УДК 622: 647.2: 681.5
DOI https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.2/14

Курганов І.Д.
Криворізький національний університет

Харламенко В.Ю.
Криворізький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВОДНОГО БАРАБАНА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

В роботі запропоновано розглянути фрикційну пару приводний барабан-стрічка, як об'єкт управління, динамічні процеси якого розглядаються в прив'язці до просторових координат.

Керування такого роду об'єктами обумовлюється технологічною необхідністю компенсації робочого ковзання стрічки на приводному барабані конвеєра, в основі якого лежить процес передачі руху за допомогою сил тертя, і реалізується шляхом зміни теплового поля на дузі обхвату за допомогою зміни натягу стрічки конвеєра або швидкості обертання барабана. Тобто вплив на об'єкт розглядається як зосереджений параметр, а вихідний параметр, розподілений у двомірному просторі.

Таким чином, з точки зору теорії керування системами з розподіленими параметрами в процесі керування тепловим полем приводного барабана та стрічки конвеєра, як керована координата виступає температура та її розподіл на дузі обхвату.

Внаслідок фізичних процесів під час керування натягом стрічки змінюється як величина джерела теплового потоку, так і величина поверхні його випромінювання, яка виступає граничними умовами для задачі з розподіленими параметрами.

Для опису системи автоматичного управління з розподіленими параметрами фрикційної пари барабана – стрічка використовується структурне моделювання системи на основі функції Гріна – імпульсної перехідної функції з вхідними та вихідними змінними часу та простору.

За аналогією із зосередженою системою, для якої подібне співвідношення пов'язує зображення входу та виходу за допомогою передавальної функції в об'єктах з розподіленими параметрами передатною функцією є зображення функції Гріна.

Таким чином, передавальна функція як для зосередженої, так і розподіленої системи є зображенням її імпульсної перехідної функції, і характеризує властивості об'єкта.

Наведена структурна модель об'єкта управління, де завдяки оператору Лапласа ураховуються динамічні процеси з розподіленням їх у просторі.

Отримані результати обчислень, які представлені у вигляді цифрового моделювання методом кінцевих елементів за допомогою програми PDE Toolbox математичного пакету MATLAB.

Ключові слова: *стрічковий конвеєр, фрикційна пара, кут робочого ковзання, теплове поле, розподілені параметри.*

Постановка проблеми. Однією з аварійних ситуацій, що найбільш часто зустрічається та призводить до зупинки конвеєрної лінії, є пробуксовування приводної станції одного з стрічкових конвеєрів тракту подачі транспортованої рудної маси. В результаті доводиться зупиняти весь конвеєрний тракт та здійснювати повторний пуск, але вже завантажених конвеєрів. У технологічній експлуатації стрічкових конвеєрів часто виникають ситуації, коли натяг конвеєрної стрічки ослаблений, що викликає збільшення опору руху стрічки. В результаті підвищуються витрати потужності, які споживаються приводною станцією конвеєра і знижується к.к.д. фрикційної пари барабан-стрічка, що збільшує стирання робочих поверхонь стрічки та футерування барабана, а в результаті їх тертя, нагрівання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням питань зміни температури займалися такі автори [1, с. 45; 2, с. 11; 4, с. 5] та ін. В основі питання, що досліджується, закладена теорія розподілу температурного поля в зоні контакту стрічки конвеєра та футерування приводного барабана.

В процесі взаємодії тіл, що труться, у тому числі в парі стрічка-барабан, поширення тепла, яке утворюється на контакті, описується диференціальним рівнянням теплопровідності Фур'є.

Рівняння теплопровідності є параболічним рівнянням, що характеризують нестаціонарні процеси температурного розподілу.

$$\frac{d\tau 1}{dt} = \zeta\left(\frac{d^2\tau 1}{dR^2} + \frac{1}{R}\cdot\frac{d\tau 1}{dR} + \frac{1}{R^2}\cdot\frac{d^2\tau 1}{d\phi^2} + \frac{d^2\tau 1}{dz^2}\right) + q(t)$$

$$\frac{d\tau 2}{dt} = \zeta\left(\frac{d^2\tau 2}{dR^2} + \frac{1}{R}\cdot\frac{d\tau 2}{dR} + \frac{1}{R^2}\cdot\frac{d^2\tau 2}{d\phi^2} + \frac{d^2\tau 2}{dz^2}\right) + q(t)$$

$$t>0;\ R1\le R\le R2;\ 0\le\varphi\le 2\pi, \qquad (1)$$

де $\tau 2$ – температура стрічки, град; $R1$, $R2$ – внутрішній та зовнішній радіуси барабана, включаючи футерування, м; $R3$ – зовнішній радіус стрічки що огинає барабан, м (див. рис. 1); $q(t)$ – джерело теплового потоку.

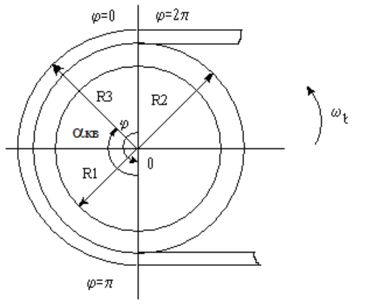


Рис. 1. Фрикційна пара барабан-стрічка конвеєр

З проведених досліджень збільшення дуги робочого ковзання $\alpha_{кв}$ на приводному барабані конвеєра призводить до зниження запасу тягової здатності, що може спричинити аварійне пробуксування [3, с. 4]. При цьому зростає температура в зоні зчеплення стрічки та барабана, яка досягає 300–350°C за 15 хвилин роботи конвеєра [2 с. 12–13]. У випадку робочого ковзання відбуваються втрати енергії, які витрачаються на подолання сил тертя, частина їх викликає зміну температури у зоні контакту барабан – стрічка.

У роботі [4, с. 3] проводилися дослідження температури тертя на контакті стрічка – барабан, методом зняття термограм. Результати показали, що температура на ковзному контакті за зміну (5 годин безперервної роботи) зростає від 79.5 до 127°C.

Постановка завдання. Автором роботи пропонується виконати структурне моделювання фрикційної пари як моделі з розподіленими параметрами для її подальшого використання у розробці оптимальної системи автоматичного управління.

Виклад основного матеріалу. При виборі керуючих впливів, що визначають режим охолодження або нагрівання робочої області фрикційної пари (дуги ковзання), необхідно дотриматися технологічних обмежень на допустиму величину температури робочої області, як вихідна величина виступає безпосередньо температурне поле $\tau 1(R, \varphi, z, t)$ або величина температури у заданій точці простору.

Процес управління будується так, щоб найкращим чином за обраним критерієм оптимальності домогтися найкращого наближення величини теплового джерела до бажаної його величини при дотриманні робочих обмежень на управління та стан об'єкта.

Управління процесом нагрівання або охолодження здійснюється шляхом зміни натягу стрічки та швидкості обертання барабана. Опишемо цю керуючу дію деякими функціями $S(t)$, $v(t)$ які розглядаються в діапазоні наступних обмежень:

$$A_1 \le S(t) \le A_2, \qquad (2)$$

$$0 \le v(t) \le v_{ст},$$

де константи $A1$ та $A2$ відповідають граничним значенням керуючої величини, Н; $v_{ст}$-паспортна швидкість руху стрічки конвеєра, м/с.

Тепер необхідно встановити зв'язок між $\tau 1(t)$ та $S(t)$ або $v(t)$ тобто визначити передатну функцію системи, входом якої є натяг стрічки $S(t)$ або швидкість обертання барабана $v(t)$, а виходом температура нагрівання $\tau\ 1(t)$ на дузі обхвату приводного барабана та стрічки конвеєра при їх фрикційній взаємодії. Як керуючу величину розглянемо тільки натяг стрічки $S(t)$. Для подальшого розгляду можливі принаймні два способи опису цієї передавальної функції. Найпростіший із них полягає в наступному. Вважається, що між входом і виходом системи є лише дві елементарні ланки: ланка запізнювання, що характеризує затримку роботи приводу натяжної станції та довжини конвеєра, і інерційна ланка, що враховує інерційність зростання температури при стрибкоподібній зміні натягу стрічки. При цьому зв'язок між $\tau 1(t)$ та $S(t)$ може бути виражений наступним рівнянням:

$$B\cdot\frac{d\tau 1}{dt} + \tau 1 = k\cdot S(t-\tau), \qquad (3)$$

де τ – час запізнення, B – постійна часу інерційної ланки, k-статичний коефіцієнт передачі. Дане рівняння дає дуже спрощену картину роботи конвеєра, так як натяг стрічки не може змінюватися стрибком, а змінюється під дією вантажу на стрічці та під дією працюючого приводу натяжної станції.

Структурно математичну модель можна показати у наступному вигляді (рис. 2). Натяг стрічки, що змінюється приводом натяжної станції, змінює тягову здатність приводного барабана, що призводить до зміни температури в зоні обхвату дуги фрикційної пари. Сигнал керування $\tau 1(t)$ та сигнал збурення $\alpha_{кв}(t)$ надходять на вхід блоку температурного поля, який представимо у вигляді функції

$$\tau 1(R, \varphi, z, t)=A(\tau 1(t), \alpha_{кв}(t))$$

де A – деякий оператор. Практично цей оператор є в загальному випадку рішенням диференціального рівняння в частинних похідних, яке описує процес теплообміну у фрикційній парі приводний барабан-стрічка. Знаходження оператора для опису динаміки процесу управління в просторових координатах і становить задачу управління.

Реалізація системи автоматичного управління з розподіленими параметрами фрикційної пари барабана – стрічка заснована на структурному моделюванні системи типовими ланками.

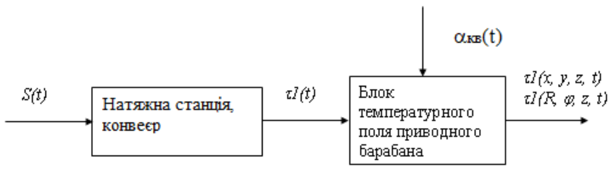


Рис. 2. Структурна схема моделі системи управління

В результаті необхідно структурно представити наступний вираз

$$\tau 1(x,t) = \int_0^t \int_{x_0}^{x_1} G(x,\xi,t-\tau) \cdot w(\xi,\tau) d\xi d\tau, \qquad (4)$$

де $G(x,\xi,t-\tau)$ функція Гріна – імпульсна перехідна функція з вхідними та вихідними змінними часу та простору, може бути виражена у вигляді типового об'єкта з розподіленими параметрами, де вхідним впливом виступає функція $w(x, t)$, а виходом $\tau 1(x, t)$, як показано на рис.3а. Аналогічне представлення ланки із зосередженими параметрами, де вхідна і вихідна величина змінюється лише у часі, показано на рис. 3б [6, с. 93]. Однак поняття розподіленого блоку передбачає залежність вхідного та вихідного сигналів ще від просторових змінних.

Для практичного застосування стандартизованої функції вхідного впливу $w(\xi,\tau)$ доцільно її подати у вигляді

$$w(\xi,\tau) = \beta(\xi) \cdot q(\tau)$$

із зосередженим впливом $q(\tau)$ та фіксованими законами $\beta(\xi)$ просторового розподілу вхідного сигналу.

Вираз (4) можна записати у такому вигляді

$$\tau 1(x,t) = \int_0^t \int_{x_0}^{x_1} G(x,\xi,t-\tau)\, \beta(\xi) \cdot q(\tau) d\xi d\tau =$$

$$= \int_0^t \left[\int_{x_0}^{x_1} G(x,\xi,t-\tau)\, \beta(\xi) d\xi \right] \cdot q(\tau) d\tau = \int_0^t S\,(x$$

де

$$S(x,t-\tau) = \int_{x_0}^{x_1} G(x,\xi,t-\tau)\, \beta(\xi) d\xi .$$

В результаті отримаємо типовий х-блок із зосередженим входом та розподіленим виходом, який представлений на рис. 4 [6, с. 93]. Як вхідна зосереджена величина виступає $q(t)$ – джерело теплового потоку, який вважаємо рівномірно розподілений по дузі робочого ковзання $\alpha_{кв}$.

Для подальших досліджень поведінки систем з розподіленими параметрами необхідно використати перетворення Лапласа по змінній часу t до вхід-вихідного співвідношення, що розглядається. Звичайні правила застосування перетворення Лапласа для функцій стану виходу $\tau 1(t)$ зосереджених систем повністю переносяться на розподілені функції стану виходу $\tau 1(x, t)$, де просторова змінна х виступає у ролі "стороннього" параметра.

Використовуючи відоме правило операційного обчислення, згідно з яким зображення L_t по змінній t згортки функцій дорівнює добутку зображень цих функцій, отримаємо, перетворюючи за Лапласом обидві частини виразу (4)

$$L_t(\tau 1(x,t)) = \tau 1'(x,p) = L_t\left[\int_0^t \int_{x_0}^{x_1} G(x,\xi,t-\tau) \cdot w(\xi,\tau) d\xi d\tau \right] = ,$$

$$= \int_{x_0}^{x_1} \left\{ L_t \left[\int_0^t G(x,\xi,t-\tau) \cdot w(\xi,\tau) d\tau \right] \right\} d\xi = \int_{x_0}^{x_1} G'(x,\xi,p) \cdot w'(\xi,p) d\xi$$

де $\tau 1'(x, p)$, $G'(x, \xi, p)$ та $w'(\xi, p)$ – відповідно зображення виходу об'єкта $\tau 1(x, t)$ функція Гріна $G(x, \xi, t)$ та стандартизуючої функції $w(\xi, \tau)$, а p – комплексна змінна перетворення Лапласа.

За аналогією із зосередженою системою, для якої подібне співвідношення пов'язує зображення входу та виходу за допомогою передавальної функції в об'єктах з розподіленими параметрами передатною функцією є зображення функції Гріна

$$W(x,\xi,p) = G'(x,\xi,p).$$

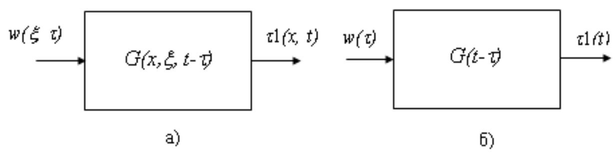


Рис. 3. Структурне представлення лінійного об'єкта управління: а – стаціонарний розподілений блок; б – стаціонарний об'єкт із зосередженими параметрами

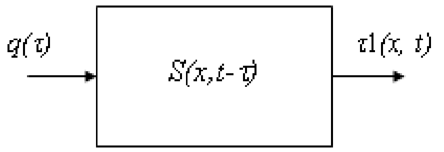


Рис. 4. Структурне представлення розподіленого x-блоку із зосередженим входом та розподіленим виходом

Таким чином, передавальна функція як для зосередженої, так і розподіленої системи є зображенням її імпульсної перехідної функції, і характеризує властивості об'єкта. Однак специфіка розподіленої системи полягає в тому, що замість звичайного добутку передавальної функції та зображення входу тут використовується операція інтегрування за просторовим аргументом входу для отримання зображення функції стану об'єкта, яка надалі має називається просторовою композицією.

В результаті для x-блоку представлення в операторній формі має такий вигляд

$$\tau 1'(x,p)=\int_{x_0}^{x_1} G'(x,\xi,p)\cdot w'(\xi,p)d\xi = v'(p)\int_{x_0}^{x_1} G'(x,\xi,p)\cdot\beta(\xi)d\xi = S'(x,p)q'(p)\,.$$

Передатна функція для x-блоку може бути представлена у такому вигляді

$$W_x(x,p)=S'(x,p)=\int_{x_0}^{x_1} G'(x,\xi,p)\cdot\beta(\xi)d\xi=\int_{x_0}^{x_1} W(x,\xi,p)\cdot\beta(\xi)d\xi\,.$$

В результаті зображення вихідної величини $\tau 1'(x,\ p)$ x-блоку представляється для кожного фіксованого значення просторової координати x у вигляді добутку

$$\tau 1'(x,p)=W_x(x,p)\cdot q'(p)$$

передавальної функції та зображення вхідного впливу, за аналогією із зосередженими системами.

Таким чином, представлено математичний опис та його структурне подання для одномірних об'єктів з розподіленими параметрами. Досліджуваний об'єкт описується багатовимірною математичною моделлю, де задіяні три просторові змінні і одна змінна часу. При обґрунтуванні цифрового моделювання об'єкта було встановлено, що для отримання теплової картини фрикційної пари приводної барабана – стрічка конвеєра достатньо використовувати двомірний простір.

Реалізувати рішення поставленої задачі необхідно через структурне моделювання на основі типових ланок об'єктів з розподіленими параметрами, як і в об'єктах із зосередженими параметрами. Формуємо математичну модель у двомірному просторі через її одновимірне уявлення. У цьому випадку структурне представлення моделі виражається за допомогою паралельного з'єднання типових ланок, які містять у своєму описі одну просторову змінну.

Нехай нам відомі передатні функції $W_1(x_1,\xi,p)$ та $W_2(x_2,\xi,p)$ двох розподілених блоків, вихідні сигнали яких ,$\tau 1_1'(x,\ p)$ та $\tau 1_2'(x,\ p)$ визначені на просторових областях $D_1 \in x_1$ та $D_2 \in x_2$. При паралельному з'єднанні цих двох блоків із загальним входом $w'(\xi,\ p)$ їх вихідні сигнали складаються в кожній точці $x \in D$ просторової області D, на якій визначена ця сума $\tau 1'(x,\ p)$, що розглядається як вихід цього з'єднання , і отже, $D = D_1 \cap D_2$ є перетином D_1 та D_2.

В результаті якщо $D_1 = D_2$ то $D = D_1 = D_2$ і можна уявити що $x = x_1 = x_2$, а вихідний сигнал дорівнює

$$\tau 1'(x,p)=\tau 1_1'(x_1,p)+\tau 1_2'(x_2,p)=\int_{x_0}^{x_1} G_1'(x_1,\xi,p)\cdot w'(\xi,p)d\xi+\int_{x_0}^{x_1} G_2'(x_2,\xi,p)\cdot w'(\xi,p)d\xi=$$
$$=\int_{x_0}^{x_1}\left[G_1'(x_1,\xi,p)+G_2'(x_2,\xi,p)\right]\cdot w'(\xi,p)d\xi=\left[G_1'(x_1,\xi,p)+G_2'(x_2,\xi,p)\right]\otimes w'(\xi,p)=$$
$$=\left[W_1(x_1,\xi,p)+W_2(x_2,\xi,p)\right]\otimes w'(\xi,p)=W(x,\xi,p)\otimes w'(\xi,p)$$

де

$$W(x,\xi,p)=W_1(x_1,\xi,p)+W_2(x_2,\xi,p)\,;$$

$$x_1 \in D_1;\ x_2 \in D_2;\ x=(x_1,x_2),\ x \in D = D_1 \cap D_2.$$

Таким чином, реакція системи з розподіленими параметрами на вхідний вплив виражається добутком у вигляді просторової композиції

$$\tau 1'(x,\xi,p)=W(x,\xi,p)\otimes w'(\xi,p)\,.$$

Така сама методика використовується для подання багатовимірних областей через типові блоки, що описують одновимірні об'єкти.

Рівняння теплопровідності, яким описується об'єкт, що досліджується (1) представлено в наступному вигляді

$$\frac{d\tau 1(x,y,t)}{dt}=\zeta\left(\frac{d^2\tau 1(x,y,t)}{dx^2}+\frac{d^2\tau 1(x,y,t)}{dy^2}\right),$$

з нульовими початковими та граничними умовами. На основі вищевикладеної методики теплове поле $\tau 1(x,\ y,\ t)$ представляємо у вигляді суми

$$\tau 1(x,y,t)=\tau 1_1(x,t)+\tau 1_2(y,t)$$

одновимірних температурних полів $\tau 1_1(x,\ t)$ і $\tau 1_2(y,\ t)$.

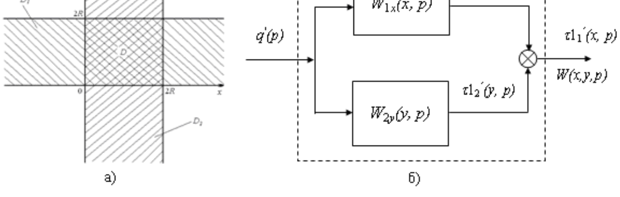


Рис. 5. Структурне представлення двовимірного температурного поля

В результаті рівняння, що описує двовимірну область, перетворюється на систему одновимірних рівнянь з початковими та граничними умовами по кожній координаті окремо.

У такому випадку об'єкт при керуванні внутрішнім джерелом теплового потоку $q(t)$ можна розглядати як паралельне з'єднання розподілених x-блоків із загальним зосередженим входом q(t) та передатними функціями $W_{1x}(x, \text{I})$ и $W_{2y}(y, p)$.

$$\begin{cases} \dfrac{d\tau 1(x,t)}{dt} = \zeta\left(\dfrac{d^2\tau 1(x,t)}{dx^2}\right) \\ \dfrac{d\tau 1(y,t)}{dt} = \zeta\left(\dfrac{d^2\tau 1(y,t)}{dy^2}\right) \end{cases}$$

Передатна функція $W(x,y,p)$ визначається тепер сумою

$$W(x,y,p) = W_{1x}(x,p) + W_{2y}(y,p)\ .$$

$$x \in D_1;\ y \in D_2;\ D = D_1 \cap D_2$$

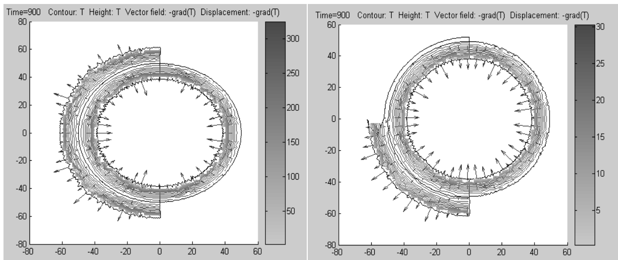
де області D_1 та D_2 являють собою одновимірні області, що становлять єдину двомірну область D, як представлено на рис. 5а.

Структурне представлення двомірної моделі з розподіленими параметрами на основі паралельного з'єднання типових одновимірних блоків показано на рис. 5б.

Таким чином, модель, яка відображає динамічні властивості об'єкта, що досліджується, представлена у вигляді паралельного з'єднання типових блоків з передатними функціями $W_{1x}(x, p)$ и $W_{2y}(y, p)$. Кожен із блоків представляється паралельним з'єднанням однієї інтегруючої ланки та нескінченного числа аперіодичних ланок при аналітичному методі вирішення задачі з розподіленими параметрами [6, с. 94].

На цьому етапі розглянуто тільки структурне моделювання розподілу температурного поля на приводному барабані. Для структурного моделювання фрикційної пари приводного барабана – стрічка конвеєра (1) необхідно також виконати структурний опис теплового поля стрічки.

Так як температурний розподіл фрикційної пари описується системою двох однотипних рівнянь теплопровідності, які відрізняються тільки початковими та граничними умовами, структурна модель температурного поля стрічки конвеєра на приводному барабані аналогічна моделі приводного барабана (див. рис. 5б). В результаті структурна модель фрикційної пари приводний барабан – стрічка конвеєра має один вхідний вплив та два виходи. Як вхідний вплив виступає внутрішнє джерело теплового потоку. Вихідними сигналами системи прийняті температурні поля приводного барабана $\tau 1(x, y, t)$ та аналогічно для стрічки конвеєра $\tau 2(x, y, t)$, яка взаємодіє з приводним барабаном на дузі обхвату. Значення температур, одержуваних на виходах системи, відобразимо у вигляді теплового поля, яке для аварійного режиму роботи приводу конвеєра представлене на рис.6а. Розподіл температури на фрикційній парі приводний барабан – стрічка при сталому режимі роботи конвеєра показано на рис. 6б.



а) б)

Рис. 6. Розподіл температури у двомірній просторовій площині: а) при аварійному пробуксуванні; б) при встановленому режимі роботи конвеєра за його максимальної тягової здатності

Висновки. В результаті отримано структурну схему моделі з розподіленими параметрами, на основі якої визначається розподіл теплового поля фрикційної пари барабан-стрічка конвеєра. Отриманий результат дозволяє сформувати величину завдання для виконання поточного управління натягом стрічки чи швидкістю її руху, залежно від контрольованої температури у зоні фрикційного взаємодії, а точніше від швидкості її зростання. Результати обчислень представлені у вигляді цифрового моделювання методом кінцевих елементів за допомогою програми PDE Toolbox математичного пакету MATLAB.

Список літератури:

1. Błażej R, Sawicki M, Konieczna M, Kozłowski T, Kirjanów A. Automatic analysis of themrograms as a means for estimating technical of a gear system, Diagnostyka. 2016;17(2):43-48

2. Dabek, P.; Szrek, J.; Zimroz, R.; Wodecki, J. An Automatic Procedure for Overheated Idler Detection in Belt Conveyors Using Fusion of Infrared and RGB Images Acquired during UGV Robot Inspection. Energies 2022, 15, 601. https://doi.org/10.3390/en15020601

3. Hrabovský, L.; Neniˇcka, P.; Fries, J. Laboratory Machine Verification of Force Transmission Provided by Friction Acting on the Drive Drum of a Conveyor Belt. Machines. 2023. 11. Pp 1-19. https:// doi.org/10.3390/machines11050544

4. Siami, M.; Barszcz, T.; Wodecki, J.; Zimroz, R. Automated Identification of Overheated Belt Conveyor Idlers in Thermal Images with Complex Backgrounds Using Binary Classification with CNN. Sensors 2022. 22, 10004. https:// doi.org/10.3390/s222410004

5. Szurgacz, D.; Zhironkin, S.; Vöth, S.; Pokorný, J.; Spearing, A.J.S.; Cehlár, M.; Stempniak, M.; Sobik, L. Thermal Imaging Study to Determine the Operational Condition of a Conveyor Belt Drive System Structure. Energies 2021. 14, P. 163-180. https://doi.org/10.3390/en14113258

6. Кірстен A. Moppic Controller Design for Distributed Parameter Systems. Springer Cham. 2020. P. 287. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34949-3

Kurganov I.D., Kharlamenko V.Yu. MODELING OF THE DRIVE DRUM OF A BELT CONVEYOR AS A CONTROL OBJECT OF A SYSTEM WITH DISTRIBUTED PARAMETERS

The paper proposes to consider the friction pair of the drive drum-belt as a control object, the dynamic processes of which are considered in relation to spatial coordinates.

Control of such objects is determined by the technological necessity of compensating for the working slip of the belt on the drive drum of the conveyor, which is based on the process of transmitting motion using friction forces, and is implemented by changing the thermal field on the arc of the girth by changing the tension of the conveyor belt or the speed of rotation of the drum. That is, the impact on the object is considered as a concentrated parameter, and the output parameter is distributed in two-dimensional space.

Thus, from the point of view of the theory of control of systems with distributed parameters in the process of controlling the thermal field of the drive drum and the conveyor belt, the temperature and its distribution on the arc of the circumference act as the controlled coordinate.

As a result of physical processes during belt tension control, both the magnitude of the heat flux source and the magnitude of its radiation surface change, which act as boundary conditions for the problem with distributed parameters.

To describe the automatic control system with distributed parameters of the friction pair of the drum – tape, structural modeling of the system based on the Green's function is used – an impulse transition function with input and output variables of time and space.

By analogy with a lumped system, for which a similar relation connects the input and output images using a transfer function, in objects with distributed parameters the transfer function is the image of the Green's function.

Thus, the transfer function for both a centralized and distributed system is a representation of its impulse transition function and characterizes the properties of the object.

A structural model of the control object is presented, where dynamic processes with their distribution in space are taken into account thanks to the Laplace operator.

The results of the calculations are obtained, which are presented in the form of digital modeling by the finite element method using the PDE Toolbox program of the MATLAB mathematical package.

Key words: *belt conveyor, friction pair, working slip angle, thermal field, distribted parameters.*