



УКРАЇНА

(19) UA (11) 56746 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H02P 5/46

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ РУХУ ЧОТИРИКОЛІСНОЇ КОНСТРУКЦІЇ

1

2

(21) u201008395

(22) 05.07.2010

(24) 25.01.2011

(46) 25.01.2011, Бюл.№ 2, 2011 р.

(72) ОРЛОВСЬКИЙ ІГОР АНАТОЛІЙОВИЧ, БУТ
ЮЛІЯ СЕРГІЙВНА

(73) ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб керування взаємозв'язаними електроприводами руху чотириколійної конструкції, що складається з задання керуючих сигналів на електроприводи, вимірювання їх повного вектора стану та формування керуючих сигналів на кожний електропривід, який **відрізняється** тим, що задають параметри руху центра мас конструкції (швидкість в напрямку руху, відхилення від цього напрямку, кут повороту конструкції відносно напрямку руху), подають керуючий сигнал задання швидкості в напрямку руху на електропривід першого колеса,

під дією якого створюється рушійна сила цього колеса, вимірюють ультразвуковими датчиками положення за координатами переміщення у напрямку руху та відхилення від цього напрямку для кожного колеса окремо для чотириколійної конструкції, на підставі заданих параметрів руху центра мас та виміряних координат формують для центра мас конструкції, потрібні прискорення переміщення у напрямку руху, прискорення відхилення від цього напрямку та прискорення кута повороту чотириколійної конструкції, на підставі чого формують індивідуальні керуючі сигнали задання рушійних сил електроприводам другого, третього, четвертого коліс та подають на електроприводи другого, третього, четвертого коліс чотириколійної конструкції, які з урахуванням показників датчиків кутової швидкості коліс створюють рушійні сили другого, третього, четвертого коліс чотириколійної конструкції.

Корисна модель відноситься до електротехніки і може бути використана при розробці взаємозв'язаних електроприводів руху чотирьох колійної конструкції.

До числа основних вимог, що пред'являються до вказаних електроприводів, відносяться зменшення енерговитрат електроприводу та механічного зносу коліс й рейок, що може бути забезпечено рухом чотирьох колійної конструкції без взаємодії рейок з ребордами коліс.

Відомий [1] спосіб керування багатодвигунним електроприводом, в якому основну керуючу дію формують, підсумовуючи величини, пропорційні першій та старшим похідним по часу вихідної координати еталонної моделі, що визначає закони зміни і взаємозв'язок лише вихідної координати і однієї з проміжних координат стану локального каналу, що включає n-ну частину загальної маси, де n - кількість електродвигунів. Додаткові керуючі дії формують шляхом складання величин, пропорційних першій і старшим похідним за часом від результатів порівняння вихідної і проміжної координат стану еталонної моделі, з однойменними координатами стану відповідного локального ка-

налу в припущенні, що локальні канали незалежні, причому темп формування додаткових керуючих дій встановлюється вище за темп основної керуючої дії.

Керування відбувається за однією координатою. Кількість двигунів може бути n, але не розглядається різний характер руху за трьома координатами, який залежить від швидкостей кожного колеса. Це в свою чергу призводить до взаємодії рейок з ребордами коліс, механічного зносу коліс й рейок та збільшення енерговитрат електроприводу.

За найближчий аналог вибрано спосіб керування взаємозв'язаними електроприводами [2], який полягає у формуванні протилежних по знаку основних керуючих дій для завдання рушійних моментів електроприводів в залежності від суми значень однойменних координат повних векторів стану електроприводів та від координат загальної маси й формуванні додаткової керуючої дії на кожний електропривід в залежності від повного вектора стану цього електропривода, враховуючи загальну масу нерухомою.

Однак відомий спосіб керування взаємозв'язан-

(13) U

(11) 56746

(19) UA

ними електроприводами не дозволяє забезпечити заданий рух чотирьох колісної конструкції одночасно за трьома координатами (по осям X, Y та куту φ), з заданою швидкістю, без повернень та без торкання ребордами коліс до рейок при наявності кутів перекосу коліс не рівних нулю. Це в свою чергу призводить до механічного зносу коліс й рейок та збільшення енерговитрати електроприводу.

В основу корисної моделі поставлено завдання розробки способу керування взаємозв'язаними електроприводами чотирьохколісної конструкції для підтримки заданої швидкості руху без повернень та торкання ребордами коліс до рейок, що призводить до механічного зносу коліс й рейок та зменшення енерговитрат електроприводу.

Вирішення цієї задачі досягається тим, що спосіб керування взаємозв'язаними електроприводами руху чотирьохколісної конструкції, що складається з завдання керуючих сигналів на електроприводи, вимірювання їх повного вектору стану та формування керуючих сигналів на кожний електропривод.

Причому задають параметри руху центра мас конструкції (швидкість в напрямку руху, відхилення від цього напрямку, кут повороту конструкції відносно напрямку руху), подають керуючий сигнал завдання швидкості в напрямку руху на електропривод першого колеса, під дією якого створюється рушійна сила цього колеса, вимірюють ультразвуковими датчиками положення за координатами переміщення у напрямку руху, та відхилення від цього напрямку для кожного колеса окремо для чотирьохколісної конструкції, на підставі заданих параметрів руху центра мас та вимірюваних координат формують для центра мас конструкції потрібні прискорення переміщення у напрямку руху, прискорення відхилення від цього напрямку та прискорення кута повороту чотирьохколісної конструкції на підставі чого формують індивідуальні керуючі сигнали завдання рушійних сил електроприводам другого, третього, четвертого коліс та подають на електроприводи другого, третього, четвертого коліс чотирьохколісної конструкції, які з урахуванням показників датчиків кутової швидкості коліс створюють рушійні сили другого, третього, четвертого коліс чотирьох колісної конструкції.

При подачі керуючого сигнала завдання на електропривод першого колеса і при контролі параметрів руху чотирьохколісної конструкції формуються керуючі імпульси завдання на електроприводи другого, третього, четвертого коліс, що дозволяє досягти точної відробки сигналу завдання руху, що призводить до того, що чотирьохколісної конструкції рухається без повернень та торкання ребордами коліс до рейок при наявності кутів перекосу коліс не рівних нулю. Це в свою чергу забезпечує зменшення механічного зносу коліс й рейок та енерговитрат електроприводу.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками забезпечують виявлення нових технічних властивостей - шляхом конструкційних удосконалень розробленого способу керування взаємозв'язаними електроприводами руху чотирьохколісної конструкції, який забезпечує рух чо-

тирьохколісної конструкції без взаємодії коліс з рейками із поліпшеними експлуатаційними характеристиками, тобто із зменшенням механічного зносу коліс й рейок та енерговитрат електроприводу.

Ідея корисної моделі пояснюється на Фіг.1, де зображена функціональна схема системи керування взаємозв'язаними електроприводами руху чотирьох колісної конструкції без взаємодії коліс з рейками.

На графічному зображенні прийняті наступні позначення:

$\omega^*_1, \omega^*_2, \omega^*_3, \omega^*_4$ - задане значення кутової швидкості першого, другого, третього та четвертого електродвигунів; $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ - виміряне значення кутової швидкості першого, другого, третього та четвертого електродвигунів; $\Delta\omega_1, \Delta\omega_2, \Delta\omega_3, \Delta\omega_4$ - різниця між заданим та виміряним значеннями кутової швидкості першого, другого, третього та четвертого електродвигунів; M_1, M_2, M_3, M_4 - електромагнітний момент першого, другого, третього та четвертого електродвигунів; W_1, W_2, W_3, W_4 - сили опору чотирьохколісної конструкції; U_1, U_2, U_3, U_4 - виміряні значення положення за координатою «у» переміщення у напрямку руху кожного колеса чотирьохколісної конструкції; x_1, x_2, x_3, x_4 - виміряні значення відхилення

від напрямку руху для кожного колеса; V^* та V - задане та виміряне значення швидкості центра мас чотирьохколісної конструкції в напрямку руху; φ^* та φ - задане та виміряне значення кута повороту центра мас чотирьохколісної конструкції відносно напрямку руху; x^* та x - задане та виміряне значення відхилення центра мас чотирьохколісної конструкції від напрямку руху; $\ddot{y}_{птр}, \ddot{x}_{птр}, \ddot{\varphi}_{птр}$ - потрібні прискорення для центра мас конструкції: прискорення переміщення у напрямку руху, прискорення відхилення від цього напрямку та прискорення кута повороту чотирьохколісної конструкції.

Функціональна схема на Фіг.1 містить: електропривод 1 першого колеса; електропривод 2 другого колеса; електропривод 3 третього колеса; електропривод 4 четвертого колеса; чотирьохколісну конструкцію 5 (додатково представлена на Фіг.2); блок розрахунку координат руху 6; суматори 7, 8, 9, 10; блок розрахунку ω^*_1 , який розраховує завдання кутової швидкості ω^*_1 по формулі:

$$\omega^*_1 = \frac{k_p}{R_1} V^*, \text{ де } R_1 - \text{радіус 1-го колеса, } k_p - \text{пе-}$$

редавальне число редуктора; задавач 12; блок формування потрібних прискорень координат 13; блок корекції руху 14.

До входу задавач 12 приєднано пульт керування рухом чотирьохколісної конструкції (на схемі не показано), вихід V^* з'єднано з блоком розрахунку ω^*_1 , вихід якого підключено на перший вхід суматора 7, на другий вхід суматора 7

приєднано вихід ω_1 блока розрахунку координат руху 6, вихід суматора 7 $\Delta\omega_1$ приєднано на вхід електропривод 1. Вихід M_1 електропривод 1 підключено до першого колеса чотирьохколісної конструкції 5 через редуктор (на схемі не показано), а також до входу M_1 блоку корекції руху 14.

До входів блока розрахунку координат руху 6 приєднано виходи: x_1, x_2, x_3, x_4 та y_1, y_2, y_3, y_4 чотирьохколісної конструкції 5 від ультразвукових датчиків на кожному колесі (на схемі не показано). Виходи V, φ, x блока розрахунку координат руху 6 приєднано до входів: V, φ, x блока формування потрібних прискорень координат 13. Виходи: V^*, x^*, φ^* задавача 12 приєднано також до входів: V^*, x^*, φ^* блока формування потрібних прискорень координат 13. Виходи блока формування потрібних прискорень координат 13 підключено до входів: $\ddot{y}_{ПТР}, \ddot{x}_{ПТР}, \ddot{\varphi}_{ПТР}$ блоку корекції руху 14.

Вихід ω^*_2 блоку корекції руху 14 підключено на перший вхід суматора 8, на другий вхід суматора 8 приєднано вихід ω_2 блока розрахунку координат руху 6, вихід суматора 8 $\Delta\omega_2$ приєднано на вхід електропривод 2. Вихід M_2 електропривод 2 підключено до другого колеса чотирьохколісної конструкції 5 через редуктор (на схемі не показано).

Вихід ω^*_3 блоку корекції руху 14 підключено на перший вхід суматора 9, на другий вхід суматора 9 приєднано вихід ω_3 блока розрахунку координат руху 6, вихід суматора 9 $\Delta\omega_3$ приєднано на вхід електропривод 3. Вихід M_3 електропривод 3 підключено до третього колеса чотирьохколісної конструкції 5 через редуктор (на схемі не показано).

Вихід ω^*_4 блоку корекції руху 14 підключено на перший вхід суматора 10, на другий вхід суматора 10 приєднано вихід ω_4 блока розрахунку координат руху 6, вихід суматора 10 $\Delta\omega_4$ приєднано на вхід електропривод 4. Вихід M_4 електропривод 4 підключено до четвертого колеса чотирьохколісної конструкції 5 через редуктор (на схемі не показано).

Електропривод (1-4) кожного колеса складається з асинхронного двигуна, автономного інвертора напруги з широтно-імпульсною модуляцією, системи керування інвертора, системи векторного регулювання струму, регуляторів потокозчеплення та швидкості, блоку ідентифікації параметрів, датчиків струму, напруги та швидкості, координатного перетворювача [3].

Чотирьохколісна конструкція 5 представлена на Фіг.2, де P_i - рушійна або гальмівна сила, яка розвивається i -им колесом, $i = 1, 2, 3, 4$ - номер колеса; W_i - сила опору руху i -ому колесу чотирьохколісної конструкції; β_i - кут встановленого переко-
 косу i -ого колеса; m - маса чотирьохколісної конструкції; a - половина бази чотирьохколісної конструкції; b - відстань від центру мас чотирьохколісної конструкції до коліс; l - половина ширини чотирьохколісної конструкції; α - конструктивний кут чотирьохколісної конструкції ($\alpha = \arctg(l/a)$); δ - допустиме відхилення від напрямку руху коліс до торкання ребрами рейок. Чотирьохколісна конструкція має три ступені свободи: дві поступальні та одну обертальну. Рух конструкції розглядається в нерухомій системі координат « x - y », яка прив'язана до центра мас цієї конструкції. Чотирьохколісна конструкція містить жорстку конструкцію з чотирма колесами з існуючими кутами перекоосу коліс, кожне колесо через редуктор з'єднано з електродвигуном, причому установлені датчики положення на кожному колесі;

Запропонований спосіб керування взаємопов'язаними електроприводами руху чотирьохколісної конструкції функціонує таким чином. Від пульта керування рухом чотирьохколісної конструкції подають керуючий сигнал завдання швидкості V^* центра мас чотирьохколісної конструкції в напрямку руху тільки на електропривод першого колеса, котрий створює електромагнітний момент M_1 й, отже, рушійну силу P_1 першого колеса. Вимірюють ультразвуковими датчиками положення за координатами переміщення у напрямку руху: y_1, y_2, y_3, y_4 , та відхилення від цього напрямку для кожного колеса окремо для чотирьохколісної конструкції: x_1, x_2, x_3, x_4 . Ці виміряні значення положення за координатами переміщення поступають в блок розрахунку координат руху 6, в якому розраховуються значення: швидкості V центра мас чотирьохколісної конструкції в напрямку руху, відхилення x від цього напрямку, кут повороту φ конструкції відносно напрямку руху, а також отримують значення кутових швидкостей кожного колеса: $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ з урахуванням показників датчиків кутової швидкості коліс.

На підставі заданих параметрів руху центра мас та виміряних координат: швидкість в напрямку руху, відхилення від цього напрямку, кут повороту конструкції відносно напрямку руху, формують для центра мас чотирьохколісної конструкції потрібні прискорення переміщення у напрямку руху $\ddot{y}_{ПТР}$, прискорення відхилення від цього напрямку $\ddot{x}_{ПТР}$ та прискорення кута повороту чотирьохколісної конструкції $\ddot{\varphi}_{ПТР}$ в блоці формування потрібних прискорень координат 13, які розраховуються за формулами [4]. Після розрахунку потрібних прискорень координат $\ddot{y}_{ПТР}, \ddot{x}_{ПТР}, \ddot{\varphi}_{ПТР}$ вони поступають до блоку корекції руху 14, який формує індивідуальні керуючі сигнали $\omega^*_2, \omega^*_3, \omega^*_4$ завдання рушійних сил електроприводам другого, третього, четвертого коліс за формулами [4]. Ці індивідуальні керуючі сигнали завдання ру-

шійних сил електроприводам другого, третього, четвертого коліс подають на електроприводи другого, третього, четвертого коліс чотириколісної конструкції, які з урахуванням показників датчиків кутової швидкості коліс створюють рушійні сили другого, третього, четвертого коліс P_2, P_3, P_4 , чотириколісної конструкції.

У блоці корекції руху 14 з визначенням інтервалом здійснюється розрахунок рушійних сил P_2, P_3, P_4 [4], які дозволяють оперативно корегувати сигнали завдання рушійних сил.

У якості чотириколісної конструкції розглядався мостовий кран (вантажопідйомністю 20/5 т) з наступними параметрами: $m = 47200$ кг; $J = 2,21 \cdot 10^6$ кгм²; $l = 14,25$ м; $a = 2,5$ м; $b = 14,47$ м; $\alpha = 0,38$ рад; кути встановленого перекоосу коліс: $\beta_1 = 0,009$ рад, $\beta_2 = -0,005$ рад, $\beta_3 = -0,003$ рад, $\beta_4 = 0,003$ рад. Використовуються двигуни 4A132S6Y3 з наступними параметрами: $P_{д.н} = 5,5$ кВт, $U_{снф} = 220$ В, $I_{снф} = 10,4$ А, $\omega_H = 1007$ с⁻¹, $M_H = 492$ Нм, $z = 3$, амплітуда номінального фазного потокозчеплення ротора $\Psi_{гн} = 0,889$ Вб, $k_p = 14$. На Фіг.3 показано завдання швидкості мостового крана в напрямку руху. Задавалися різні значення сил опору колесам мостового крана: $W_1 = 800$ Н, $W_2 = 640$ Н, $W_3 = 720$ Н, $W_4 = 880$

Н і радіуси коліс $R_1 = 0,385$ м, $R_2 = R_3 = R_4 = 0,35$ м. Максимальне відхилення від напрямку руху до взаємодії реборд коліс з рейками складає $\delta = 15$ мм.

На Фіг. 4 і Фіг. 5 представлені результати руху мостового крана відповідно без вантажу та з вантажем: а - швидкість центра мас мостового крана в напрямку руху; б - відхилення від напрямку руху центрів коліс від середньої лінії рейки; в - залежність відхилення коліс від переміщення в напрямку руху.

При початковому відхиленні центра мас мостового крана 0,015 м і початковому куту повороту мостового крана 0,001 рад, джерелі енергії кінцевої потужності (струми двигунів не перевищують

допустимих значень), відхилення від напрямку руху центрів коліс знаходяться в межах 0,015 м (Фіг.4,б і Фіг. 5,б), швидкість центру мас мостового крана в напрямку руху досягає заданого значення 2 м/с (Фіг.4,а і Фіг.5,а), кут повороту мостового крана складає $\varphi = 2,6 \cdot 10^{-3}$ рад, залежність відхилення коліс від переміщення в напрямку руху (Фіг.4,в і Фіг.5,в).

На Фіг.6,а зображені витрати енергії при переміщенні мостового крана на 200 метрів, де Е1 та Е2 - відповідно витрати енергії без використання запропонованої системи керування та з системою керування. На Фіг.6,б надано графік зниження витрат енергії у часі, відповідно якого економія енергії (за 150 секунд) склала 8 Вт·ч. В середньому у рік економія енергії склала 405 кВт·ч.

Використання цього способу дозволить значно зменшити механічний знос коліс й рейок при зниженні енерговитрат електроприводу.

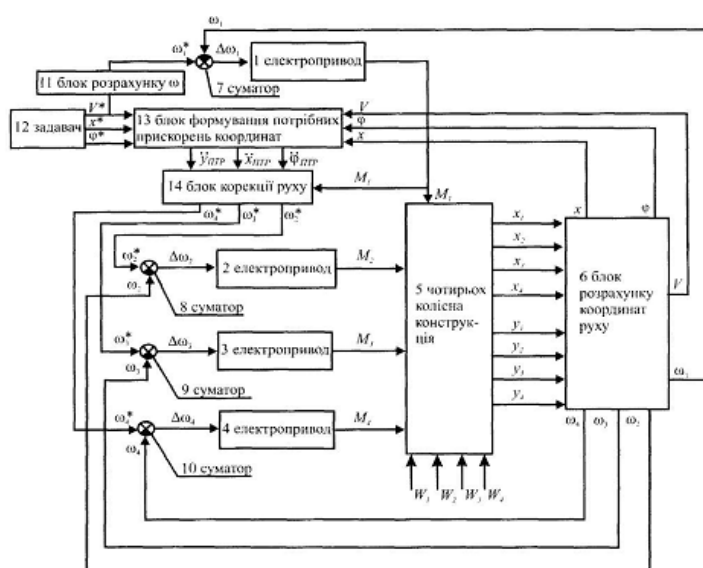
Джерела інформації:

1. Приемопередающее устройство [Текст]: пат. 2185019 Рос. Федерация: МПК⁷ Н 02 Р 5/46 / Тарарыкин С. В., Тютиков В. В.; заявитель и патентообладатель Ивановский гос. энергетич. ун-т; заявл. 06.04.01; опубл. 10.07.02.

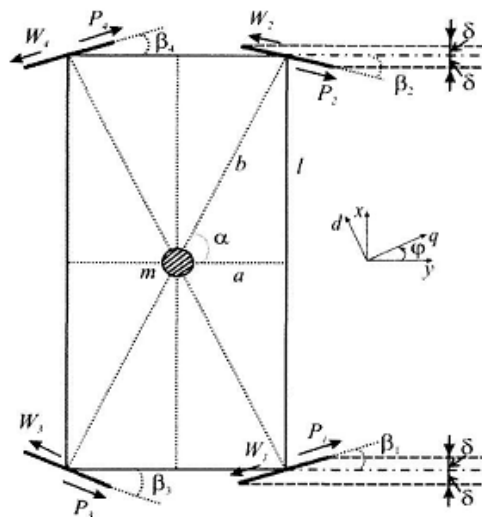
2. Приемопередающее устройство [Текст]: пат. 2316886 Рос. Федерация: МПК⁷ Н 02 Р 5/46, Н 02 Р 5/69 / Тарарыкин С. В., Иванков В. А., Тютиков В. В., Красильникьянц Е. В.; заявитель и патентообладатель Федеральное агентство по образованию Гос. образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский гос. энергетич. ун-т им. В. И. Ленина»; заявл. 27.04.06; опубл. 10.02.08, Бюл. №4.

3. Пивняк Г. Г. Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы с широтно-импульсной модуляцией [Текст] / Г. Г. Пивняк, А. В. Волков. - Днепропетровск: Национ. горный университет, 2006. - С. 270-300.

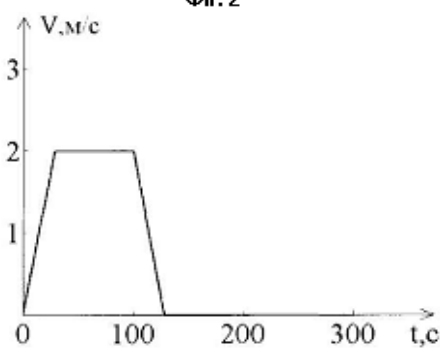
4. Орловский И. А., Управление взаимосвязанным асинхронным электроприводом мостового крана для перемещения моста без взаимодействия реборд колес с рельсами [Текст] / И. А. Орловский, Ю. С. Бут // Радиоелектроніка, інформатика, управління. - 2009. - №2 - С. 144-151.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3

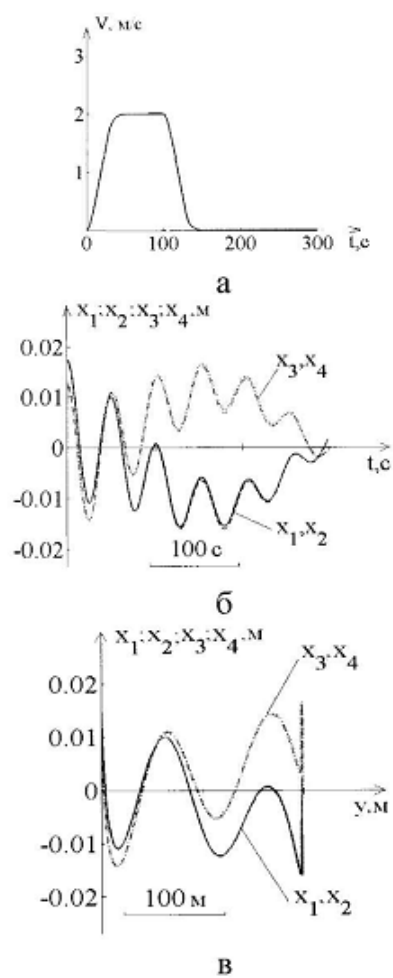


Fig. 4

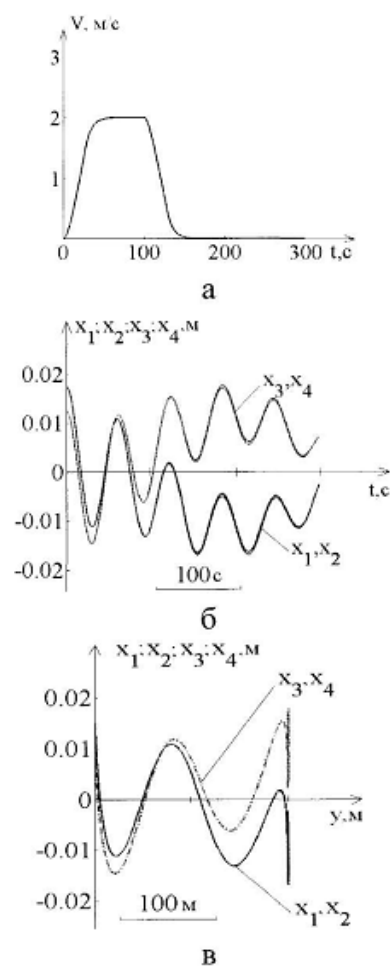
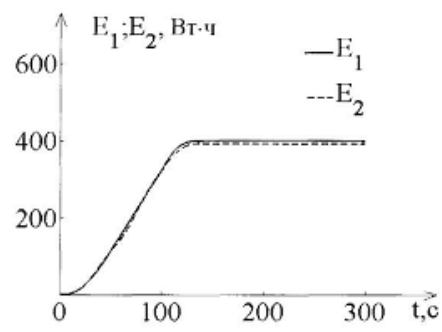
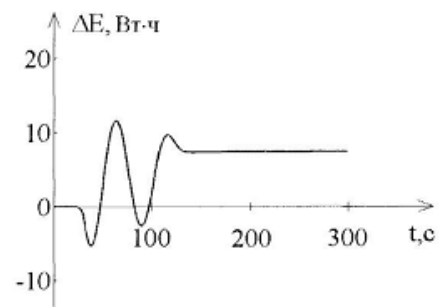


Fig. 5



а



б

Фиг. 6