 \cos 2\varphi, \\ \theta_0 &= \theta_1 + \frac{1}{2} m r^2, \\ L &= \frac{1}{2} r^2 (\alpha \dot{\varphi} + C \sin 2\varphi + \alpha \dot{\varphi} \cdot \cos 2\varphi) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

В соответствии с выражениями (4) и (5) имеем:

$$\left. \begin{aligned} h(\varphi) &= \frac{m r^2}{2\theta_0} \cdot \cos 2\varphi, \\ M_{co}(\dot{\varphi}) &= \frac{1}{2} \alpha r^2 \dot{\varphi}, \\ M_{c1}(\varphi, \dot{\varphi}) &= \frac{1}{2} r^2 (C \cdot \sin 2\varphi + 2\dot{\varphi} \cdot \cos 2\varphi). \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Статическую характеристику электродвигателя запишем в виде:

$$M = A - B\dot{\varphi} \quad (15)$$

Теперь уравнения (9) и (10) будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} &= \frac{M(v) - M_{co}(v)}{\theta_0 + \frac{1}{2} T \alpha r^2}, \\ \frac{\partial^2 V_1}{\partial \varphi^2} + \frac{\theta_0 + \frac{1}{2} T \cdot \alpha r^2}{\theta_0 \cdot TV} \cdot \frac{\partial V_1}{\partial \varphi} + \frac{B + \frac{1}{2} \alpha \cdot r^2}{\theta_0 TV^2} &= - \frac{rQ \sqrt{1 + (2TV^2)}}{2\theta_0 \cdot TV^2} \cdot \sin(2\varphi + \beta), \end{aligned} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} Q &= r \cdot \sqrt{(C - mv^2)^2 + (\alpha v)^2}, \\ \text{где} \quad \operatorname{tg} \beta &= \frac{2TV(C - mv^2) + \alpha v}{(C - mv^2) - 2T\alpha v^2} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Не трудно заметить, что Q представляет силу, действующую на шатун, и что эта сила будет минимальной при $C = mv^2$.

Для стационарных режимов движения согласно уравнению (8) и первого уравнения (16) получим выражение для определения среднего значения угловой скорости звена приведения

$$A - Bv = \frac{1}{2} \alpha r^2 v \quad (18)$$

при этом среднее значение момента сил сопротивления

$$M_c = \frac{1}{2} \alpha r^2 v \quad (19)$$

После получения частного решения второго из уравнений (16) и подстановки его в первое уравнение (7) получим выражение для угловой скорости

$$\frac{d\varphi}{dt} = V - \frac{rQ\sqrt{1 + (2TV)^2} (2\varphi + \beta - \beta_1)}{2 \cdot \sqrt{\left(B + \frac{1}{2} \alpha r^2 - 4\theta_0 TV^2\right)^2 + 4v^2 \left(\theta_0 + \frac{1}{2} \alpha \cdot r^2 T\right)^2}} \quad (20)$$

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{2V \left(\theta_0 + \frac{1}{2} \cdot T \alpha r^2\right)}{B + \frac{1}{2} \cdot \alpha r^2 - 4\theta_0 TV^2} \quad (21)$$

В системе возможен электромеханический резонанс при

$$V^2 = \frac{B + \frac{1}{2} \alpha r^2}{4\theta T}, \quad (22)$$

Момент двигателя, так же как и угловую скорость будем искать в виде:

$$M = M_0 + \varepsilon M_1(\varphi) + \dots \quad (23)$$

После подстановки выражения (23) в уравнение (2) получим в первом приближении

$$M_0 = M_c = \frac{1}{2} \cdot \alpha r^2 v, \quad (24)$$

$$TV \frac{dM_1}{d\varphi} + M_1 = -BV_1. \quad (25)$$

Имея в виду, что второе слагаемое в правой части выражения (20) есть v_1 , получаем частное решение уравнения (25) и после подстановки его в формулу (23) получим:

$$M = M_c + \frac{Br \cdot Q \sin(2\varphi + \beta)}{2\sqrt{\left(B + \frac{1}{2}\alpha r^2 - 4\theta_0 TV^2\right)^2 + 4v^2\left(\theta_0 + \frac{1}{2}T\alpha r^2\right)^2}}, \quad (26)$$

Следует отметить, что при $\theta = \text{Const}$ и $M_c = M_{co} + \frac{1}{2}Cr^2 \cdot \sin 2vt$ (то есть когда силы сопротивления зависят от времени) из формулы (26) получается

$$M = M_{co} + \frac{\frac{1}{2}Cr^2 \sin(2vt + \beta)}{\sqrt{\left(1 - 4T_M T \cdot V^2\right)^2 + (2V \cdot T_M)^2}}, \quad T_M = \frac{\theta}{B},$$

что в точности совпадает с результатом, приведенным в работе [2].

Выводы. Полученные в статье результаты позволяют (с достаточной для практики точностью) определять динамические нагрузки в приводном механизме вибрационного конвейера, в зависимости от изменения сил сопротивления и приведенного момента инерции масс звеньев в функции угла поворота кривошипа. Приведенный метод может быть использован при изучении динамики вибротранспортных машин с жестким эксцентриковым приводным механизмом и ряда других машин с кривошипными и кулисными механизмами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейц В.Л., Кочура А. Е. Динамические расчеты приводов машин. Л.: Машиностроение, 1971.- 352 с.
2. Попов В. И., Локтев В. И. Динамика станков. Киев: Техника, 1975. – 135 с.
3. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.
4. Озол О.Г. Теория механизмов и машин. М.: Наука 1984. – 432 с.
5. Зельдович Я.Б., Мышкин А.Д. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1967. - 646С.

Получено 01.02.2009г.

УДК [622.272.004.6:658.382.3]001.57

В.Г. Шевченко

О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗВЕНА ГОРНОРАБОЧИХ В АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ

Процесс добычи угля представляет сложную систему регулирования, главными элементами которой являются руководство шахты (директор, главный инженер, начальники смен), бригадиры-диспетчеры, машинисты выемочных машин, горнорабочие (ГРОЗ), функционирующие в условиях влияния внешних возмущающих воздействий: горно-геологические условия (тектонические нарушения, размыв угольного пласта, включения, породные прослои, выделение газа и пр.), факторы аварийности (случайные отказы элементов очистного комплекса, газодинамические явления, загазованность, затопление выработок, обрушения пород и пр.), человеческий фактор (ошибочные действия горнорабочих, физическое нервное утомление, ошибки руководства, неверные решения и пр.). От правильности выбора схемы и параметров регулирования работы звена горнорабочих зависит производительность, эффективность и безопасность процессов угледобычи, протекающих в экстремальных условиях, приводящих к нелинейному поведению человека. Однако управление этими процессами является как сложным, так и высокоэффективным. Актуальной является задача выбора наиболее рациональной схемы и расчета оптимальных параметров регулирования работы звена горнорабочих в комбайновой и струговой лавах при возникновении аварийной ситуации.

В качестве регуляторов в системе управления процессом добычи угля выступают машинист выемочной машины по отношению к объекту регулирования очистной комбайн (струг), бригадир-диспетчер по отношению к звену горнорабочих, начальник смены, главный инженер, директор по отношению к группе высоконагруженных лав. Назначение регулятора в системе управления процессом добычи угля заключается в коррекции динамических свойств объекта управления с помощью управляющего сигнала $u(t)$ так, чтобы реальный

выходной сигнал $y(t)$, обусловленный как текущей обстановкой в забое, так и индивидуальными особенностями горнорабочих, как можно меньше отличался от желаемого выходного сигнала $g(t)$, обусловленного нормативами ведения горных работ [1,2].

Стандартным видом регулирования в процессе добычи является пропорциональное, при котором учитывается величина отклонения регулируемой величины от заданного нормативного значения. Такое управление определяется технологией и организацией процессов угледобычи и обуславливается нормативами ведения горных работ.

Однако если человек является высококвалифицированным работником-интеллектуалом, то он учитывает как отклонение регулируемой величины, так и интеграл, скорость и ускорение ее изменения, т.е. выполняет функцию пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регулятора, а его передаточная функция имеет вид [3]:

$$W(p) = k \left(1 + \frac{1}{T_1 p} + T_2 p \right) \quad (1)$$

где k - коэффициент передачи; T_1 , T_2 - постоянные времени, соответственно, интегрирования (степень ввода интеграла в закон регулирования – время изодрома) и дифференцирования (время предварения регулятора).

Человек, учитывающий отклонение регулируемой величины и дающий интегральную оценку параметрам системы управления, может быть представлен в виде пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора, с передаточной функцией, определяемой выражением [3]:

$$W(p) = k \left(1 + \frac{1}{T_1 p} \right) \quad (2)$$

Передаточная функция бригадира-диспетчера, как высококвалифицированного опытного оператора-интеллектуала, будет определяться выражением (1), руководящего персонала шахты начальника смены, главного инженера и директора – выражением (2). Критерием оптимальной настройки регуляторов (1) и (2) служит соотношение $k/T_1 \rightarrow \max$ [4,5].

Передаточная функция подсистемы «бригадир (диспетчер)-звено ГРОЗ», определяется как передаточная функция замкнутой системы с отрицательной обратной связью (сигнал на выходе звена контура

обратной связи вычитается из сигнала на входе звена бригадира (диспетчера):

$$W_{БР-ГРОЗ} = \frac{W_{МК(МК)-ГРОЗ} W_{БР}}{1 - W_{МК(МК)-ГРОЗ} W_{БР}} \quad (3)$$

где $W_{БР}$, - передаточные функции соответственно регулятора - бригадира (диспетчера), определяемая выражением (1), и объекта управления - системы «машинист комбайна (струга) – звено ГРОЗ», определяемые выражениями [6]

$$W_{МК-ГРОЗ} = W_{МК} \times W_{ГРОЗ} = e^{-T_{1МК}p} \frac{pk_{МК}}{(T_{2МК}p + 1)(T_{3МК}p + 1)} \times \sum_{i=1}^n e^{-T_{1ГРОЗi}p} \frac{k_{ГРОЗi}}{(T_{2ГРОЗi}p + 1)(T_{3ГРОЗi}p + 1)} \quad (4)$$

$$W_{МС-ГРОЗ} = W_{МС} \times W_{ГРОЗ} = e^{-T_{1МС}p} \frac{pk_{МС}}{T_{2МС}p + 1} \times \sum_{i=1}^n e^{-T_{1ГРОЗi}p} \frac{k_{ГРОЗi}}{(T_{2ГРОЗi}p + 1)(T_{3ГРОЗi}p + 1)} \quad (5)$$

где $k_{МК}$, $k_{МС}$, $k_{ГРОЗi}$ - коэффициенты усиления; $T_{1МК}$, $T_{1МС}$, $T_{1ГРОЗi}$ - время реакции, с; $T_{2МК}$, $T_{2МС}$, $T_{2ГРОЗi}$ - постоянные времени, характеризующие инерцию в образовании исполнительного действия, психофизический параметр, с, соответственно машиниста комбайна, машиниста струга, горнорабочего; $T_{3МК}$, $T_{3ГРОЗi}$ - постоянные времени, характеризующие инерцию в образовании исполнительного действия, биомеханический параметр, с, соответственно машиниста комбайна и горнорабочего, n - число горнорабочих комплексной бригады. Согласно исследованиям [7-10] параметры изменяются в следующих диапазонах: $k=0,1-2,6$; $T_1=0,01-0,4$ с; $T_2=0,01-0,25$ с; $T_3=0,01-0,2$ с.

На рис. 1 представлены основные качественные характеристики динамических звеньев (4), (5) при варьировании параметров k ; T_1 ; T_2 ; T_3 на трех уровнях – при нижних ($k=0,1$; $T_1=0,01$ с; $T_2=0,01$ с; $T_3=0,01$ с), средних ($k=1,3$; $T_1=0,2$ с; $T_2=0,125$ с; $T_3=0,1$ с) и верхних ($k=2,6$; $T_1=0,4$ с; $T_2=0,25$ с; $T_3=0,2$ с) их значениях. Данные диапазоны соответствуют высокой, средней и низкой скорости реагирования на поступающую информацию, скорости ее переработки, принятия и реализации решений, которые определяются соответственно высокой, средней и низкой квалификацией, опытом, мотивированностью, физическими кондициями горнорабочих.

Анализ данных показывает, что динамическое звено «машинист струга – звено ГРОЗ» обладает большим быстродействием, чем звено

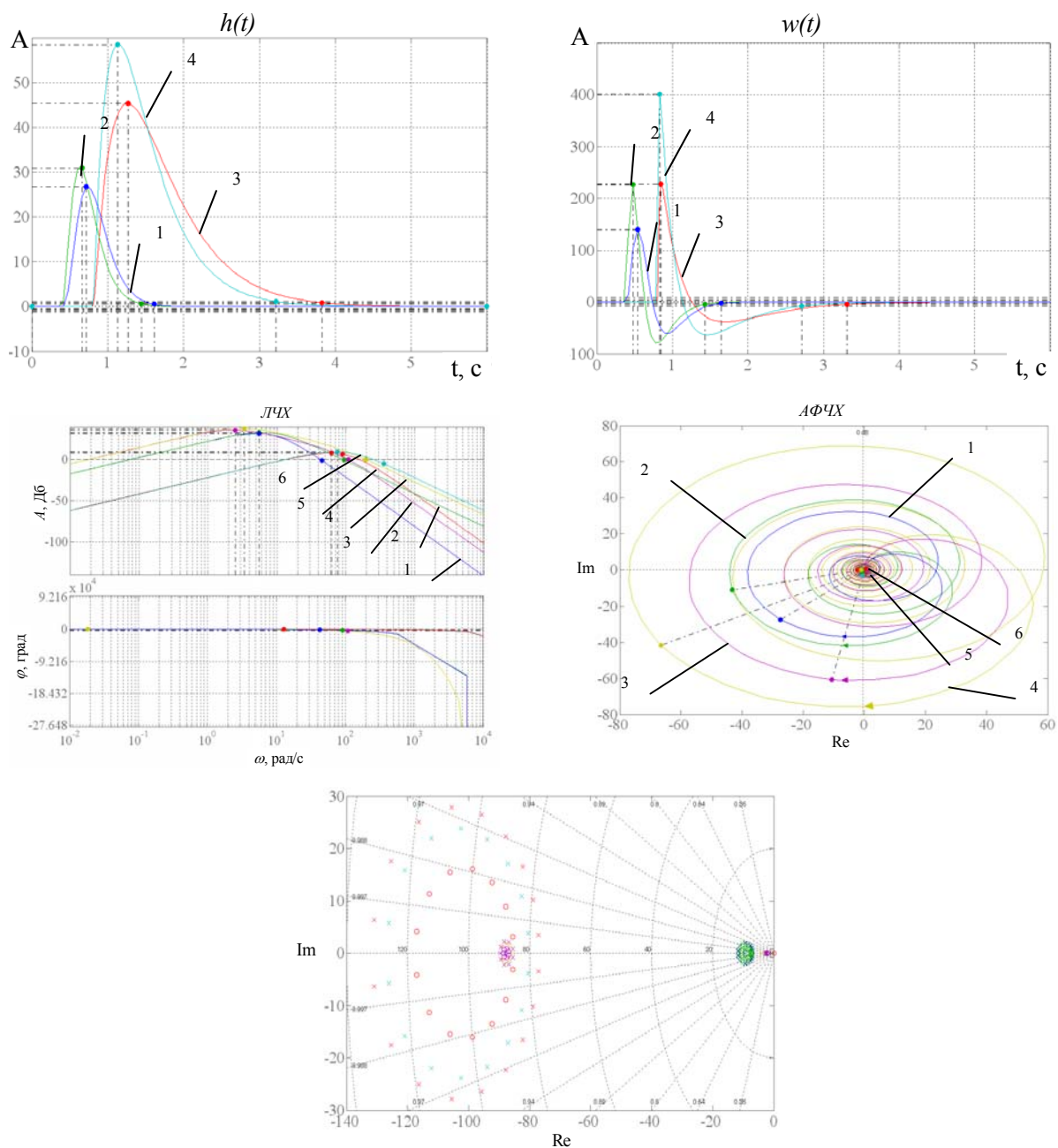
«машинист комбайна – звено ГРОЗ». При всех значениях параметров передаточных функций данные звенья устойчивы в разомкнутом состоянии, в замкнутом состоянии все звенья не устойчивы. Характерной особенностью таких систем является то, что в разомкнутом состоянии для некоторых корней передаточных функций при нижних и средних диапазонах параметров наблюдается одинаковый запас устойчивости.

Для улучшения показателей качества управления необходим выбор оптимальной схемы и параметров регулирования. Так, наиболее распространенным типовым воздействием в процессе добычи угля является единичный скачок. Такой вид воздействия возникает при мгновенном изменении обстановки: начало работы выемочной машины, изменение интенсивности процесса выемки, возникновение нештатной (аварийной) ситуации, начало поступления потока информации (команд, распоряжений) и пр. Основной задачей исследования являлся выбор такой схемы регулирования работы звена ГРОЗ и параметров настройки регуляторов, которые обеспечивали бы наилучшие показатели качества переходного процесса в системе при возникновении аварийной ситуации, при которых ошибка управления $e(t) = g(t) - y(t)$ была бы минимальной.

Были заданы следующие границы параметров переходного процесса: время регулирования - 6 с, время нарастания - 2 с, перерегулирование - 20 %, установившаяся ошибка - 5 %, ошибка регулирования - 1 %, что соответствует монотонному переходному процессу без существенных колебаний и перерегулирования. Расчет параметров регулятора производился в системе Mathlab Simulink с использованием пакета Nonlinear Control Design. Расчеты производились для нижних, средних и верхних значений параметров передаточных функций (4), (5). Исследовалась реакция на единичный скачок, имитирующий внезапное возникновение и развитие аварийной ситуации.

В результате предварительных расчетов установлено, что использование в качестве регулятора отдельно П-, Д- и И-регуляторов не позволяет достичь заданных границ переходного процесса. При использовании ПИ- или ПИД-законов регулирования переходной процесс попадает в заданные границы лишь при средних значениях параметров передаточных функций (4), (5). Для

комбайновой лавы при использовании ПИД-регулятора пропорциональная составляющая всегда меньше, чем для струговой, интегральная и дифференциальная – больше.



1,3,5 - для динамического звена «машинист комбайна – звено ГРОЗ»;
 2,4,6 - для динамического звена «машинист струга – звено ГРОЗ»,
 соответственно при средних, верхних и нижних значениях
 параметров

Рисунок 1 - Временные, частотные характеристики, расположение корней на комплексной плоскости

При использовании ПИ-регулятора для нижних значений параметров передаточной функции наблюдается та же картина, для средних и верхних диапазонов пропорциональная и интегральная составляющие для комбайновой лавы больше, чем для струговой. Таким образом, для комбайновой лавы в наибольшей степени подходит нелинейное управление, при котором наиболее важным является снижение статических ошибок управления, повышение быстродействия и прогноз будущего протекания процесса.

На рис. 2 представлена схема нелинейного управления работой звена горнорабочих в комбайновой лаве с двумя последовательными ПИ- и ПИД- регуляторами. Полученные значения критерия оптимальной настройки регуляторов приведены в табл. 1, примеры процесса оптимизации параметров регуляторов приведены на рис. 3.

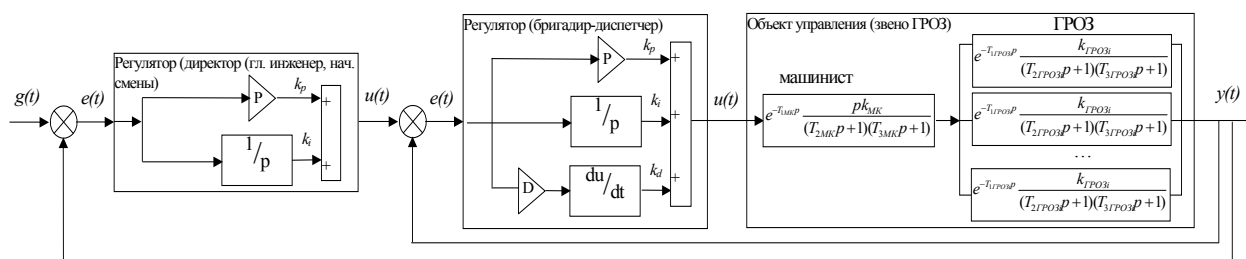


Рисунок 2 - Схема нелинейного управления работой звена горнорабочих в комбайновой лаве

Таблица 1

Значения критерия оптимальной настройки регуляторов

Схема регулирования	Значения соотношения k/T_1 регуляторов для различных диапазонов параметров передаточных функций «машинист – звено ГРОЗ»					
	ПИ- регулятор			ПИД- регулятор		
	нижние	средние	верхние	нижние	средние	верхние
ПИ - ПИД «машинист комбайна – бригада ГРОЗ»	0,0402	0,1575	0,2695	0,0970	0,3183	0,6185
ПИ - ПИД «машинист струга – бригада ГРОЗ»	0,0315	0,5132	0,5187	0,0267	0,1256	0,7040
ПИД - ПИ «машинист комбайна – бригада ГРОЗ»	0,0182	0,2632	0,9912	0,1590	0,2610	0,4947
ПИД - ПИ «машинист струга – бригада ГРОЗ»	0,1528	0,1529	0,7086	0,1566	0,2931	0,4721

Анализ данных свидетельствует, что критерий возрастает от нижних к верхним значениям параметров передаточных функций (4), (5). В тоже время данный критерий не зависит ни от последовательности регуляторов, ни от технологии выемки.

Таким образом, при возникновении аварийной ситуации наиболее оптимальной схемой регулирования является каскадная схема с двумя регуляторами, а все недостатки и отличия между комбайновой и струговой выемкой, а также негативное влияние индивидуальных параметров ГРОЗ могут быть сглажены реализацией нелинейного управления и правильным подбором параметров ПИ- и ПИД- регуляторов – бригадиров-диспетчеров, руководящего персонала шахты (начальников смен, гл. инженера, директора).

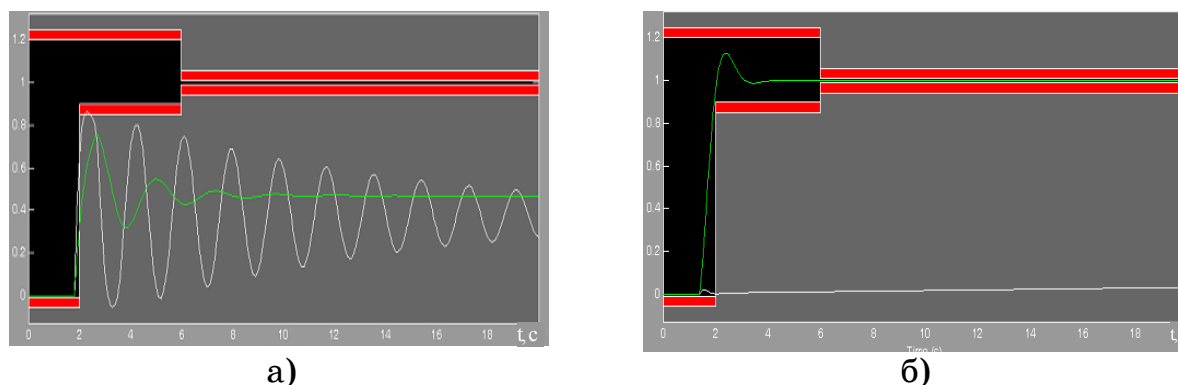


Рисунок 3 - Примеры процесса оптимизации параметров регуляторов
 а) ПИ-регулятора для верхних значений параметров передаточной функции «машинист струга – звено ГРОЗ», б) схемы с использованием ПИ-ПИД-регуляторов для средних значений параметров передаточной функции «машинист комбайна – звено ГРОЗ»

Выводы:

- анализ качественных характеристик динамических звеньев-элементов системы управления процессом добычи угля показал, что звено «машинист струга – звено ГРОЗ» обладает большим быстродействием, чем звено «машинист комбайна – звено ГРОЗ»; при всех значениях параметров передаточных функций данные звенья устойчивы в разомкнутом состоянии, в замкнутом состоянии звенья не устойчивы; характерной особенностью таких систем является то, что в разомкнутом состоянии для некоторых корней передаточных функций при нижних и средних диапазонах параметров наблюдается одинаковый запас устойчивости. Для улучшения качественных

характеристик при мгновенном изменении обстановки в забое необходимо регулирование работы звена горнорабочих, выбор оптимальной схемы и параметров регуляторов, обеспечивающих предотвращение развития аварийной ситуации;

- схемы управления работой звена горнорабочих, основанные на пропорциональном законе регулирования, который определяется технологией, организацией и нормативами ведения горных работ являются малоэффективными в экстремальных условиях: при мгновенном изменении обстановке в забое, нештатных ситуациях и авариях;

- наиболее оптимальной схемой управления работой звена ГРОЗ является каскадная схема с двумя регуляторами, такая схема инвариантна к применяемой технологии добычи угля (струговая или комбайновая выемка), а негативное влияние индивидуальных параметров ГРОЗ может быть сглажено реализацией нелинейного управления и правильным подбором параметров ПИ- и ПИД-регуляторов – бригадиров-диспетчеров, руководящего персонала шахты (начальников смен, гл. инженера, директора). Такая схема обеспечивает как реализацию пропорционального управления, обусловленного нормативами ведения горных работ, так и повышение быстродействия и точности процесса регулирования, прогноз будущего протекания процесса угледобычи, т.е. работает на упреждение возникновения и развития нештатных и аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-05: – К., 2005.
2. Единые нормы выработки на очистные работы для шахт Донецкого и Львовско-Волынского угольных бассейнов. – Донецк: Минуглепром Украины, 1993. – 448 с.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. - СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учеб. для вузов / Ротач В.Я. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.

5. Ротач В.Я. К расчету оптимальных параметров ПИД регуляторов по экспертным критериям / В.Я. Ротач // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. - № 11. - С. 5-9.
6. Шевченко В.Г. К моделированию качества управления процессом добычи угля в лавах / В.Г. Шевченко // Геотехническая механика. – 2008. - Вып. 77. – С. 227-241.
7. Ломов Б.Ф. Человек и техника / Ломов Б.Ф. – М.: Сов. радио, 1966. - 464 с.
8. Душков Б. А. Основы инженерной психологии / Душков Б.А., Ломов Б.Ф., Рубахин В.Ю.; под ред. Б.Ф. Ломова. – М.: Высш. школа, 1986. – 448 с.
9. Приснякова Л.М. Нестационарная психология / Приснякова Л.М. – К.: Днипро, 2002. – 255 с.
10. Приснякова Л.М. Системный синтез психофизических процессов: монография / Приснякова Л.М. – Днепропетровск-Киев, 2008. – 357 с.

Получено 10.02.2009г.

УДК 622.673.1 : 681.514.54

С.Р. Ільїн

**ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ ЗУСИЛЬ У СИСТЕМІ
«ПІДЙОМНА ПОСУДИНА – ЖОРСТКЕ АРМУВАННЯ» ШАХТНИХ
СТОВБУРІВ ПРИ ДИНАМІЧНИХ ЕКСПРЕС-ВИПРОБУВАННЯХ**

Вступ

В останні десятиліття у гірничодобувній промисловості України склалася така ситуація, що одна з її основних особливостей є та, що устаткування шахтних піднімальних комплексів експлуатується в стані підвищеного зносу, який у деяких випадках перевищує 50-60%. Підприємства змушені знижувати робочу швидкість руху скіпів та клітей через підвищену аварійну небезпеку експлуатації шахтних стовбурів. У таких умовах необхідно масове проведення апаратурних експрес-випробувань та обстежень з метою оцінки фактичного рівня безпеки роботи великої кількості підйомів та розробки рекомендацій по їх відновленню до проектного стану.

Задача оперативного одержання інформації про динамічний стан системи «посудина-армування», що дозволяє виявити ступінь потенційної небезпеки роботи шахтних підйомів, здавна була однією із самих актуальних при експлуатації вертикальних стовбурів.

Кінематичний метод діагностики армування, що базується на аналізі обмірюваних апаратурою горизонтальних прискорень напрямних пристроїв підйомних посудин, активно застосовувався в різних країнах ще біля півстоліття тому. Це пояснюється тим, що для монтажу на піднімальній посудині декількох навісних датчиків лінійних прискорень і запису осцилограми їхніх показань не потрібно демонтувати робочі напрямні ковзання, що закріплені на посудині.

Монтаж комплекту акселерометрів може бути проведений протягом декількох десятків хвилин. Для реєстрації їхніх показань можуть бути використані стандартні записуючі пристрої, одночасно застосовані на шахтному підйомі для вирішення інших задач. У Німеччині, наприклад, для цього застосовувався блок з трьома каналами реєстрації від дефектоскопа сталевих шахтних канатів.

Однак, однозначне дешифрування записаної в такий спосіб інформації, та її правильна інтерпретація з точки зору визначення ступеня небезпеки роботи шахтних підйомів, виявилася набагато складніше, ніж уявлялося в той час. Це залежало від множини причин. Зокрема, від суперпозиції записаних на паперову стрічку з малою швидкістю розгорнення за часом аналогових сигналах складових коливань посудини по декількох степенях вільності, власних коливань корпусу посудини й багатозначності можливих варіантів контакту напрямних із провідниками при наявності одночасних сплесків сигналів по декількох акселерометрах, установлених на посудині з орієнтацією вимірювальних осей у взаємно перпендикулярних площинах.

При такому способі реєстрації із задовільною вірогідністю можна було виміряти тільки максимальні (пікові) значення прискорень за період одного коливання без врахування їхнього відносного зрушення по фазі, що саме по собі є дуже важливим інформативним параметром для розшифровки просторової картини коливань посудини при русі по провідниках. Тому, цілком природнім етапом розвитку цього напрямку було створення й відпрацювання технології промислової реалізації «силовимірювального» методу, при якому інформативними параметрами є контактні навантаження на провідники з боку напрямних ковзання підйомної посудини.

Визначення ступеня аварійної небезпеки експлуатаційного стану армування проводилося на підставі досить добре відпрацьованих у будівельній механіці методів деформаційно-міцнісних розрахунків стрижневих систем. Однак практика показала, що в умовах інтенсивної експлуатації підйомів силовимірювальний метод, що вимагає монтажу, замість робочих, спеціальних тензометричних напрямних та їх наступного демонтажу, виявився занадто громіздким і не знайшов широкого застосування. Крім того, для рейкових провідників, які й дотепер займають основне місце у вугільних стовбурах, на відміну від коробчастих, монтування тензометрів у напрямних ковзання для промислового застосування досить проблематична.

Це викликало необхідність розробки альтернативного напрямку, яке можна назвати «акселерометричним-силорозрохунковим» або

«кінематичним - силоразрохунковим» (термінологія автора). Воно полягає в тому, що по вимірюваних горизонтальних прискореннях напрямних корпуса піднімальної посудини розрахунковим шляхом визначаються контактні зусилля, а вже по них проводиться деформаційно-міцністний розрахунок, як при сило-вимірювальному методі.

**Методи визначення контактних зусиль у промислових умовах систем
«підйомна посудина жорстке армування»**

Першими роботами, у яких були запропоновані аналітичні залежності між контактними зусиллями, що діють на провідники жорсткого армування, і горизонтальними прискореннями напрямних піднімальної посудини, вважаються роботи німецьких дослідників Бера, Берга, Гезельбарта [1, 2, 3, 4]. У них, на підставі експериментальних і теоретичних досліджень, для визначення максимально можливих контактних зусиль між провідником і напрямними посудини було запропоновано застосовувати наступну формулу:

$$F_{\max} = Mu \cdot A_{\max} \quad (1)$$

де Mu – коефіцієнт, що називається «масою, що бере участь в ударі», його значення за результатами різних досліджень варіюється від $0.1Mc$ до $0.3Mc$ (Mc - повна маса посудини, кг);

$A_{\max}$ - максимальне значення вимірюваного апаратурою горизонтального прискорення напрямної посудини, м/с²;

$F_{\max}$ - максимально можливе контактне зусилля, що діє на провідник з боку напрямної посудини, Н.

При $Mu = 0.3 \cdot Mc$ ця формула має назву - «формула Бера».

У Німеччині, в Інституті безпеки гірських робіт з 50-х років ХХ століття активно розвиваються роботи із впровадження систематичного оперативного контролю стану армування на базі апаратних вимірів горизонтальних прискорень піднімальних посудин з використанням «кінематичного-силоразрохункового» методу для оцінки контактних навантажень на провідники по наведеній вище формулі Бера.

Незважаючи на те, що наступними дослідниками дана формула була визнана в загальному випадку не відповідної реальної дійсності, як така, що дає завищені значення контактних зусиль, простота її застосування на практиці для наближеної оцінки ступеня

динамічного навантаження провідників довгий час використовувалася фахівцями з діагностики армування шахтних стовбурів.

У Польщі в цей же час інтенсивно велися дослідження з визначення аналітичних залежностей між обмірюваними максимальними горизонтальними прискореннями крапок корпусу піднімальних посудин і контактних навантажень на провідники [5, 6]. У роботі С. Кавулока [5] для лобової площини розташування провідників пропонується наступна формула для визначення «маси, що приймає участь в ударі»:

$$Mu = \frac{1}{\frac{2 \cdot a}{H \cdot Mc} + \frac{b^2}{I_s}} \quad (2)$$

де a , b – відповідно, відстані від верхнього та нижнього поясів посудини до її центра мас, м; H – висота посудини ($H = a + b$), м; I_z – момент інерції посудини щодо центральної осі інерції, перпендикулярної лобової площини провідників, кг*м². Зазначено, що для випадку $a = b$ виходить значення $Mu = 0.25 \cdot Mc$.

У роботі Ханзела, Кавки й Плачно [6] на основі експериментальних і теоретичних досліджень запропоновані формули для визначення коефіцієнтів «маси, що приймає участь в ударі» окремо для лобової й бічної площин провідників:

- для лобової площини провідників

$$Mu_l = \frac{Mc}{1 + H^2 \cdot \frac{Mc}{4 \cdot I_l}} \quad (3)$$

- для бічної площини провідників

$$Mu_b = \frac{Mc}{1 + H^2 \cdot \frac{Mc}{4 \cdot I_b} + A^2 \cdot \frac{Mc}{4 \cdot I_v}} \quad (4)$$

де $I_l \approx I_b \approx 0.08 Mc \cdot H^2$, $I_v \approx 0.1 \cdot Mc \cdot A^2$ - для клітей;

$I_l \approx I_b \approx 0.15 Mc \cdot H^2$, $I_v \approx 0.15 \cdot Mc \cdot A^2$ - для порожніх скіпів;

$I_l \approx I_b \approx 0.11 Mc \cdot H^2$, $I_v \approx 0.11 \cdot Mc \cdot A^2$ - для повних скіпів;

A – довжина бічної стінки скіпа, м.

Використання «кінематичного-силорозрохункового» методу для оперативного апаратурного контролю динаміки системи «посудина-армування» шляхом застосування навісного комплексу датчиків для

виміру горизонтальних прискорень напрямних піднімальних посудин і портативного цифрового реєстратора з наступним аналітичним розрахунком напружень в елементах армування (провідниках і розстрілах) є найбільш перспективним і економічно доцільним для вирішення цієї задачі у промислових умовах.

В Інституті геотехнічної механіки НАН України (м. Дніпропетровськ) розроблений варіант «кінематичного-силоразрохункового» методу діагностики армування, що застосовується при експрес-випробуваннях систем «посудина-армування» вертикальних стовбурів [7,8].

Відповідно до цього методу, на основі рішення системи диференціальних рівнянь просторових коливань посудини, що рухається по парі жорстких провідників однобічного або двобічного розташування, контактні навантаження на провідники розраховуються по вимірюваних миттєвих значеннях горизонтальних прискорень напрямних піднімальної посудини (на відміну від максимальних значень прискорень на проміжку руху посудини між суміжними ярусами, використовуваним іншими дослідниками).

Контактні навантаження, що діють по кожній напрямній посудини в кінематичній парі «напрямна-провідник», визначаються у вигляді суми членів, у які входять вимірювані одночасно миттєві значення прискорень всіх напрямних посудини зі своїми ваговими коефіцієнтами, що залежать від геометричних параметрів посудини й твердості вузлів системи «посудина-армування», які можуть бути визначені з достатнім ступенем точності до проведення динамічних вимірів по технічній документації або уточнені перед тестуванням експериментальним шляхом з урахуванням фактичного стану елементів устаткування.

Природно, що оцінка точності кожного із зазначених аналітичних методів, можлива тільки шляхом постановки спеціального комплексного промислового експерименту з одночасною реєстрацією всіх миттєвих прискорень напрямних посудини й контактних навантажень на провідники. Такий експеримент є досить громіздким та дорогим. Тому доцільно проводити оцінку точності отриманих співвідношень методом математичного моделювання на відповідність результатам апробованих математичних моделей і верифіцированих комп'ютерних програмам. Одним з таких еталонів є

математична модель динаміки системи «посудина-армування» професора В.И. Дворнікова [9], реалізована програмним комплексом «Армування шахтного стовбура» («АШС») [10].

Відповідно до методу, після визначення контактних навантажень динамічні напруги в провідниках і розстрілах по всій глибині стовбура автоматично розраховуються програмним комплексом АШС, визначаються фактичні динамічні запаси міцності елементів металоконструкцій. Виміри й реєстрація прискорень повинні вироблятися високошвидкісний багатоканальною цифровою апаратурою з наступною програмною розшифровкою й обробкою результатів запису, новітнім сучасним зразком якої є мікропроцесорний програмно-апаратний комплекс ТЕХНО-МАК, розробки ІГТМ НАН України, з убудованим портативний комп'ютером.

Нижче наведені результати порівняльних розрахунків контактних зусиль по розробленому й еталонному методах для тих самих параметрів системи «посудина-армування» із двома нитками коробчастих провідників двостороннього розташування щодо скіпа одного з рудних стовбурів України.

Відповідно до рішень, представленими в роботі [8], миттєві значення лобових контактних навантажень на провідники визначаються по формулах:

$$\begin{aligned} Fv(t) &= M_{1,1} \cdot Wv(t) + M_{1,2} \cdot Wn(t) \\ Fn(t) &= M_{2,1} \cdot Wv(t) + M_{2,2} \cdot Wn(t) \end{aligned} \quad (5)$$

де $Wv(t)$, $Wn(t)$ - миттєві лобові прискорення відповідно верхній і нижній пояси посудини, де встановлені запобіжні напрямні; t – поточний час; $M_{i,j}$ – коефіцієнти, що визначаються по формулах, отриманих у роботі [11].

На відміну від рішення (5), у бічній площині провідників задача носить статично невизначений характер, тому, розрахунок по формулах [11] дає декілька кінематично можливих варіантів набору значень розподілу миттєвих контактних навантажень між всіма напрямними посудини і їхніх робочих граней. Уточнення результатів вимагає наявності додаткової вимірювальної інформації. Для однозначності розшифровки результатів розрахунку необхідно мати в масиві обмірюваних даних, одночасно зі значеннями миттєвих прискорень, дані про те, які саме напрямні і по яким робочим граням

контактували із провідниками в момент зняття показань із датчиків-акселерометрів. Якщо вимірювальна апаратура оснащена відповідними датчиками, то розрахунок миттєвих бічних контактних навантажень проводиться по наступних формулах:

$$\begin{aligned} F_{x,1} &= \sum_{i=1}^5 Mb1_i \cdot W_i & F_{x,2} &= \sum_{i=1}^5 Mb2_i \cdot W_i \\ F_{x,3} &= \sum_{i=1}^5 Mb3_i \cdot W_i & F_{x,4} &= \sum_{i=1}^5 Mb4_i \cdot W_i \end{aligned} \quad (6)$$

де $W1$, $W2$ – миттєві бічні прискорення напрямних відповідно верхнього й нижнього поясів посудини, що контактують із провідником № 1;

$W3$, $W4$ – миттєві бічні прискорення напрямних відповідно верхнього й нижнього поясів посудини, що контактують із провідником № 2;

$W5 = W_v$, $W6 = W_n$; Mb_i - коефіцієнти, обумовлені по формулах, наведеним у роботі [11].

При розрахунках коефіцієнтів ураховуються наступні параметри піднімальної посудини: моменти інерції посудини щодо центральних осей інерції; маса посудини; відстань від верхнього пояса посудини до його центра мас; відстань між верхнім і нижнім поясами посудини.

При розшифровці результатів розрахунку враховується орієнтація датчиків-акселерометрів, установлюваних для виміру миттєвих прискорень напрямних верхнього й нижнього поясів посудини залежно від обраної системи координат.

Як об'єкт для порівняльного розрахунку обрана скіпова піднімальна установка із двостороннім розташуванням жорстких провідників коробчастого типу з роликівими двох важільними амортизаторами. Програма розраховує динамічні параметри системи (миттєві контактні зусилля, лобові й бічні прискорення напрямних і т.п.) і видає в зовнішній файл із квантом за часом 0.001 сек, що відповідає дискретності даних, одержуваних мікропроцесорною вимірювальною апаратурою в стовбурі. Всі вихідні дані з розрахунку (параметри системи) у моделі (5) і в програмі «АПС» збігаються.

При проведенні тестування методів розрахунку на підставі вихідних даних програми «АПС» у кожний момент часу відомо, які саме із напрямних ковзання контактували із провідниками, тому що

програма окремо видає миттєві значення зусиль і в роликівих амортизаторах і на напрямних ковзання. Якщо контакту напрямних ковзання із провідником не має, то контактне зусилля на відповідній робочій грані прямої дорівнює нулю. Тому тестування формул (6) для бічних граней провідників по цій програмі так само є однозначним.

На рис. 1 наведені графіки миттєвих лобових контактних навантажень на провідники, розрахованих по формулах (5), і графіки миттєвих лобових навантажень, отриманих моделюючою програмою «АПС». Нерозривна крива ілюструє результати розрахунку по наближеній аналітичній моделі (5), маркіровані крапки - дані розрахунку програмою «АПС».

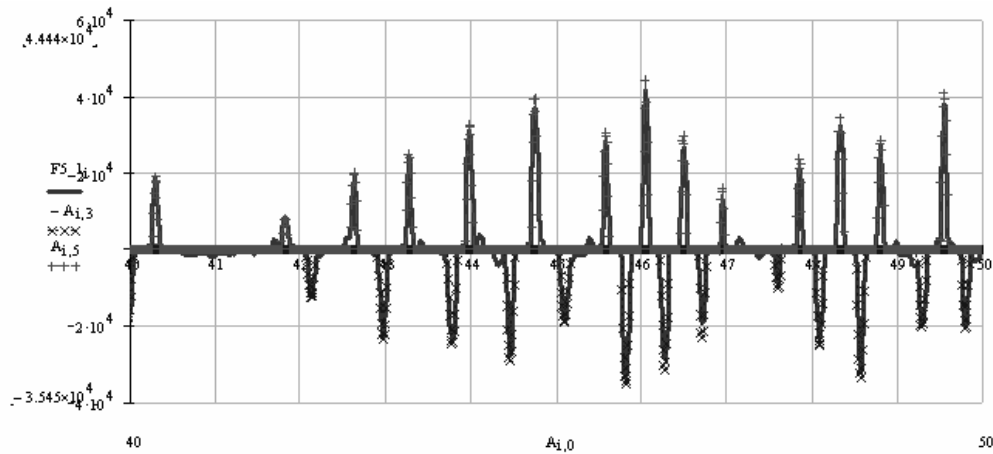
Порівняння двох графіків показує задовільний збіг отриманих результатів. Розбіжності в пікових значеннях не перевищують декількох відсотків і викликані тим, що модель (5) не враховує вплив миттєвих кінематичних зазорів, які складно й недоцільно вимірювати в промислових умовах та вплив моментів від сил натягу каната, що є малим у порівнянні з динамічними параметрами в режимі ударно-циклічної взаємодії посудини з армуванням.

Якщо апаратура має тільки датчики-акселерометри, застосування формул (6) для розрахунку бічних навантажень у задачах діагностики по обмірюваних прискореннях, вимагає більше складного підходу. У цьому випадку необхідно при програмній обробці даних вимірів перебрати всі можливі варіанти контакту напрямних, щодо кінематичної можливості у кожний момент часу виміру, та із всіх варіантів вибрати максимальні значення отриманих навантажень для кожної з напрямних ковзання. Ці значення можна прийняти в якості «оцінних зверху» для розрахунку максимальних напружень у провідниках. Вони будуть свідомо трохи більше, ніж фактичні, але ближче до реальних, ніж отримані по «одночленних» формулах (1) - (4).

Оцінка параметрів технічного стану армування при такому підході дає трохи занижені, у порівнянні з реальними значеннями, динамічні запаси міцності провідників. Це підвищує безпеку роботи підйомів при плануванні ремонтних робіт в стовбурі бо створює запас за рівнем залишкової міцності провідників в бічній площині при відбраковуванні дефектних ділянок. При цьому істотно скорочується

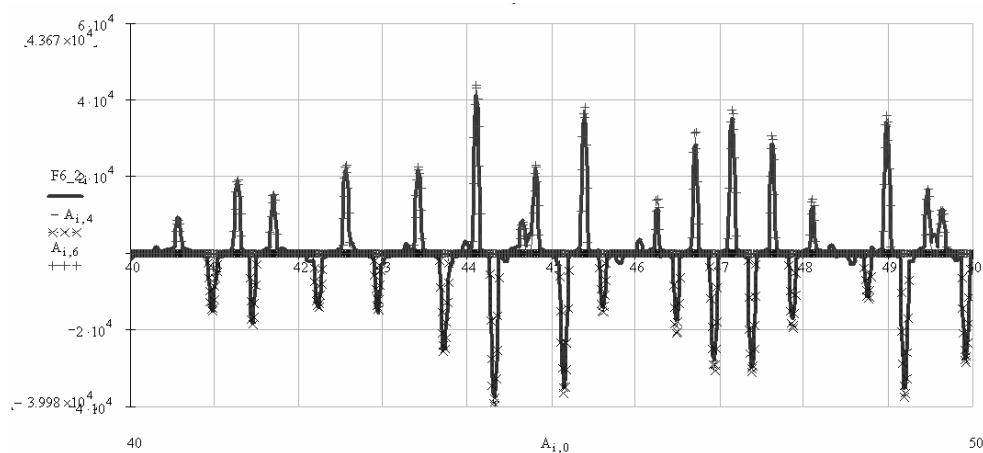
час зупинки підйому на проведення випробувань і їхня вартість у порівнянні із прямим виміром навантажень із застосуванням контактних силовимірювальних датчиків.

(верхній пояс посудини)



а)

(нижній пояс посудини)



б)

Рисунок 1 - Графіки миттєвих контактних навантажень на провідники в від 40 до 50 сек руху посудини

На оцінку напружень у розстрілах армування, що несуть головну долю навантаження, ця наближеність визначення навантажень у бічній площині практично не впливає, тому що, хоча бічні навантаження на провідники стосовно розстрілу прикладені уздовж його осі з деяким плечем, приблизно рівним половині ширини провідника, і створюють додатковий згинальний момент під провідником у перетині розстрілу, його внесок у величину повної напруги істотно менше, ніж від лобових навантажень і може не враховуватися при оцінці стану армування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вдр S. Die Beanspruchung der Einbauten von Förderschächten durch waagerechte Kräfte- //Gluckauf. –1953. –7/8. –S.28-39.
2. Вдр S. Forshritte der Fördertechnik auf dem Gebiet der Schachtförderung. -//Schldgel und Eisen. – 1958. – 9. – S. 43-58.
3. Berg G. Berechnung der am Stob zwischen Förderfaben und Schachteinbauten beteiligten Masse. Bergakademie 19 (1967) 12 8. S.725-726.
4. Hesslbart F. Beanspruchung der Schaftenbarten und des Drahtseiles bei der Schachtförderung. Dissertation an der Section Physik der Martin-Luter-Universitate, Halle, Marz. – 1973. – S.214.
5. Kawulok S. Dynamika naczinia wycagowego, przejezdzajacego wzdluz pojedynczych nierownosci na prowadnikac. Zeszyty naukowe politechniki slakiej. Ser. Gornictwo. z.80. 1977. –с.179-195.
6. Hansel J. Kawka G. Placno M. An estimation of mine conveyances guiding. /Mechanika. Wydawnictwo AGN. t.4. z. 2. Krakov 1985. pp. 115-128.
7. Ильин С.Р. Метод динамических экспресс-испытаний систем «подъемный сосуд-армирование» вертикальных стволов шахт и рудников // ИГТМ НАН Украины. Геотехническая механика. Межвед. Сб-к науч. тр. Вып. 56, Днепропетровск.- 2005, -с.149-156.
8. Ильин С.Р. Взаимосвязь силовых и кинематических параметров динамического взаимодействия подъемных сосудов с проводниками жесткой армировки шахтных стволов //Вибрации в технике и технологиях. – 1998. - №3(7). –С.82-83.
9. Дворников В.И. Кърцелин Е.Р. Теоретические основы динамики шахтного подъемного комплекса. София. 1997. –С.363.
10. Ильин С.Р. Дворников В.И. Кърцелин Е.Р. Программный комплекс “армирование шахтного ствола” // Сб. научных трудов НГА Украины. №13. т.3. Днепропетровск. –С.40-43.
11. Методика расчета контактных нагрузок при движении клетей по измеренным ускорениям башмаков./ИГТМ НАНУ. Разработал С.Р.Ильин. Утвердил зам. директора ИГТМ НАНУ В.В.Виноградов. Днепропетровск, 1996. -40С.

Одержано 28.02.2009р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗРЫВООПАСНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

При проектировании наземных резервуаров для нефтехимических продуктов вблизи стратегических, гражданских и других объектов, возникает необходимость оценки прочности элементов конструкций на внешние воздействия при чрезвычайных ситуациях. К этим ситуациям относятся землетрясения, наземные, воздушные и подземные взрывы, селевые потоки, оползни почвы и т.д.

Резервуары для хранения жидких продуктов выполняют, как правило, в вид тонкостенной сферической оболочки (сосуда), устанавливаемой на дискретных опорах колоннах, или в виде тонкостенного цилиндра вертикально расположенной на массивно бетонированной площадке. Исследуем действие на резервуар воздушных волн возникающих при взрывах или штормах и ураганах, фронт которых перемещаете перпендикулярно поверхности грунта. Ограничимся практическими случаями, при которых давление во фронте ниже избыточного давления внутри резервуара. В такой постановке колебания резервуара можем описать следующей системой уравнений начальными условиями:

$$\ddot{u} + 2\delta \dot{u} + \omega_1^2 u = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{m}_i \ddot{f}_i + \frac{F_1}{M}, \quad u(0) = \dot{u}(0) = 0; f_i(0) = \dot{f}_i(0) \quad (1)$$

$$\ddot{f}_1 + 2\tilde{V}_1 \dot{f}_1 + \omega_1^2 f_1 = -\ddot{u}$$

Здесь: u - смещение резервуара; f_i - волновые функции, представляющие собой амплитуды колебаний поверхности продукта; δ - логарифмический декремент колебаний конструкции; $\tilde{V}_k$ - коэффициент, учитывающий затухание колебаний жидкости; ω_1 - частота собственных колебаний, резервуара, определяемая по

формуле $\omega_1^2 = \frac{k_1}{M}$ для случая отвердевшего наполнителя; k_1 - коэффициент жесткости опорной конструкции;

M - полная масса системы; $\tilde{\omega}_i$ - частота собственных колебаний

продукта по i -й гармонике $\omega_1^2 = \frac{f_1\left(\frac{h}{r}\right) \cdot g}{a}$ (2); $\tilde{m}_1$ - коэффициент гидродинамической силы, определяемый соотношением

$\tilde{m}_1 = \frac{f_2\left(\frac{h}{r}\right) \cdot a^3 p}{M}$ (3). Здесь $f_1\left(\frac{h}{r}\right)$ и $f_2\left(\frac{h}{r}\right)$ (4) - функции, значения

которых определяются положением уровня жидкости: α - радиус резервуара; ψ - толщина оболочки; ρ - плотность продукта; ε - интенсивность силы тяжести.

Внешняя нагрузка при действии вышеупомянутых волн $F_1(t)$ складывается из давления на неподвижную сферическую или цилиндрическую преграду и давления излучения при поступательном давлении сосуда

$$F_1 = s_0 \cdot P_{\bullet} \cdot e^{-r} \cdot \sin^{\tau} - V_0 p_0 c_0 \cdot a^{-1} \cdot \int_0^t \ddot{u}(t - \tau) \cos^{\tau} \cdot d\tau, \quad (5)$$

где $\tau = \frac{c_0 t}{\alpha}$; $P_{\bullet}$ - давление на фронте волны; ρ_0 - плотность воздуха; c_0 - скорость звука в воздухе; s_0 - площадь поверхности сферы или боковой поверхности цилиндра; V_0 - объем резервуара. Выражение (5) соответствует действию на конструкцию единичной волны

$$P = P_{\bullet} H(t)(\tau - 1 + r \cos \theta),$$

$H(t)$ - единичная функции Хевисайда;

$$r = \frac{r_1}{a}; \quad (6)$$

Θ - полярный угол, отсчитываемый от луча, направленного навстречу фронту.

Для волны произвольного профиля выражение для нагрузки может быть получено помощью интеграла Дюамеля:

$$F_1(t) = P(0)F_H(t) + \int_0^t F_H(\tau)P'(t - \tau)d\tau, \quad (7)$$

Здесь $\Phi_n(t)$ выражение, соответствующее единичной волне при $n=1$. Рассмотрены некоторые возможные упрощения системы. Получена следующая система уравнений, описывающая колебания резервуаров при действии единичной волны;

$$\ddot{u} + \varpi_1^2 u = -\tilde{m}_1 \ddot{f}_i + \frac{S_0}{M} \cdot P_{\bullet} \cdot e^{\frac{c_0}{a} \cdot t}, \quad u(0) = \dot{u}(0) = 0; f_1(0) = \dot{f}_i(0) \quad (8)$$

$$\ddot{f}_1 + \tilde{\omega}_1^2 f_1 = \ddot{u}$$

Для решения системы воспользуемся интегральными преобразованиями Лапласа, в результате которого получаем систему алгебраических уравнений в пространстве изображений $\tilde{u}(s)$ и $\tilde{f}(s)$.

$$\left. \begin{aligned} s^2 \tilde{u}(p) + \varpi_1^2 \tilde{u}(p) &= -\tilde{m}_1 s^2 \tilde{f}(p) + \frac{\bar{F}(P)}{M}, \\ s^2 \tilde{f}(p) + \tilde{\omega}_1^2 \tilde{f}(p) &= -s^2 \tilde{u}(p) \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Решая систему (9) находим:

$$\tilde{u}(p) = \frac{s_0 c_0 P_{\bullet}}{M} \cdot \frac{s_2 + \tilde{\omega}_1^2}{\left(s_2 + 2s \cdot \frac{c_0}{a} + 2 \frac{c_0^2}{a^2} \right) \left(s^2 (1 - \tilde{m}_1) + s^2 (\omega_1^2 + \tilde{\omega}_1^2) + \omega_1^2 \tilde{\omega}_1^2 \right)}$$

$$\ddot{f}(p) = \frac{s_0 c_0 P_{\bullet}}{M} \cdot \frac{s^2}{\left(s_2 + 2s \cdot \frac{c_0}{a} + 2 \frac{c_0^2}{a^2} \right) \left(s^4 (1 - \tilde{m}) + s^2 (\omega_1^2 + \tilde{\omega}_1^2) + \omega_1^2 \tilde{\omega}_1^2 \right)}$$

Для построения оригиналов, воспользуемся теоремой разложения:

$$u(t) = \sum_{j=1}^6 \Phi_0 \cdot \frac{\Phi_2(s_j)}{\Phi_1'(s_j)} \cdot e^{s_j t};$$

$$f_1(t) = \sum_{j=1}^6 \Phi_0 \cdot \frac{\Phi_3(s_j)}{\Phi_1'(s_j)} \cdot e^{s_j t};$$

где s_j - корни знаменателя $\Phi_1(s)=0$.

$$\Phi_1(s) = \left(s^2 + \frac{2sc_0}{a} + \frac{2c_0^2}{a^2} \right) \cdot \left(s^4 (1 - \tilde{m}_1) + s^2 (\omega_1^2 + \tilde{\omega}_1^2) + \omega_1^2 \tilde{\omega}_1^2 \right)$$

$$\Phi_2(s) = s_2 + \tilde{\omega}_1^2; \quad \Phi_3(s) = s^2; \quad \Phi_0 = \frac{s_0 c_0 P_{\bullet}}{M};$$

Штрих обозначает дифференцирование по параметру s . Анализ корней знаменателя показывает, что среди них имеется два комплексно - сопряженных корня с отрицательной действительной частью и четыре мнимых корня, сопряженных попарно. Отсюда

следует, что решение системы (8) складывается из осциллирующих функций и из произведения таких функций на экспоненциально затухающие. Объединяя далее члены, содержащие син и жос одинаковыми аргументами, получим окончательные выражения для функции перемещений $y(t)$ и волновой функции $\phi_1(t)$, которые из-за громоздкости здесь не приводятся.

Нетрудно аналогично построить решение для волны произвольного профиля более простым способом, используя полученное решение при действии единичной волны с помощью интеграла Дюамеля:

$$u(t) = P(0)u_0(t) + \int_0^t u_0(t_1)P'(t-t_1)dt_1 \quad (12)$$

где $u_0(t)$ - решение для единичной волны.

Вопрос определения параметров волновых воздействий для разных случаев рассматривается ниже: (8)

$$\text{Ветровые нагрузки: } Ph = s_0 \cdot q \cdot c_x \cdot k_H \cdot \beta \quad (13)$$

Здесь: s_0 - расчетная наветренная площадь; м², g - номинальный ветровой напор кгс/м² - коэффициент увеличения ветрового напора по высоте; β динамический коэффициент, учитывающий воздействие порывов ветра.

$$q = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (14)$$

ρ - плотность воздуха заданной температуре, кг. сек² /м²;

V - максимальная скорость ветра рабочего состояния, м/сек.

$$c_x = \begin{cases} 1.2 \text{ при } qd^2 \leq 1 \text{ кгс} \\ 0.7 \text{ при } qd^2 \leq 1.5 \text{ кгс} \end{cases}$$

для цилиндрического резервуара- а для сферического резервуара $s_x=1,4$.

Для цилиндрических и сферических резервуаров критическая скорость ветра, вызывающая резонансное колебание можно определить по формуле

$$V_{kp} \approx 5D/T \quad (15)$$

где D - диаметр; T '- период собственных колебаний.

Воздействие ядерного взрыва: давление

$$P = \frac{2.5 \Delta P_\Phi^2}{\Delta P_\Phi + 7} \quad (16)$$

где

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{1,6\sqrt[3]{q_0}}{R} + \frac{4,3\sqrt[3]{q_0^2}}{R} + \frac{14q_0}{R^3};$$

q_0 - давление от величины тротилового эквивалента по ударной волне.

Для волны произвольной профили и происхождения:

$$P(t) = P(0)F_0(t) + \int_0^t F_0(\tau)P'(t-\tau) d\tau \quad (17)$$

где Φ_0 - нагрузка на резервуар при действии единичной волны.

Количественные оценки, проводимые по результатам вычислительных экспериментов на компьютерах показывают что прохождении волновых возмущений поверхности земли колебание грунта дает эффект второго порядка малости по сравнению с действием воздушной волны. Колебания резервуаров при проке взрывной или сейсмической волны в грунте будем исследовать отдельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильгамов М.А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. Изд – во КГУ. Казань 1969-246с
2. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М. Строй кт дать. 1972 -231с.
3. Гусев А.С., Светлицкий В.А. Расчет конструкций при случайных Машиностроение. 1989 - 324с.
4. Гасшюв А. Б, Реакция механических систем на нестационарные гшещис Баку, Елп, 2004- 248с.

Получено 23.02.2009г.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДКРЕПЛЕННОЙ КОЛЬЦЕВЫМИ РЕБРАМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С ЗАПОЛНИТЕЛЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНЫХ НАГРУЗОК ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ

Введение. Одна из основных причин, побуждающая конструкторов подкреплять тонкие оболочки ребрами, обусловлена необходимостью обеспечения их устойчивости под действием различного вида нагрузок, вызывающих появление сжимающих напряжений. При внезапном приложении к тонкостенным упругим системам нагрузок, вызывающих появление сжимающих усилий, превышающих статические критические значения, могут возникать движения, характеризующиеся монотонным возрастанием прогибов. При этом, как показано впервые в работе [1], наблюдаемые формы потери устойчивости не всегда совпадают с формами, соответствующими минимальным статическим критическим нагрузкам. Поэтому при решении рассматриваемых задач возникает необходимость принятия определенного критерия динамической потери устойчивости. Обычно такие критерии формулируются для неидеальных систем, имеющих начальные отклонения. Распространенные подходы к определению динамической критической нагрузки без учета влияния внешней среды достаточно подробно рассмотрены в работах [2,3,5], где приведены решения целого ряда задач такого типа.

В данной работе в рамках линейной задачи в качестве критерия динамической потери устойчивости принято аналитическое условие возможности интенсивного развития прогибов при действии ступенчатого импульса и при линейном законе убывания внезапно приложенной нагрузки. Рассмотрим замкнутая поперечно подкрепленная цилиндрическая оболочка, с заполнителем, шарнирно опертая по торцам, при действии осевых сжимающих сил и внешнего равномерного давления, которые в докритическом состоянии приводят к однородному напряженному состоянию,

характеризующемуся сжимающими напряжениями σ_x и σ_y , изменяющимися во времени по тому же закону, что и соответствующие внешние нагрузки. Предполагается, что волновым характером распространения усилий можно пренебречь.

Постановка задачи. Полная энергии для рассматриваемой цилиндрической оболочки, подкрепленной регулярной системой поперечных ребер, определяются по формулам:

$$\Pi = \Theta + A + K \quad (1)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \Theta = & \frac{Eh^3}{24(1-\nu^2)R^2} \int_0^{\xi_1} \int_0^{2\pi} \left\{ \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \xi \partial \theta} \right)^2 \right] \right\} d\xi d\theta + \\ & + \frac{h}{2ER^2} \int_0^{\xi_1} \int_0^{2\pi} \left\{ \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} \right)^2 - 2(1-\nu) \left[\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} - \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi \partial \theta} \right)^2 \right] \right\} d\xi d\theta + \\ & + \frac{1}{2R^3} \sum_{j=1}^{k_1} \int_0^{2\pi} \left[E_s I_{ys} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + w \right)^2 + G_s I_{kp.s} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \xi \partial \theta} \right)^2 \right]_{\xi=\xi_j} d\theta + \\ & + \sigma_x h \int_0^{\xi_1} \int_0^{2\pi} \left\{ \frac{1}{E} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} - \nu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \xi^2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial \xi} \right)^2 \right\} d\xi d\theta + \frac{\sigma_y h}{2} \int_0^{\xi_1} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} + w \right) w d\xi d\theta; \\ K = & \rho_0 h R^2 \int_0^{\xi_1} \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 d\xi d\theta + \rho_s F_s R \sum_{i=1}^{k_1} \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \Big|_{\xi=\xi_j} d\theta \end{aligned}$$

Здесь $\xi = \frac{x}{R}$, $\theta = \frac{y}{R}$; E_s, G_s - модуль упругости и сдвига

материала поперечных ребер; k_1 - количество поперечных ребер; σ_x - осевые сжимающие напряжения; σ_y - кольцевые сжимающие напряжения; u, v, w - компоненты вектора перемещений оболочки; ρ_0, ρ_s - плотности материалов оболочки и поперечного стержня

соответственно, $\theta_j = \frac{2\pi}{k_1} j$, h и R - толщина и радиус оболочки

соответственно; E, ν - модуль Юнга и коэффициент Пуассона

материала оболочки; $\xi_1 = \frac{L_1}{r}$, L_1 - длина оболочки, $F_s, I_{xs}, I_{kp.s}$ -

соответственно площадь и моменты инерции поперечного сечения

поперечного стержня относительно оси OZ , а также момент инерции при кручении, t – временная координата.

Влияния среды на оболочку определяется как внешних поверхностных нагрузок, приложенных к оболочке, и вычисляется как работа, совершенная этими нагрузками при переводе системы из деформированного состояния в начальное недеформированное и представляется в виде:

$$A = -R^2 \int_0^{\xi_2} \int_0^{2\pi} q_z w d\xi d\theta \quad (2)$$

Для определения q_z применяется модель Пастернака [6]. Суть этой модели заключается в том, что влияния среды на оболочку на поверхности контакта определяется зависимостью

$$q_z = (\tilde{q} + \tilde{q}_0 \nabla^2) w = K w \quad (3)$$

где ∇^2 - двумерный оператор Лапласа на поверхности контакта.

Уравнение неразрывности деформаций записывается в виде [5]:

$$\Delta \Delta \varphi = -ER \frac{\partial^2 w}{\partial \xi^2} \quad (4)$$

Прогиб оболочки при потере устойчивости ищем в виде

$$w = \sin d_m \xi [w_1(t) \cos n\theta + w_2(t) \sin n\theta] \quad (5)$$

где $w_1(t)$ и $w_2(t)$ - функции времени, подлежащие определению.

Подставляя (5) в уравнение совместности деформаций (4), и решая его, относительно φ , находим выражение для функции напряжений

$$\varphi = -\frac{\sigma_x R^2 \theta^2}{2} - \frac{\sigma_y R^2 \xi^2}{2} + E \frac{d_m^2 R}{(d_m^2 + n^2)^2} (w_1 \cos n\theta + w_2 \sin n\theta) \sin d_m \xi \quad (6)$$

Подставляя (5) и (6) в (3), (2) и (1), на основании уравнения Лагранжа второго рода [6] можно получить два независимых обыкновенных дифференциальных уравнения относительно параметров прогиба оболочки соответственно $w_1(t)$ и $w_2(t)$. Оба этих уравнения можно представить в виде

$$\frac{d^2 \bar{w}}{dt^2} + \omega_{mn}^2 \left(1 - \frac{p}{p_{mn}} - \frac{q}{q_{mn}} \right) \bar{w} = 0 \quad (7)$$

где под $\bar{w}$ понимается $w_1(t)$ или $w_2(t)$ в зависимости от того, каким из слагаемых выражения (5) аппроксимируется прогиб при потере устойчивости; ω_{mn} , p_{mn} и q_{mn} – собственная частота колебаний ненагруженной системы, параметры критических значений статических продольных напряжений и внешнего давления, соответствующие рассматриваемой форме изгиба и определяемые в уравнение относительно w_1 по формулам:

$$\begin{aligned}\omega_{mn}^2 &= \frac{E\Delta_{mn}}{(1-\nu^2)\rho_0 R^2} \cdot \frac{1}{1+2\rho_s \gamma_s \sigma_{2m}}; \quad p_{mn} = \frac{\Delta_{mn}}{d_m^2}; \quad q_{mn} = \frac{\Delta_{mn}}{n^2-1}; \\ \Delta_{mn} &= \frac{(1-\nu^2)d_m^4}{(d_m^2+n^2)^2} + a^2(d_m^2+n^2)^2 + \frac{[\tilde{q}-\tilde{q}_0(d_m^2+n^2)(1-\nu^2)R^2](1-\omega_1^2\beta_0^2)}{Eh} + \\ &+ 2\eta_{s1}^{(2)}(n^2-1)^2\sigma_{2m}; \quad q = -\frac{\sigma_y(1-\nu^2)}{E}; \quad p = -\frac{\sigma_x(1-\nu^2)}{E}; \quad a^2 = \frac{h^2}{12R^2}; \\ \sigma_{2m} &= \frac{1}{k_1+1} \sum_{j=1}^{k_1} \sin^2 \frac{2\pi n}{k_1+1} j; \quad \eta_{s1}^{(2)} = \frac{E_s(I_{xs}+h_s^2 F_s)(k_1+1)(1-\nu^2)}{EhL_1 R^2}\end{aligned}$$

Уравнение (7) определяет характер движения поперечно подкрепленной цилиндрической оболочки. При этом существенное значение имеет закон изменения напряжений в системе, т.е. закон изменения внешней нагрузки во времени.

С целью формулировки критерия динамической потери устойчивости уравнение (7), при действии только одной из рассматриваемых нагрузок, удобно записать в виде

$$\frac{d^2 \bar{w}}{dt^2} + \omega_{mn}^2 \left(1 - \frac{\sigma}{\sigma_{mn}}\right) \bar{w} = 0 \quad (8)$$

где $\sigma = \sigma(t)$ – напряжения, вызываемые заданной внешней нагрузкой, σ_{mn} – критическому значению этих напряжений при статическом нагружении, соответствующие рассматриваемой форме изгиба.

Предположим, что на оболочку действует внешняя нагрузка в виде ступенчатого импульса. В этом случае принимается, что в оболочке возникают равномерные сжимающие напряжения, равные σ_0 на интервале времени $0 \leq t \leq t_0$ и нулю вне этого интервала. Поскольку на основании анализа уравнения (8) можно заключить, что при $\sigma_0 < \sigma_{mn}$ движение системы имеет колебательный характер,

рассматривается только случай, когда $\sigma_0 > \sigma_{mn}$ и наблюдается монотонное возрастание прогибов. Задача состоит в определении такого времени t и соответствующего ему значения нагрузки, при которых становится возможным интенсивное развитие прогибов.

Введя обозначение $a_{mn} = \omega_{mn}^2 \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{mn}} - 1 \right)$, уравнение (8) можно

представить в виде

$$\frac{d^2 \bar{w}}{dt^2} - a_{mn} \bar{w} = 0 \quad (9)$$

А его решение записать в форме, удобной для формулировки критерия динамической потери устойчивости:

$$\bar{w} = C_0 \left(1 + \frac{a_{mn} t^2}{2} + \frac{a_{mn}^2 t^4}{4!} + \dots \right) \quad (10)$$

Здесь принято, что начальные условия движения системы, т.е. при $t = 0$, характеризуются начальным отклонением с амплитудой C_0 при нулевой начальной скорости.

Зависимость прогиба от времени (10) является рядом по степеням квадрата величины $t\sqrt{a_{mn}}$. Поскольку квадрат этой величины заметно возрастет, когда она достигает значения, равного единице, в качестве условия безопасного по динамической устойчивости нагружения можно принять $t\sqrt{a_{mn}} < 1$, а за условие, определяющее начало интенсивного развития прогибов, - равенство $t\sqrt{a_{mn}} = 1$. Из последнего равенства определяется критическое время действия нагрузки

$$t_{kp} = \sqrt{\frac{\sigma_{mn}}{(\sigma_0 - \sigma_{mn})\omega_{mn}^2}} \quad (11)$$

соответствующее рассматриваемой форме потери устойчивости. Сравнивая критические времена для всех тех форм выпучивания, для которых $\sigma_{mn} < \sigma_0$, и выбирая из них наименьшее, можно определить предельное время действия внезапно приложенной нагрузки заданной интенсивности.

При линейном законе убывания внезапно приложенной нагрузки изменение сжимающих напряжений в поперечно подкрепленной оболочке определяется зависимостью, $\sigma = \sigma_0 - \gamma t$, где

σ_0 – напряжения, возникающие в момент приложения нагрузки, а γ – скорость их убывания. Дифференциальное уравнение, определяющее характер движения системы, после подстановки в (8) $\sigma = \sigma_0 - \gamma t$ принимает вид

$$\frac{d^2 \bar{w}}{dt^2} - (a_{mn} - b_{mn} t) \bar{w} = 0, \quad b_{mn} = \frac{\gamma \omega_{mn}^2}{\sigma_{mn}} \quad (12)$$

Рассматриваются только те формы изгиба, для которых $\sigma_{mn} < \sigma_0$.

Полагая, что начало движения, обусловлено отклонением системы, амплитуда которого при нулевой начальной скорости равна C_0 , решение уравнения (12) можно представить в виде

$$w = C_0 \left[1 + \frac{a_{mn} t^2}{2} \left(1 - \frac{b_{mn} t}{3a_{mn}} \right) + \frac{a_{mn}^2 t^4}{4!} \left(1 - \frac{4b_{mn} t}{5a_{mn}} \right) + \dots \right] \quad (13)$$

Последующие слагаемые в квадратных скобках имеют более сложный вид и, поскольку в дальнейшем изложении не используются, здесь не приведены.

Если внезапно приложенная нагрузка постоянна ($\gamma = 0$), то $b_{mn} = 0$ и вместо (13) имеем уравнение (9), решение которого (10) рассмотрено выше, где в качестве критерия динамической потери устойчивости, определяющего начало интенсивного развития прогибов, принято $a_{mn} t^2 = 1$.

В случае $\gamma \neq 0$ по аналогии в качестве указанного критерия принимается условие, согласно которому для момента времени, когда сжимающие напряжения уменьшается до значения σ_{mn} , должно иметь место равенство

$$\frac{a_{mn} t^2}{2} \left(1 - \frac{b_{mn} t}{3a_{mn}} \right) = 1 \quad (14)$$

Из (14) и (15) следует, что с увеличением влияния жесткости заполнителя, значения критического времени и критического напряжения уменьшается.

Из условия $\sigma = \sigma_0 - \gamma t = \sigma_{mn}$ определяется время, соответствующее уменьшению сжимающих напряжений до значения σ_{mn} :

$$t = \frac{\sigma_0 - \sigma_{mn}}{\gamma} \quad (15)$$

Подставляя (15) в (14) с учетом принятых обозначений для a_{mn} и b_{mn} , находим зависимость между σ_0 и γ

$$\sigma_0 = \sigma_{mn} + \sqrt[3]{\frac{3\sigma_{mn}\gamma^2}{2\omega_{mn}^2}} \quad (16)$$

определяющую сочетание начального значения внезапно приложенной нагрузки и скорости ее падения, которое в соответствии с принятым критерием динамической потери устойчивости является границей безопасного нагружения системы. Для определения наименьших значений приведенных величин необходимо осуществить их минимизацию по параметрам волнообразования. Из (16) и (15) видно, что с увеличением жесткости заполнителя, напряжения, возникающие в момент приложения нагрузки и время, соответствующее уменьшению сжимающих напряжений до значения σ_{mn} уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амиро И.Я., Пальчевский А.С., Поляков П.С., Прядко А.А. Устойчивость ребристых цилиндрических оболочек при совместном действии осевого сжатия и кручения. Прикладная механика, 1977, 13, № 12, с. 51-57.
2. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластинок и оболочек. Москва, Наука, 1972, 432 с.
3. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа: Задачи аэроупругости. Москва, Наука, 1976, 416 с.
4. Латифов Ф.С., Исаев З.Ф. Устойчивость цилиндрические оболочки, усиленные перекрестной системой ребер заполненной средой при продольном осевом сжатии. Прожеединэс оф ИММ оф НАС оф Azerbaijan., 2007, в. XXVЫ(XXXЫВ), pp. 115-122.
5. И.Я.Амиро, В.А. Заруцкий. Теория ребристых оболочек. Методы расчета оболочек. «Наукова думка», 1980, 367с.
6. Пастернак П.Л. Основы нового метода расчета фундаментов на упругом основании при помощи двух коэффициентов постели. Москва, Стройиздат, 1954, 56 с.

Получено 24.02.2009г.

СОДЕРЖАНИЕ

СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

И.Г. Оксанич, С.В. Кашуба

Математическая модель функционирования производственного участка..... 3

О.А. Готко

Задача вибору оптимальної функціональної конфігурації систем класу егр/мгр з альтернативним забезпеченням та правила редукції вхідних даних 10

В.А. Гринкевич, Д.В. Коноводов, О.М. Кузьмина

Теоретическое обоснование и алгоритм реализации дискретного метода прямого решения краевых задач пластического деформирования 21

А.И. Песчанский

Полумарковская модель технического обслуживания монотонной системы с учётом возраста и отключением её элементов 29

С.Н. Гриша, О.С. Родичева, Е.О. Роздольский

Построение текста sql запроса из реляционного дерева запроса 42

В.Ф. Рожковский, Н.А. Куинн

Методики оценки фаз при расшифровке интерферограмм методом конечных элементов 53

А.И. Бугаенко, Б.В. Климович

Расчет скорости передвижения частиц модификатора в реакционной камере методом физического моделирования 61

К.А. Шумейко

О построении каркаса изображения 68

В.Н. Журавлёв, В.С. Кабак

Методическая и информационная адекватность гармонических методов анализа и идентификации речевых сигналов 74

В.Г. Калиманов

Поиск геометрических характеристик изображений глаза в поляризованном свете 83

Я.І. Виклюк, О. Артеменко

Оцінка ефективності рекламної кампанії туристичного підприємства з використанням нечіткого алгоритму визначення показника рекреаційної привабливості території 91

Б.І. Мороз, Л.В. Кабак, О.В. Трофімов

Методи й алгоритми оптимізації параметрів зберігання об'єктів баз даних 103

В.Р. Петренко, К.А. Куделина, А.Г. Петров

Адаптивный алгоритм обобщения частных прогнозов 111

Т.А. Бубнова, В.І. Корнієнко

Адаптивне вейвлет-нейронне прогнозування нелінійних стохастичних процесів 120

СИСТЕМНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

И.К. Косько, Г.И. Сокол, Е.В. Горбенко

К расчету частотной характеристики механической системы шасси летательного аппарата 128

В.А. Шабохин, И.Т. Перекопский

Исследование возможностей повышения энергетических характеристик солнечных батарей на космическом аппарате 137

Ю.В. Доронина

Вероятностный анализ надежности отраслевой автоматизированной системы 146

С.В. Хорошилов

Об алгоритмическом обеспечении управления ориентацией солнечных космических электростанций. Часть 1 153

А.П. Иванова

Динамика кривошипно - шатунного механизма, нагруженного переменной силой сопротивления 168

В.Г. Шевченко

О выборе рациональной схемы регулирования звена горнорабочих в аварийной ситуации 174

С.Р. Ільїн

Визначення контактних зусиль у системі «підйомна посудина – жорстке армування» шахтних стовбурів при динамічних експрес-випробуваннях 183

С.Б. Микайылов

Исследование особенности взрывоопасных сооружений в экстремальных условиях 193

Р.А. Искендеров

Устойчивость подкрепленной кольцевыми ребрами цилиндрической оболочки с заполнителем при действии различных нагрузок изменяющихся во времени 198

РЕФЕРАТЫ

УДК 519.711

Оксанич І.Г., Кашуба С.В. **Матиматична модель функціонування виробничої ділянки** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.3 - 9.

У даній статті розроблена математична модель функціонування виробничої ділянки, яка може використовуватись як основа імітаційного моделювання, що дозволить відстежувати оперативну ситуацію на виробничій ділянці і оперативно контролювати план виробництва.

Іл. 0. Бібліогр.: 3 найм.

Иотко А.А. **Задача выбора оптимальной функциональной конфигурации систем класса ERP/MRP с альтернативным обеспечением и правила редукции входных данных** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.10 - 20.

В статье рассматривается математическая модель задачи выбора оптимальной функциональной конфигурации систем класса ERP/MRP с альтернативным обеспечением и алгоритм ее сведения к известной модели с множественными замещениями на двухслойном графе с цветными дугами. Проведено анализ эффективности работы алгоритма на данных размерности 10^4 . Предложено улучшение алгоритма решения задачи выбора оптимальной функциональной конфигурации систем класса ERP/MRP с множественными замещениями, заключающееся в использовании правил редукции входных данных таких как редукция исключением элементов обеспечения, вариантов реализации и ситуационных элементов а также редукция объединением ситуационных элементов.

Вычислительный эксперимент показал высокую частоту срабатываний, и эффективность использования предложенных правил.

Полученные результаты позволяют за приемлемое время решать задачи с входными данными практической размерности 10^4 , тогда как без использования таких правил, допустимая размерность составляла 10^3 .

Библиогр.: 5 назв.

УДК 621-771

Гринкевич В.А., Коноводов Д.В., Кузьмина О.М. **Теоретичне обґрунтування та алгоритм реалізації дискретного методу прямого рішення крайових задач пластичного деформування** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.21 – 28.

Стаття містить обґрунтування метода дискретного рішення крайової задачі пластичного деформування. Запропоновано алгоритм для визначення невідомих параметрів напружено-деформованого стану безпосередньо в точці границі деформованого тіла.

Библиогр.: 5 назв.

УДК 519-873

Песчанський О.І. **Полумарківська модель технічного обслуговування монотонної системи з урахуванням віку та відключенням її елементів** // Системные технологии.

Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.29 – 41.

Побудована модель технічного обслуговування за віком елементів багатокомпонентної системи з монотонною структурою та з урахуванням їх відключення на базі напівмарківського процесу з загальним простором станів. Знайдені стаціонарні надійності та економічні характеристики функціонування системи.

Бібліогр.: 6 назв.

УДК 004.4'244

Гриша С.М., Родічева О.С., Роздольський Е.О. **Побудова тексту SQL запиту з реляційного дерева запиту** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.42 – 52.

У статті розглянуто задачу перетворення реляційного дерева в текст SQL запиту. Зроблено огляд існуючих публікацій на дану тематику. Показано що рішення описаної задачі в дослідженій множині публікацій не було знайдено. Описана необхідність рішення даної задачі в рамках технології інтелектуалізованого генерування бази даних і програмного забезпечення. Запропоновано алгоритм перетворення з використанням породжуючої трансформаційної граматики з урахуванням впорядковування реляційного дерева для зменшення кількості правил генерування. Для впорядковування показано додаткові правила канонізації реляційного дерева, які необхідно застосовувати перед перетворенням в SQL текст. Показані приклади застосування граматики до реляційних дерев і приведено порівняння декількох способів програмної реалізації алгоритму, а також опис програмної реалізації алгоритму.

Бібліогр.: 10 назв.

УДК 535.41

Рожковський В.Ф., Куїнн Н.О. **Методики оцінки фаз при розшифровці інтерферограм методом скінченних елементів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.53 – 60.

Розглядаються можливості застосування методу скінченних елементів для розшифровки голографічних інтерферограм. Запропонований триетапний алгоритм для вирішення цієї задачі. В рамках цього алгоритму розглядаються способи вирішення задачі третього етапу – етапу оцінки значень фаз.

Бібл. 2, іл. 1.

УДК 551.15.03.15.17

Бугаенко Г.І., Климович Б.В. **Розрахунок швидкості пересування часток модифікатора в реакційній камері методом фізичного моделювання** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.61 – 67.

Розрахована швидкість пересування часток імітуючих модифікатор. Виявлено існування залежності між швидкістю пересування часток і конфігурацією порожнини експериментальної моделі форми.

Бібл. 5, іл. 5.

УДК 004.932

Шумейко К.О. **Про побудову каркасу зображення** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.68 – 73.

Запропоновано метод побудови каркасу зображення на основі диференціальних властивостей полиному найкращого середньоквадратичного наближення для кожної точки зображення.

Бібл.3, іл.2.

УДК 621.055.5

Журавльов В.Н., Кобак В.С. **Методична й інформаційна адекватність гармонійних методів аналізу й ідентифікації мовних сигналів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.74 – 82.

Розглянута задача, суттю якої є аналіз спектральної математичної моделі інформаційних компонент сигналів мови. За результатами експериментальних досліджень зроблено висновок про дискретний характеру мовного та слухового процесів і поставлено під сумнів факт інформаційної адекватності методу гармонійного аналізу та синтезу мовних сигналів.

Бібл.14, іл.0.

УДК 681.3.07

Калиманов В.Г. **Пошук геометричних характеристик зображень ока в поляризованому світлі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.83 – 90.

Розглядається послідовна процедура сегментації зображень ока з метою одержання геометричних характеристик изохром першого порядку.

Бібл.6, іл.1.

УДК 004.825

Виклюк Я.И., Артеменко О. **Оценка эффективности рекламной кампании туристического предприятия с использованием нечеткого алгоритма определения показателя рекреационной привлекательности территории** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.91 – 102.

В работе предложен алгоритм оценки эффективности рекламной кампании туристического предприятия. Данный алгоритм позволяет определить оптимальные сроки проведения рекламной кампании и спрогнозировать ее влияние на финансовые результаты. Предложен метод аппликации нечеткого комплексного рекреационного потенциала для оценки эффективности рекламной кампании туристического предприятия.

Библ.8, ил.1.

УДК 658.012

Мороз Б.И., Кабак Л.В., Трофимов А.В. **Методы и алгоритмы оптимизации параметров хранения объектов баз данных** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.103 – 110.

Предлагаются методы повышения эффективности хранения объектов СУБД, с использованием вероятностно-статистического подхода. Рассматриваются вопросы

рациональной организации структуры реляционной базы данных для эффективной реализации методов. Получены методы позволяющие оптимизировать параметры хранения объектов БД, с целью экономии дискового пространства.

Библ.6, ил.0.

УДК 519.86:

Петренко В.Р., Куделіна К.О., Петров А.Г. **Адаптивний алгоритм узагальнення часткових прогнозів** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.111 – 119.

У статті запропоновано адаптивний алгоритм побудови узагальненого прогнозу по системі часткових прогнозів з метою підвищення точності прогнозування. Розглянуто поняття міри якості часткових прогнозів і експериментально показано вплив вибору даної міри на якість узагальненого прогнозу. Наведено результати застосування запропонованого алгоритму для узагальнення прогнозів числа сонячних плям Вольфа та коефіцієнта виходу придатної продукції у виробництві Cz-Si монокристалів.

Бібл. 7, іл. 4, табл. 4.

УДК 681.515:519.7

Бубнова Т.А., Корниенко В.И. **Адаптивное вейвлет-нейронное прогнозирование нелинейных стохастических процессов** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.120 – 127.

Выполнено обоснование структуры и параметров вейвлет-нейронного фильтра; исследованы зависимости ошибок аппроксимации и прогнозирования стохастических процессов от типов алгоритмов и параметров их обучения. С помощью моделирования с использованием средств пакета Matlab была выполнена оценка эффективности реализации предложенного фильтра.

Библ. 8, ил. 6.

УДК 621.01

Косько І.К., Сокол Г.І., Горбенко Є.В. **До розрахунку частотної характеристики механічної системи шасі літального апарату** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.128 – 136.

У теперішній час коливання мають особливе значення у зв'язку з бурхливим ростом можностей машин, швидкостей руху їх механізмів, забезпеченням стійкості та керуванням системою. Коливання дуже небезпечні, коли виникає похибка у роботі машин та механізмів, збільшується знос, помітно знижується надійність, виникає можливість руйнування та аварій.

У даній роботі розглянута методика, яка розроблена професором І.К. Косько, для розрахунку динамічних навантажень, які виникають при посадці літака. Вона дуже необхідна для проведення розрахунків на міцність та визначення дії пікових навантажень на літак.

Бібл. 7, іл. 3.

УДК 629.7.064.56

Шабохін В.О., Перекопський І.Т. **Дослідження можливостей підвищення енергетичних характеристик сонячних батарей на космічному апараті** // Системные

технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.137 – 145.

Досліджені можливості більш повного використання енергетичних характеристик сонячних батарей шляхом вибору оптимальних кутів установки панелей СБ на космічному апараті.

Бібл.:7, ил. 5

УДК 551.501 + 556.043

Доронина Ю.В. **Вероятностный анализ надежности структур отраслевой автоматизированной системы** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.146 – 152.

В статье рассмотрены и исследованы варианты структур отраслевой автоматизированной гидрометеорологической системы на основе анализа свойств графовых моделей этих структур. Приведены расчетные характеристики надежности (коэффициента готовности), полученные в результате численного моделирования построенных моделей на основе цепей Маркова.

Библ.4, ил.3.

УДК 624.046.3

Хорошилов С.В. **Про алгоритмічне забезпечення керування орієнтацією сонячних космічних електростанцій. Частина 1** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.153 – 167.

Позначено ряд важливих задач, які необхідно вирішувати при створенні системи керування орієнтацією сонячної космічної електростанції. Представлено методичне забезпечення для математичного опису пружних сонячних космічних електростанцій, редукції розмірності рівнянь динаміки станції, оцінки дисипативних і пружних характеристик її конструкції, що може бути основою при створенні алгоритмічного забезпечення системи керування орієнтацією електростанції.

Бібл. 12, іл. 1.

УДК 621.771

Иванова Г.П. **Динамика кривошипно – шатунного механизма, нагруженного переменной силой опоры** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.168 – 173.

Розглянуті системи, в яких моменти інерції мас і момент опору - є періодичні функції кута обертання ведучої ланки, і крім того, момент опору може залежати від кутової швидкості та прискорення. Одержані математичні залежності для визначення як названих величин, так і моменту двигуна. Як приклад розглянута динаміка вібротранспортного конвейєра.

Бібл. 5, іл. 1.

УДК [622.272.004.6:658.382.3]001.57

Шевченко В.Г. **Про вибір раціональної схеми регулювання ланки гірників в аварійній ситуації** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.174 – 182.

Визначено якісні характеристики динамічних ланок «машиніст комбайна (струга) – ланка гірників очистного вибою». Розглянуто схеми регулювання в системі «керівництво шахти - бригадир-диспетчер – ланка гірників». Виконано вибір раціональної схеми та

розрахунок оптимальних параметрів процесу регулювання роботою ланки гірників для комбайнової і стругової лав при виникненні аварійної ситуації.

Бібл. 10, іл. 3, табл. 1.

УДК 622.673.1 : 681.514.54

Ильин Р.С. **Определение контактных усилий при динамических экспресс-испытаниях системы «подъемный сосуд-жесткая армировка» шахтных стволов //** Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.183 – 192.

В статье рассмотрен вопрос определения контактных нагрузок на проводники жесткой армировки шахтных стволов при динамических экспресс-испытаниях системы «подъемный сосуд-жесткая армировка». Показано, что предложенный метод, при программной обработке данных измерений позволяет с достаточной для практики точностью определить действующие нагрузки, провести расчеты и оценку параметров технического состояния армировки.

Бібл.11, іл.1.

УДК 622. 323

Микайылов С.Б. **Дослідження особливості вибухонебезпечних споруджень в екстремальних умовах //** Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.193 – 197.

Розглядається задача про коливання вибухонебезпечного спорудження частково заповненого нафтопродуктом при проходженні випадкових хвилеподібних або імпульсних впливів і коливаннях ґрунту при надзвичайних ситуаціях.

Бібл.4, іл.0.

УДК 539.3

Искендеров Р.А. **Стойкость подкрепленной кольцевыми ребрами цилиндричной оболочки из заповнявателем при действии разных навантажений які вимірюються в часі //** Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(61). – Днепропетровск, 2009. – С.198 – 204.

Бібл.6, іл.0.

UDK 519.711

Oksanich I.G, Kashuba S.V. **The mathematical model of functioning of production area** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.3 – 9.

The mathematical model of functioning of production area is developed in this article. This model can be use as the basis of simulation model which allows to watch an operative situation on a production area, that enables operatively to control the production plan.

Fig. 0. Ref.: 3 items.

Iotko O.A. **Task of choosing the optimal functional configuration for a ERP/MRP system with alternate provisioning and reduction rules of input data** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.10 – 20.

The paper considers mathematical model for task of choosing the optimal functional configuration for a ERP/MRP system with alternate provisioning. Also the algorithm is proposed, performing reduction to known model with multiple substitutions on a two-layer colored graph. Efficiency analysis has been carried out for data sets up to 10^4 in size. Enhancements for the solution algorithm for taks of choosing the optimal functional configuration of ERP/MRP system with multiple substitutions are proposed. The enhancements consist of using rules of input data reduction such as reduction by exclusion of provisioning elements, implementation choices and situation elements, and reduction by union of situation elements.

Computational experiment revealed high frequency of response and effectiveness of the proposed rules. Acquired results allow to solve tasks with input dimensionality of 10^4 in feasible time, while solutions without the rules were suitable for tasks tasks of up to 10^3 in size.

Bibliog.: 5 titles.

UDK 621-771

Grinkevich V.A., Ringleaders D.V., Kuzmina O.M. **Theoretical rationale and algorithm realization of the method of discrete boundary-value problems of direct action by plastic deformation** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.21 – 28.

The article contains developed discrete method of the boundary task decision for plastic deformation problem. The algorithm for definition of the unknown parameters of stress - deformed conditions directly in a point of the boundary of deformed body is proposed.

Bibliog.: 5 titles.

UDK 519-873

Peschansky A.I. **The Semi-Markovian model of the maintenance for monotonous system with allowance of operating time to failure and cutting off elements** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.29 – 41.

The preventive maintenance policies for monotonous system with allowance of operating time to failure and cutting off elements is considered. The optimal reliability and economical stationary values of system functioning quality are received.

Bibliog.: 6 titles.

UDK 004.4'244

Grysha S.M., Rodicheva O.S. Rozdolsky E.O. **Building SQL query text from relational query tree** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.42 – 52.

The task of transformation of a relational tree into SQL query text is considered in the article. The review of existing publications was made on the given subjects. There was shown that a decision of the described task had not been found in the investigated set of publications. Decision necessity of the given task was described within the framework of intellectualized generating technology of a database and the software. The algorithm of transformation with use of generating transformational grammar was offered in view of ordering a relational tree for amount reduction of generating rules. Additional rules for ordering of canonization of a relational tree, which are necessary for applying before transformation into SQL text, were shown. Examples of grammar application to the relational trees were shown and a comparison of several ways of program realization of algorithm was made, and also the description of program realization of algorithm was resulted.

Bibliog.: 10 titles.

UDK 535.41

Rozhkovskiy V.F., Quinn N.O. **Methods of the phase values clarification at decoding of the interferogramms by the use of the finite elements method** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.53 – 60.

Possibilities of the application of the finite elements method are examined for decoding of the holographic interferogramms. The three-stage algorithm is offered for the solution of this task. Within the framework of this algorithm there are considered two methods for solution of task on the third stage – stage of the phase values clarification.

Bibliog.: 2 titles.

UDC 551.15.03.15.17

Bugaenko G.I., Klimovich B.V. **The calculation speed of movement particles in the modifier reactionary chamber by physical modeling** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.61 – 67.

Calculated speed of particles simulating modifier. Revealed the existence of the relationship between speed movement of particles and the configuration of the oral form experimental models.

Bibl. 5, ill. 5.

UDC 004.932

Shumeyko K.A. **About construction of framework of image** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.68 – 73.

The method of construction of framework of image on the basis of differential properties of polynomial of the best square approximation for every point of image is offered.

Bibl.3, im.2.

UDC 539.3

Zhuravlev V., Kabak V. **Methodical and informational adequacy of harmonical methods of analysis and identity speech signals** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.74 – 82.

The task, the main point of which is the analysis of spectral mathematical model adequacy for informational components of speech signal is under consideration. The experimental research presents the conclusion about the discrete character of speech-aural process and doubts the fact of full informational adequacy of harmonical analysis and synthesis of speech signals.

Bibl.14, il.0.

UDC 681.3.07

Kalymanov V.G. **Search geometrical characteristics of the eye images in polarized light** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.83 – 90.

Bibl.6, il.1.

UDC 004.825

Viklyuk J., Artemenko O. **Evaluating the effectiveness of advertising campaigns tourist enterprise using fuzzy algorithm for determining the rate recreational attractiveness of the territory** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.91 – 102.

In this paper an algorithm for estimation of the efficiency of publicity campaign for tourist enterprise is offered. The created algorithm allows to define the optimum terms for providing the publicity campaign and to forecast its influence on financial results. The application method of fuzzy complex recreation potential is offered for estimation of efficiency of tourist enterprise publicity campaign.

Bibl.8, il.1.

UDC 658.012

Moroz B.I., Kabak L.V., Trofimov A.V. **Methods and algorithms of optimization of parameters** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.103 – 110.

Methods of rise of efficiency of storage of objects of a DBMS, with usage of the is probability-statistical approach are offered. Questions of the rational organization of structure of a relational database for effective implementation of methods are considered. Methods allowing are received to optimize parameters of storage of objects of a DB, with the purpose of saving of a disk space.

Bibl.6, il.0.

UDC 519.86

Petrenko V.R., Kudelina C.O. Petrov A.G. **An Adaptive Algorithm of Particular Forecasts Combining** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.111 – 119.

The article reviews the adaptive algorithm of combined forecast construction by the particular forecasts system for the purpose of increasing forecasting accuracy. The concept of particular forecasts quality measure is reviewed and choice effect of this measure on the combined forecast quality is shown experimentally.

It provides the introduced algorithm application results for combining forecasts of Wolf sunspot numbers and yield factor of suitable product in Cz-Si monocrystals production.

Ref.: 7 items, Fig. 4. Tabl. 4.

UDC 681.515:519.7

Bubnova T.A., Kornienko V.I. **Adaptive wavelet neural prediction for nonlinear stochastic processes** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.120 – 127.

The model and parameters of wavelet neural filter are validated; dependence of the approximation error and the prediction of stochastic processes from the types of algorithms and parameters of their studies is researched. Performance evaluation of the proposed filter has been done by modelling using Matlab software package.

Ref. 8, ill. 6.

UDK 621.01

Kos'ko I.K., Sokol G.I., Gorbenko E.V. **To the calculations of frequency behavior of the mechanical system undercarriage of the aircraft** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.128 – 136.

Presently oscillations receive special significance on account of stormy growth of machines power, velocity of their mechanisms, provision of stability and dirigibility of the systems. Oscillations are extraordinarily dangerous, when errors appear in functioning of machines and mechanisms, deterioration increases, reliability falls notably, possibility of destructions and failures appears.

In this work a method is considered for the calculation of dynamic loadings, arising at airplane landing, developed by professor I.K. Kos'ko. It is utterly needed for the performing solidity calculations and defining influence of peak-loads on a pilot.

Bibliog.: 7 titles.

UDC 629.7.064.56

Shabokhin V., Perekops'kyy I. Investigation of possibilities Of increasing of solar array power performances on board a spacecraft // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.137 – 145.

Investigation of possibilities of more effective utilization of solar array power performances by choice of optimum angles of solar wings on board a spacecraft

Bibl.7, ill.5.

UDC 551.501 + 556.043

Doronina Yu.V. Probabilistic security analysis of structures of particular a branch automated systems // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.146 – 152.

In the article considered and investigational variants of structures of the of particular a branch automated hydrometeorological system on the basis of analysis of properties of counts models of these structures. The calculations descriptions of reliability (coefficient of readiness), got as a result of numeral design of the built models on the basis of chains Markov, are resulted.

Bibl.4, fig.3.

UDK 624.046.3

Khoroshilov S.V. About algorithmic maintenance for solar space power stations attitude control. Part 1 // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.153 – 167.

A series of important problems which are necessary to be solved during elaboration of attitude control system for solar space power station is marked out. Methodical maintenance for mathematical description of flexible solar space power stations, dimension reduction of station dynamic equations, estimation of damping and flexible characteristics of the structure are presented. This methodical approaches can form a basis for creation of algorithmic maintenance of attitude control system for solar space power station.

Bibl 12., ill 1.

UDC 621.771

Ivanova A.P. The speed determination hoisting crane lifting mechanism motor under the conditions of load grab from the grand // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.168 – 173.

This work investigates the main reasons which causes detail damages of hoisting crane lifting mechanism. The method for maximum permitted safe speed determination of shaft rotation in electrical lifting mechanism motor is given. The formula for determination is based on the law of energy amount conservation transformations. The calculated data for the bridge crane with the carrying capacity of 12,5 ton.

Bibl. 5, ill. 1.

UDC [622.272.004.6:658.382.3]001.57

Shevchenko V.G. **About selection the rational scheme regulation of the colliers link at emergency** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.174 – 182.

The qualitative characteristics of dynamic links «the cutter-loader (planer) operator - link of the colliers» are determined. The schemes of regulation in a system «a management of mine - foreman-manager - link of the colliers» are reviewed. The selection of rational scheme and calculation of optimum parameters of an regulation process by activity of a link of the colliers for cutter-loader and plough longwalls at emergency is made.

Bibl. 10, il. 3, tabl. 1.

UDC 22.673.1 : 681.514.54

Il'in S.R. **Determination of contact loadings of system «lifting vessel-hard reinforcement» of mine shafts during dynamic express-tests** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.183 – 192.

In the article the question of determination of the contact loadings on guides of hard reinforcement of mine shafts during express-tests of system «lifting vessel-hard reinforcement». It is shown that the method offered allows to define working efforts with programmatic treatment of measuring information with sufficient for practice exactness, make calculations and conduct the inspection of the technical state.

Bibl.11, im.1.

UDC 622.323

Mykaylov S.B. **Study of the explosive stores in extreme conditions** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.193 – 197.

The problem of fluctuations in the construction of explosive partially filled with oil passing random wavy or pulse effects and motion for emergency situations.

Bibl.4, il.0.

UDC 539.3

Iskenderov R.A. **Stability backed by ring ribs cylindrical shell with filler under the action of various loads are measured in time** // System technologies. N 2(61) - Dnipropetrovsk, 2009.- P.198 – 204.

Bibl.6, il.0.

АВТОРЫ ВЫПУСКА

Оксанич Ирина Григорьевна - к.т.н, доцент, Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления.

Кашуба Светлана Владимировна – доцент, Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления.

Іотко Олександр Анатолійович - аспірант кафедри АСОІУ ФІОТ НТУУ «КП».

Гринкевич Владимир Александрович – д.т.н., профессор кафедры ОМД, НМетАУ.

Коноводов Дмитрий Владимирович - к.т.н., доцент кафедры ОМД, НМетАУ.

Кузьмина Ольга Михайловна – к.т.н., доцент кафедры ОМД, НМетАУ.

Песчанский Алексей Иванович - к.ф.-м.н., доцент кафедры высшей математики Севастопольского национального технического университета.

Гриша Сергій Миколайович - д.т.н., професор кафедри АСОІУ, заслужений діяч науки і техніки України.

Роздольський Єгор Олегович - студент кафедри АСОІУ ФІОТ НТУУ «КП».

Родичева О.С. - кафедра АСОІУ, НТУУ «КП».

Рожковский Владимир Фаустович – к.т.н, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории неразрушающего контроля и диагностики сложных систем Днепропетровского национального университета.

Куинн Наталья Александровна - научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории неразрушающего контроля и диагностики сложных систем Днепропетровского национального университета.

Сокол Галина Ивановна - д.т.н., профессор, физико-технический факультет, кафедра технической механики, Днепропетровский национальный университет.

Горбенко Елизавета Владимировна - студентка Днепропетровского Национального Университета.

Шабохин В.А. - к.т.н. ведущий конструктор комплекса ГП «КБ «Южное».

Перекопский И.Т. - начальник сектора КБ-3 ГП «КБ «Южное».

Доронина Юлия Валентиновна – к.т.н., доцент кафедры информационных систем Севастопольского национального технического университета.

Хорошилов Сергей Викторович – к.т.н., с.н.с. института технической механики НАНУ и НКАУ.

Іванова Ганна Павлівна - к.т.н., доцент кафедри будівельної механіки Національної металургійної академії України, м. Дніпропетровськ.

Бугаенко Анна Ивановна – инженер кафедры Литейного производства Национальной металлургической академии Украины, г.Днепропетровск.

Климович Богдан Валериевич – аспирант кафедры Литейного производства Национальной металлургической академии Украины, г.Днепропетровск.

Шумейко Костянтин Олександрович - аспірант Дніпродзержинського державного технічного університету.

Шевченко В.Г. - к.т.н., докторант Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України.

Ильин Сергей Ростиславович – к.т.н. с.н.с., заведующий лабораторией проблем диагностики и испытаний оборудования шахтных подъемных комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины.

Микайылов С.Б. - аспирант, Институт Кибернетики НАНА.

Искендеров Р.А. - к.ф.-м.н., доцент, Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет.

Журавлев Владимир Николаевич - докторант кафедры информационной безопасности Физико-технического института, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Кабак Владислав Семенович - доцент кафедры радиотехники Запорожского национального технического университета.

Калиманов Владимир Григорьевич - Харьковский национальный медицинский университет, зам. начальника учебного отдела ХНМУ, соискатель кафедры РЭУ ХНУРЭ.

Виклюк Ярослав - докторант НУ «Львівська політехніка», доцент, к.ф.-м.н.

Артеменко Ольга - викладач кафедри Комп'ютерних систем і технологій Буковинського університету.

Мороз Борис Іванович - д.т.н., професор, начальник кафедри інформаційних систем і технологій академії митної служби України.

Кабак Леонід Віталійович - к.т.н., доцент кафедри інформаційних систем і технологій академії митної служби України.

Трофімов Олександр Володимирович - к.ф.-м.н., доцент кафедри транспортних систем та технологій академії митної служби України.

Петренко Василь Радіславович – д.т.н., доцент, проректор з наукової роботи, завідувач кафедри «Інформатика» Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління.

Куделіна Каріна Олександрівна – аспірант кафедри «Інформаційні технології проектування» Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління, старший викладач кафедри «Інформаційні технології проектування» КУЕІТУ.

Петров Андрій Григорович - аспірант кафедри «Інформаційні технології проектування» Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління.

Бубнова Тетяна Олександрівна - Національний гірничий університет, аспірант 3-го року навчання каф. «Електроніки та обчислювальної техніки».

Корнієнко Валерій Іванович – к.т.н., докторант каф. «Електроніки та обчислювальної техніки» Національний гірничий університет.