

УДК 622.3.002.5

В.М. Ставицький (канд. техн. наук, доцент)
ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”, м.Донецьк
кафедра «Гірнична електротехніка і автоматика ім.Р.М.Лейбова»
E-mail: dis_stv@ukr.net

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗГАЛУЖЕНОЇ КОНВЕЄРНОЇ ЛІНІЇ

Представлено математичну модель системи конвеєрного транспорту, що включає в себе магістральний і дільничний конвеєри, а також акумулюючі бункери. Обґрунтовано раціональний алгоритм керування конвеєрною лінією.

Ключові слова: конвеєр, бункер, транспортна затримка, автоматизація, математична модель, пристрій керування

Проблема та її зв'язок з науковими задачами

Безперебійна робота конвеєрного транспорту, що характеризується значною довжиною і розгалуженістю, змінною довжиною і топологією в сполученні з безліччю збурюючих зовнішніх факторів передбачає здійснення безупинного контролю ряду технологічних параметрів. Засоби автоматизації, що випускаються серійно, не дозволяють вирішити весь комплекс задач щодо керування конвеєрним транспортом. Зокрема, практично відсутні технічні рішення, спрямовані на забезпечення стабільності вихідного вантажопотоку транспортної системи, які б дозволили нормалізувати навантаження на привод кожного конвеєра і підвищити довговічність конвеєрної стрічки. Цим обумовлена актуальність досліджень з удосконалювання систем контролю і керування транспортними процесами вуглевидобувного підприємства.

Аналіз досліджень і публікацій

Дослідженням і розробці засобів автоматизації конвеєрного транспорту присвячені роботи М.І.Стадника [2], О.О.Гливанського [3], Л.Г.Шахмейстера [4], С.О.Каримана [5], В.Т.Полуніна [6], В.В.Дмитрієвої [7], Н.В.Смирнової [8] та ін. Основні розв'язувані задачі зводяться до наступного:

1. Застосування засобів регулювання швидкості в складі привода стрічкового конвеєра, що забезпечують адаптацію конвеєра під умови вантажопотоку, що змінюється, (частотно-регульований електропривод, регульовані муфти, каскадні схеми керування двигунами з фазним ротором).

2. Застосування засобів регулювання вантажопотоку за рахунок використання накопичувальних систем (проміжні бункери, конвеєри).

3. Застосування систем автоматизації процесів гірничого підприємства (АСУТП), що забезпечують координоване керування окремими технологічними ланками відповідно до обраних критеріїв (енергоефективність, безперебійність і т.п.).

Обґрунтування напрямку досліджень

Підземна транспортна система містить у собі ряд компонентів, що взаємодіють між собою: магістральні, дільничні конвеєри, акумулюючі бункери. Для забезпечення ефективного керування даним технологічним комплексом необхідно дослідити умови і режими його роботи. Найбільш ефективним методом дослідження є математичне моделювання.

Мета досліджень

Мета проведених досліджень - підвищення ефективності і надійності системи підземного транспорту за рахунок обґрунтування раціонального алгоритму керування із

застосуванням методів математичного моделювання. Задача, розв'язувана в даній роботі, полягає в розробці математичної моделі розгалуженої конвеєрної лінії, що включає в себе магістральний конвеєр з декількома накопичувальними бункерами в місцях надходження корисної копалини з дільничних конвеєрів.

Методи і результати досліджень

Транспортний комплекс, що розглядається в якості об'єкту дослідження, являє собою систему взаємозалежних компонентів, яка складається з магістрального стрічкового конвеєра з двома пунктами навантаження, двох дільничних стрічкових конвеєрів і двох акумулюючих бункерів (рис.1). Пункти навантаження гірничої маси з дільничних конвеєрів розташовані на різних відстанях від початку магістрального конвеєра.

Задача розглянутого транспортного комплексу – забезпечити можливість безупинного прийому декількох (у даному випадку - двох) вхідних потоків гірничої маси з наступною їхньою передачею на транспортну магістраль. При цьому бункери забезпечують згладжування нерівномірності вхідних вантажопотоків.

Ефективна робота даної системи припускає безупинний контроль і керування станом усіх її елементів, тобто можлива тільки в автоматизованому (автоматичному) режимі. Ступінь ефективності того чи іншого алгоритму керування транспортним комплексом залежить від обраних критеріїв і може бути встановлений на основі моделювання процесів у досліджуваній системі.

Застосовуваний у даній час і реалізований в апаратурі АУК алгоритм автоматизованого керування припускає послідовний запуск у зворотному порядку всієї або частини конвеєрної лінії, контроль швидкості та аварійних станів конвеєрів, що входять до її складу, а також оперативне або аварійне відключення лінії або її частини. Даний алгоритм дозволяє забезпечити безперервність транспортування гірничої маси за умови відсутності аварійних ситуацій. У той же час застосовуваний алгоритм керування не контролює ступінь завантаження конвеєрів, у зв'язку з чим через нерівномірність вантажопотоків, що надходять, лінія може бути в значній мірі перевантажена, або, навпаки, працювати з істотним недовантаженням. Це, у свою чергу, негативно позначається на енергоефективності і надійності конвеєрного транспорту.

Зазначений недолік може бути усунутий за рахунок використання можливостей акумулюючих бункерів. Перша можливість складається в накопиченні гірничої маси, що надходить з дільничних конвеєрів. Дана властивість активно використовується в сучасних транспортних системах. Друга можливість полягає в дозованій подачі вантажу на магістральний конвеєр, що відкриває шляхи для керування навантаженням, тобто для вирішення сформульованої вище задачі. Зазначена можливість в існуючих автоматизованих конвеєрних лініях практично не реалізується, чим і пояснюється їхня недостатня ефективність. Пропонується удосконалити існуючий алгоритм керування, доповнивши його функцією регулювання подачі гірничої маси на магістральний конвеєр.

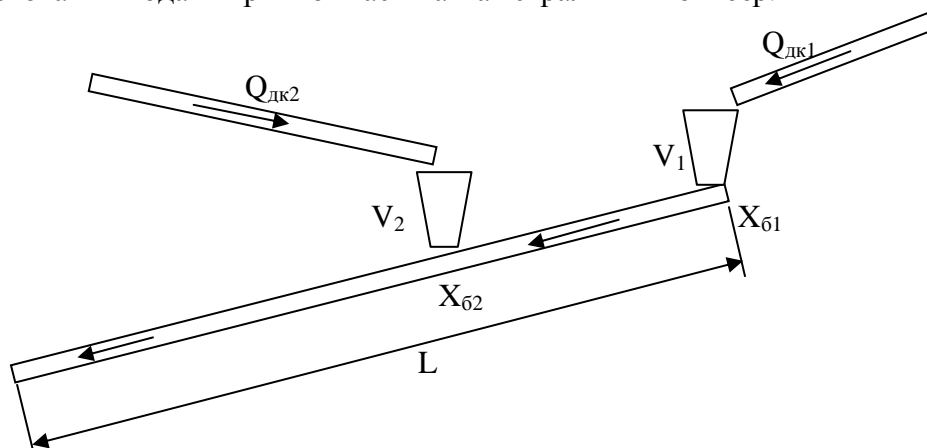


Рисунок 1 - Технологічна схема розгалуженої конвеєрної лінії

Для обґрунтування вищезгаданого алгоритму і оцінки його ефективності розроблена математична модель розгалуженої конвеєрної лінії. Основою моделі послужила схема, представлена на рис.1.

Математична модель досліджуваної розгалуженої конвеєрної лінії являє собою сукупність взаємозалежних моделей окремих її компонентів: магістрального конвеєра (МК), дільничних конвеєрів (ДК), накопичувальних бункерів (НБ), а також керуючого пристрою (ПК). При цьому в процесі складання зазначених моделей були використані наступні обмеження і припущення:

1. Швидкість конвеєра задається пристроєм керування і може приймати одне з двох фіксованих значень: номінальне і нульове.

2. Стрічка конвеєра розглядається як ідеально жорсткий елемент. Швидкість руху стрічки, а відповідно, і вантажу, що знаходиться на ній, однакова по всій її довжині.

3. Передбачається, що бункер має форму прямокутного паралелепіпеда. Заповнення і спорожнення бункера відбуваються рівномірно по всій площі перетину.

4. Інтенсивність заповнення бункера визначається співвідношенням між вантажопотоком, що надходить у бункер, і вантажопотоком на виході бункера.

5. Вантажопотік на виході бункера залежить від ступеня відкриття шиберу (або швидкості живильника), що задається пристроєм керування і може приймати одне з трьох дискретних значень: максимальне, проміжне, нульове.

6. Модель дільничного конвеєра являє собою часову залежність вихідного вантажопотоку, що при сталості швидкості стрічки цілком відповідає вхідному вантажопотоку, відтермінованому на інтервал транспортної затримки.

7. Вхідний вантажопотік дільничного конвеєра визначається технологією роботи очисного комбайна і може бути виражений функціональною часовою залежністю, що містить випадкову складову, обумовлену стохастичним характером міцності вугільного масиву, що руйнується, і періодичну складову, обумовлену технологічними паузами в роботі комбайна.

Модель магістрального конвеєра

Інтенсивність вантажопотоку, що сходять зі стрічки конвеєра, при наявності одного пункту навантаження з НБ [9]:

$$Q_{\text{МК}}(t) = \frac{v(t)}{v(t-T)} \cdot Q_6[t-T]. \quad (1)$$

При двох або більше пунктах навантаження гірничої маси, розташованих у різних місцях (рис.2):

- складова вихідного вантажопотоку конвеєра, обумовлена і-им пунктом навантаження (знаходиться на відстані X_i від початку конвеєра):

$$Q_{\text{МК},i}(t) = \frac{v(t)}{v(t-T_i)} \cdot Q_{6,i}[t-T_i]. \quad (2)$$

- сумарний вихідний вантажопотік конвеєра:

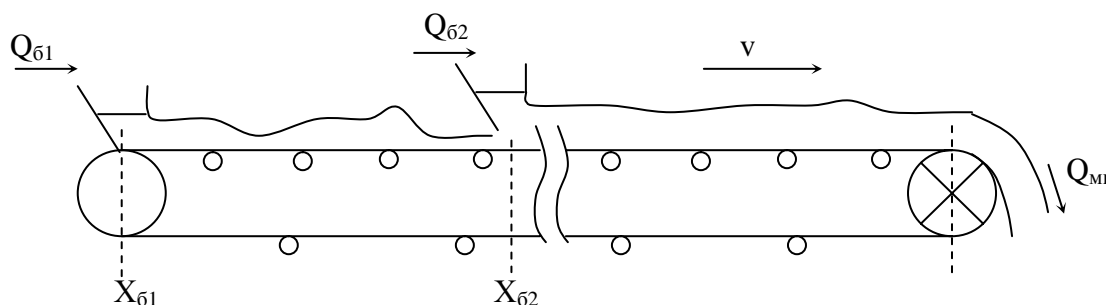


Рисунок 2 – Магістральний стрічковий конвеєр с двома пунктами навантаження

$$Q_{\text{МК}}(t) = \sum_i Q_{\text{МК},i}(t) = \sum_i \left(\frac{v(t)}{v(t-T_i)} \cdot Q_{\text{вх},i}(t-T_i) \right). \quad (3)$$

Вхідні вантажопотоки $Q_{\text{вх},i}$ формуються відповідними НБ.

Сумарна маса вантажу на стрічці:

$$\frac{dm_{\text{МК}}}{dt} = \sum_i Q_{\text{вх},i}(t) - Q_{\text{МК}}(t) = \sum_i \left(Q_{\text{вх},i}(t) - \frac{v(t)}{v(t-T_i)} \cdot Q_{\text{вх},i}(t-T_i) \right). \quad (4)$$

Швидкість конвеєра може приймати одне з двох значень: 0, v . Фактором, що визначає величину швидкості конвеєра, є команда керуючого пристрою ($y_{\text{МК}}$).

$$v(t) = y_{\text{МК}} \cdot v_{\text{МК}}. \quad (5)$$

З огляду на те, що швидкість конвеєра при навантаженні на стрічку і при розвантаженні, дорівнює $v_{\text{МК}}$, рівняння маси вантажу може бути спрощене в такий спосіб:

$$\frac{dm_{\text{МК}}}{dt} = \sum_i (Q_{\text{вх},i}(t) - Q_{\text{вх},i}(t-T_i)). \quad (6)$$

Транспортна затримка T в розглянутому випадку є величиною змінною, залежною від швидкості $v(t)$. Знання даної величини необхідне для визначення вихідного вантажопотоку конвеєра $Q_{\text{МК}}$. Методика визначення даної величини для умов роботи конвеєра зі змінною швидкістю докладно викладена в роботі [1] і полягає в чисельному інтегруванні і контролі шляху, який проходить вантаж, що транспортується.

Для кожного пункту навантаження величина транспортної затримки T_i розраховується індивідуально. При цьому враховується розташування бункера і швидкість стрічки конвеєра.

Таким чином, стан МК характеризується швидкістю v , вихідним вантажопотоком $Q_{\text{МК}}$ (залежить від швидкості МК, вихідних вантажопотоків НБ), сумарною вагою переміщуваного вантажу $m_{\text{МК}}$ (залежить від вхідних вантажопотоків і розташування НБ, швидкості МК). Також для реалізації пропонованого нижче алгоритму керування конвеєрною лінією також необхідно мати інформацію про поточну погонну масу вантажу біля другого пункту навантаження (q_{12}).

Зазначені характеристики визначаються сигналом ПК ($y_{\text{МК}}$), вхідними вантажопотоками, що надходять з боку бункерів ($Q_{\text{вх}1}, Q_{\text{вх}2}$), а також повинні враховувати розташування пунктів навантаження $X_{\text{вх}1}, X_{\text{вх}2}$.

Модель накопичувального бункера

Модель накопичувального бункера являє собою співвідношення, що пов'язує рівень гірничої маси $H_{\text{б}}$ з інтенсивністю вантажопотоку, що надходить, $Q_{\text{вх}}$ і інтенсивністю подачі корисної копалини з бункера на магістральний конвеєр $Q_{\text{б}}$.

Рівень вантажу в НБ визначається вхідним і вихідним вантажопотоками [10]:

$$\frac{dH_{\text{б}}}{dt} = \frac{1}{\gamma \cdot S_{\text{б}}} \cdot (Q_{\text{вх}}(t) - Q_{\text{б}}(t)). \quad (7)$$

де γ – насипна щільність гірничої маси в бункері;

$S_{\text{б}}$ – площа поперечного перерізу бункера.

Інтенсивність подачі матеріалу з НБ $Q_{\text{б}}(t)$ залежить від наявності матеріалу в ньому і величини керуючого сигналу:

$$Q_{\text{б}}(t) = Q_{\text{бmax}} \cdot y_{\text{б}}. \quad (8)$$

Модель керуючого пристрою

Керуючий пристрій визначає алгоритм роботи конвеєрної лінії, а, отже, і її основні показники. ПК повинен формувати наступні сигнали:

- сигнал керування конвеєром ($y_{\text{МК}}$, може приймати одне з двох дискретних значень: 0 – 1) – залежить від поточного рівня гірничої маси в бункерах і працездатності конвеєра;
- сигнали керування бункерами ($y_{\text{вх},i}$, можуть приймати будь-які значення в діапазоні від

0 до 1) – залежать від рівня гірничої маси у відповідному бункері i , у випадку другого бункера, від питомої ваги вантажу на стрічці перед ним.

Комплексний критерій, на якому базується алгоритм керування, передбачає:

а) фіксовану інтенсивність вантажопотоку на виході МК за рахунок дозованої подачі гірничої маси з накопичувальних бункерів;

б) виключення інтервалів роботи магістрального конвеєра і всіх наступних конвеєрів транспортного ланцюжка вхолосту при відсутності надходження гірничої маси з бункерів.

Реалізація запропонованого критерію забезпечується наступним чином:

1. Переведення бункера в режим накопичення гірничої маси у випадку його спорожнення.

2. При переведенні одного з бункерів у режим накопичення гірничої маси інший компенсує зниження погонного навантаження шляхом відповідного збільшення власної подачі.

3. У випадку переведення обох бункерів у режим накопичення гірничої маси магістральний конвеєр зупиняється.

4. Поновлення подачі гірничої маси з бункерів i , відповідно, запуск магістрального конвеєра здійснюється при досягненні рівня включення (що дорівнює, наприклад, половині від максимального рівня бункера).

5. У випадку аварійної зупинки магістрального конвеєра бункери переводяться в режим накопичення гірничої маси.

Математично зазначений алгоритм керування розгалуженою конвеєрною лінією може бути представлений наступною системою логічних співвідношень, що є основою моделі керуючого пристрою:

$$y_{61} = \begin{cases} y_{61}^{\max}, & \text{if } (\text{cond1} \wedge \text{cond2} \wedge \text{cond3}) = 1 \\ y_{61}^{\text{nom}}, & \text{if } (\text{cond1} \wedge \text{cond2} \wedge \text{cond4}) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (9)$$

$$y_{62} = \begin{cases} y_{62}^{\max}, & \text{if } (\text{cond1} \wedge \text{cond5} \wedge \text{cond6} \wedge \text{cond8}) = 1 \\ y_{62}^{\text{nom}}, & \text{if } (\text{cond1} \wedge \text{cond5} \wedge \text{cond7}) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

$$y_{\text{МК}} = \begin{cases} 1, & \text{if } ([y_{61} > 0] \vee [y_{62} > 0] \vee [q_{12} > 0]) = 1 \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (11)$$

де $\text{cond1} \leftarrow [e = 0]$ - умова працездатності (відсутності аварійних ситуацій) магістрального конвеєра;

$\text{cond2} \leftarrow [\{H_{61} \geq H_{61}^{\text{on}}\} \vee \{(0 \leq H_{61} < H_{61}^{\text{on}}) \wedge (s_{61} = 1)\}]$ - умова достатності рівня гірничої маси в НБ1 для поновлення (продовження) подачі на конвеєр;

$\text{cond3} \leftarrow [\{H_{62} < H_{62}^{\text{min}}\} \vee \{(H_{62}^{\text{min}} \leq H_{62} < H_{62}^{\text{on}}) \wedge (s_{62} = 0)\}]$ - умова, що забезпечує збільшення інтенсивності подачі з НБ1 з метою компенсації майбутнього зниження погонного навантаження МК внаслідок очікуваного спорожнення НБ2;

$\text{cond4} \leftarrow [\{H_{62} \geq H_{62}^{\text{on}}\} \vee \{(H_{62}^{\text{min}} \leq H_{62} < H_{62}^{\text{on}}) \wedge (s_{62} = 1)\}]$ - умова, що визначає, у випадку наповнення НБ2, необхідність зниження інтенсивності подачі гірничої маси з НБ1 на конвеєр;

$\text{cond5} \leftarrow [\{H_{62} \geq H_{62}^{\text{on}}\} \vee \{(0 \leq H_{62} < H_{62}^{\text{on}}) \wedge (s_{62} = 1)\} \vee \{(H_{62} \geq 0) \wedge (s_{61} = 1)\}]$ - умова достатності рівня гірничої маси в НБ2 для поновлення (продовження) подачі на конвеєр;

$\text{cond6} \leftarrow [q_{12} = 0]$ - умова відсутності гірничої маси на стрічці перед НБ2;

$\text{cond7} \leftarrow [q_{12} = q_{61}]$ - умова рівності питомої маси вантажу на стрічці перед НБ2

величині, q_{61} (дана умова, як і попередня, дозволяє визначити необхідну інтенсивність подачі гірничої маси з НБ2);

$\text{cond8} \leftarrow [\{H_{62} \geq H_{62}^{\min}\} \vee (s_{61} = 1)]$ - умова, що забезпечує припинення подачі гірничої маси на конвеєр із НБ2 при мінімальному рівні в ньому і відсутності подачі з НБ1 (обумовлена прагненням уникнути «провалів» вантажопотоку);

s_{61}, s_{62} – стан НБ1 і НБ2 (1 – режим подачі на конвеєр, 0 – режим накопичення);

H_{62}^{\min} - мінімальний рівень гірничої маси в НБ2, при якому, за умови видачі з нього матеріалу з максимальною інтенсивністю, бункер 2 зможе спорожнитися за час, що перевищує інтервал, необхідний на транспортування вантажу від пункту навантаження НБ1 до пункту навантаження НБ2 при постійній швидкості конвеєра v ;

$H_{62}^{\text{on}}, H_{61}^{\text{on}}$ - рівні, при яких НБ1 і НБ2, переводяться з режиму накопичення в режим подачі на конвеєр;

$y_{61}^{\text{max}}, y_{61}^{\text{nom}}, y_{62}^{\text{max}}, y_{62}^{\text{nom}}$ - максимальна і номінальна інтенсивності вантажопотоків, що формуються на виході бункерів НБ1 і НБ2.

Співвідношення між інтенсивностями вантажопотоків на виході НБ1 і НБ2:

$$y_{62}^{\text{max}} = y_{61}^{\text{max}} = y_{61}^{\text{nom}} + y_{62}^{\text{nom}}. \quad (12)$$

Для реалізації запропонованого алгоритму керування необхідно контролювати наступні сигнали і стани елементів конвеєрної лінії: працездатність магістрального конвеєра (аварійні ситуації); поточний рівень гірничої маси в кожному накопичувальному бункері; питома вага вантажу на стрічці перед другим бункером. Структурна схема, що відбиває логічні зв'язки математичної моделі розгалуженої конвеєрної лінії, представлена на рис.3.

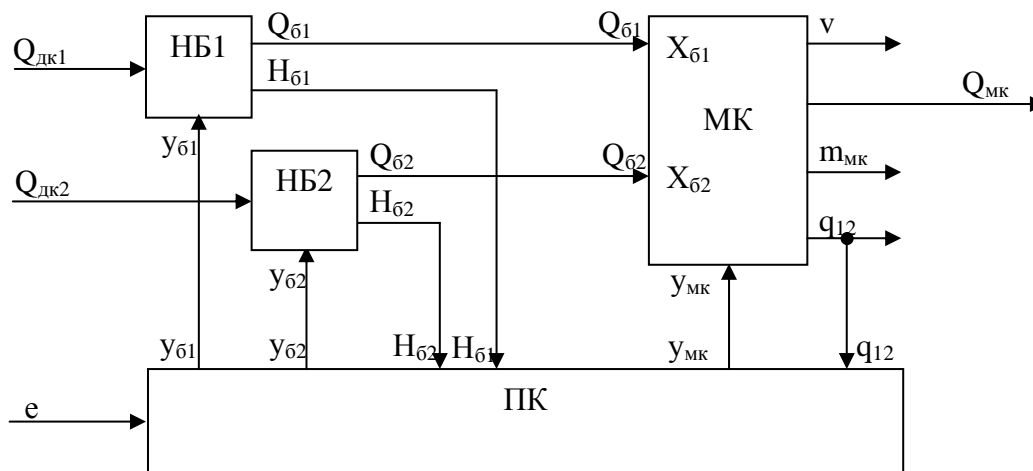


Рисунок 3 – Структурна схема моделі розгалуженої конвеєрної лінії

Розроблена модель реалізована програмно-обчислювальними засобами пакета MathCAD. На рис.4 представлені результати моделювання конвеєрної лінії з наступними параметрами: довжина магістрального конвеєра – 1200м, швидкість магістрального конвеєра – 1м/с, ємності накопичувальних бункерів – 80м³, відстань між бункерами – 500м. Рис.4.а ілюструє вантажопотоки, що надходять з дільничних конвеєрів у НБ1 і НБ2. Рис.4.б містить результати моделювання процесів у розгалуженій конвеєрній лінії за відсутності дій, спрямованих на стабілізацію вантажопотоку на виході магістрального конвеєра. Рис.4.в демонструє роботу конвеєрної лінії в режимі стабілізації вихідного вантажопотоку.

Результати моделювання свідчать про ефективність запропонованого алгоритму стабілізації. Зокрема, вантажопотік на виході магістрального конвеєра характеризується практично незмінною величиною, незважаючи на нестабільність і періодичність

надходження вантажів з ділянок. Тим самим забезпечується сталість навантаження наступних конвеєрів у транспортній лінії. Крім того, виключається робота транспортної лінії у випадку неможливості забезпечення заданого вантажопотоку на виході, що забезпечує істотну економію енергоспоживання.

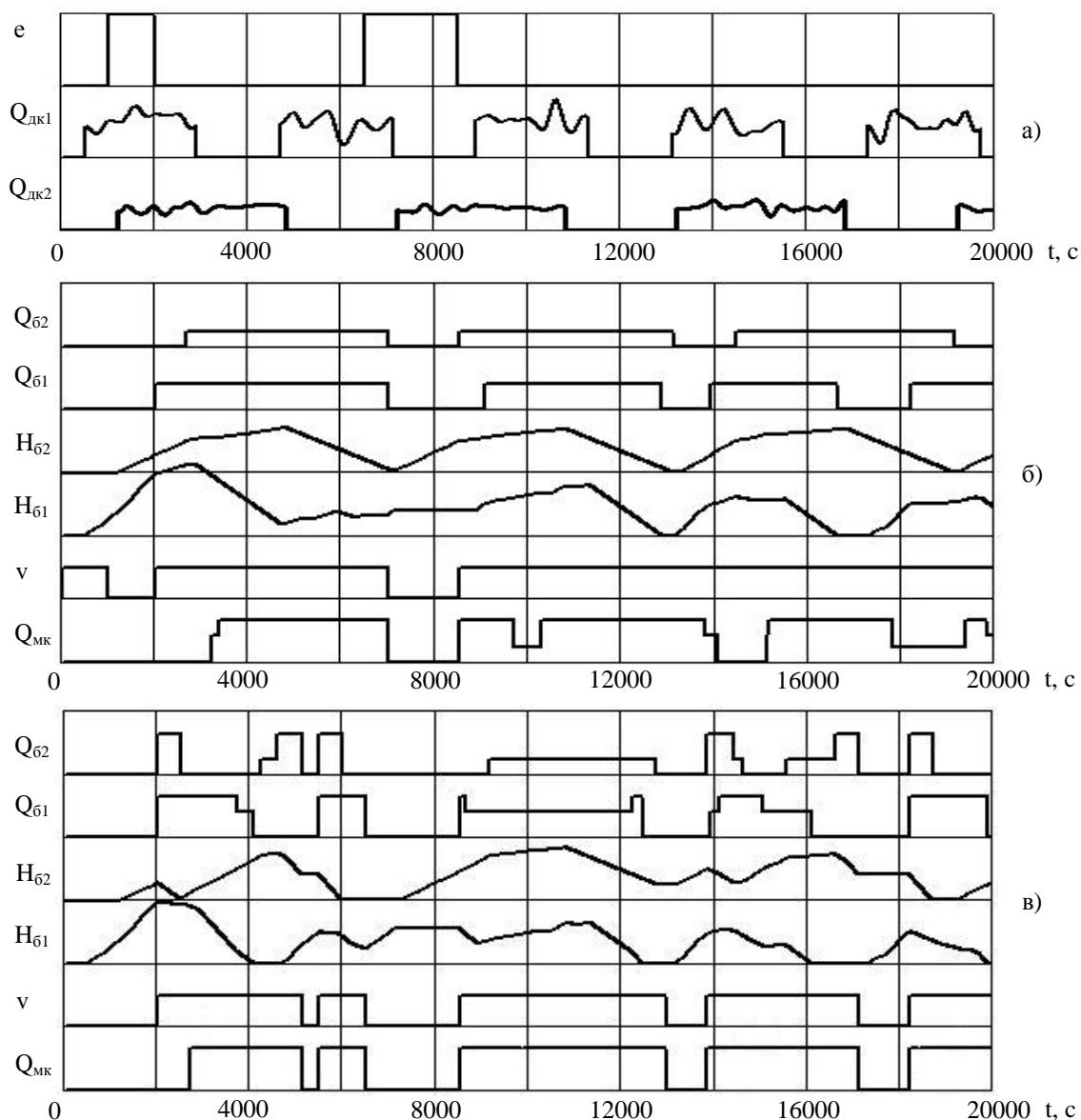


Рисунок 4 – Результати моделювання стану розгалуженої конвеєрної лінії (а – стан магістрального конвеєра і дільничі (вхідні) вантажопотоки, б – стан елементів транспортної лінії за відсутності керування з метою стабілізації, в – стан елементів транспортної лінії в режимі стабілізації вихідного вантажопотоку)

Висновки і напрями подальших досліджень

1. Розроблена математична модель розгалуженої конвеєрної лінії з проміжними бункерами-накопичувачами, що дозволяє оцінити ефективність роботи системи транспорту і синтезувати раціональний алгоритм керування.

2. За допомогою представленої математичної моделі обґрунтований удосконалений алгоритм керування транспортною лінією, що може бути використаний при розробці керуючого пристрою.

3. Основним напрямком подальших досліджень є узагальнення отриманих результатів на випадки, коли кількість відгалужень перевищують два, а також урахування можливості переповнення бункерів.

Список використаної літератури

1. Ставицкий В.Н. Алгоритм идентификации транспортной задержки конвейера / В.Н. Ставицкий // Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. – Донецк: ДонНТУ. - 2011. – Выпуск 37. - С. 59-66.
2. Справочник по автоматизации конвейерного транспорта / Н. И. Стадник и др. – Київ: Техніка, 1992. – 438 с.
3. Гливанский А.А. Методы управления шахтным подземным конвейерным транспортом. Средства и аппаратура горной автоматики для угольных предприятий, Труды института № 29 / А.А. Гливанский, И.П. Коновалова, В.М. Ротенберг, Е.К. Травкин – Москва, 1978.
4. Шахмейстер Л.Г. Динамика грузопотоков и регулирование скорости ленточных конвейеров / Шахмейстер Л.Г., Дмитриев В.Г., Лобочева А.К. – М.: Машиностроение, 1972.–160 с.
5. Кариман С.А., Брайцев А.В., Шрамко В.М. Моделирование и оптимизация производственных процессов при добыче угля. – М.: Наука, 1975. – 135 с.
6. Полунин В.Т. Эффективность регулирования скорости шахтных конвейеров / В.Т.Полунин // Научные труды МГИ. – 1968. – № 53. – С. 87 – 95.
7. Дмитриева В.В. Разработка и исследование системы автоматической стабилизации погонной нагрузки магистрального конвейера: дис. ... кандидата техн. наук: 05.13.06 / Дмитриева Валерия Валерьевна. – М., 2005. – 162 с.
8. Смирнова Н.В. Динамічні характеристики стрічкового конвеєра та методи їх оцінки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.06 / Н.В.Смирнова. – Дніпропетровськ, 2000. – 17 с.
9. Ставицкий В.Н. Динамика нагрузки регулируемого привода ленточного конвейера / В.Н. Ставицкий // Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. – Донецк: ДонНТУ. - 2012. – Выпуск 23. - С. 49-53.
10. Ставицкий В.Н. Математическое моделирование транспортной системы добычного участка / В.Н. Ставицкий // Сборник научных трудов ДонНТУ. Серия: Вычислительная техника и автоматизация. – Донецк: ДонНТУ. - 2013. – Выпуск 24. - С. 53-63.

References

1. Stavitskiy, V.M. (2011), "The algorithm of identification of a transport delay of the conveyor", *Sbornik nauchnyh trudov DonNTU. Seriya: Vychislitel'naya tehnika i avtomatizatsiya*, no. 37, pp. 59-66.
2. Stadnik, N.I. (1992), *Spravochnik po avtomatizatsii konveyernogo transporta*, Tehnika, Kyiv, Ukraine.
3. Glivanskiy, A.A., Konovalova, I.P., Rotenberg, V.M. and Travkin, Ye.K. (1978), "The methods of control for mining underground conveyor transport", *Sredstva i apparatura gornoy avtomatiki dlya ugol'nyh predpriyatiy, Trudy instituta*, no. 29.
4. Shahmeyster, L.G., Dmitriyev, V.G. and Lobocheva, A.K. (1972), *Dinamikaрузопотоков i regulirovaniye skorosti lentochnyh konveyerov*, Mashinostroyeniye, Moskva, USSR.
5. Kariman, S.A., Braytsev, A.V. and Shramko, V.M. (1975) *Modelirovaniye i optimizatsiya proizvodstvennyh protsessov pri dobyche uglya*, Nauka, Moskva, USSR.
6. Polunin, V.T. (1968), "Efficiency of speed regulation of mining conveyor", *Nauchniye trudy MGI*, no. 53, pp. 87-95.
7. Dmitriyeva V.V. (2005), "Development and exploration of automatic stabilization system for

- main conveyor's linear loading", Abstract of Ph.D. dissertation, 05.13.06, Moskva, Russia.
8. Smirnova, N.V. (2005), "Dynamic characteristics of belt conveyor and methods of estimation", Abstract of Ph.D. dissertation, 05.05.06, Dnepropetrovsk, Ukraine.
 9. Stavitskiy, V.M. (2012), "The dynamics of belt conveyor variable drive load", *Sbornik nauchnyh trudov DonNTU. Seriya: Vychislitel'naya tehnika i avtomatizatsiya*, no.23, pp. 49-53.
 10. Stavitskiy, V.M., Ogolobchenko, A.S. (2013), "Mathematical modeling of the mining area's transport system", *Sbornik nauchnyh trudov DonNTU. Seriya: Vychislitel'naya tehnika i avtomatizatsiya*, no. 24, pp. 53-63.

Надійшла в редакцію:
22.04.2014 р.

Рекомендовано до друку:
канд. техн. наук, проф. Маренич К.М.

В.Н. Ставицкий

ГБУЗ "Донецкий национальный технический университет"

Математическая модель разветвленной конвейерной линии. Представлена математическая модель системы конвейерного транспорта, включающей в себя магистральный и участковые конвейеры, а также аккумулирующие бункеры. Обоснован рациональный алгоритм управления конвейерной линией.

Ключевые слова: конвейер, бункер, транспортная задержка, автоматизация, математическая модель, устройство управления

V.M. Stavitskiy

Donetsk National Technical University

Mathematical modeling of the branched conveyor line.

The object of researches is the underground transport complex. It consists of a main conveyor belt with two points of loading, two district belt conveyors and two accumulating hoppers. Efficient operation of the system requires continuous control and management of all its elements. It's possible only by automated mode. In this article solves the problem of developing a mathematical model of mining branched transport system. State of the object is determined by the intensity of district traffics and operability of its individual elements. A mathematical model of the branched conveyor line with intermediate storage hoppers has developed. This model allows to estimate the efficiency of the transport system. With the proposed mathematical model has grounded control algorithm of transport line. This algorithm may be used for the control device developing. The simulation results demonstrate the efficiency of the proposed stabilization algorithm. Output traffic of the main conveyor is stable, despite the changeable and periodical nature of the district flows. It provides a constant load of subsequent conveyors in the transport line. Transport line stops in failing to provide a given traffic on her way out. It's provides substantial savings in energy consumption.

Keywords: conveyor, hopper, transport delay, automation, mathematical model, control system.



Ставицкий Владимир Миколайович, Україна, закінчив Донецький державний технічний університет, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедри "Гірнична електротехніка та автоматика ім. Р.М.Лейбова" ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (вул. Артема, 58, м. Донецьк, 83001, Україна). Головні напрямки наукової діяльності – силова перетворювальна техніка, автоматизований електропривод, мікропроцесорні засоби автоматизації, ідентифікація і моделювання.